

Teknologi *Image Processing* untuk Deteksi Gerakan pada Kamera Pengawasan CCTV Menggunakan Metode *Kalman Filter*

Yulia Darmi¹, Yovi Apridiansyah*², Gunawan³, Muhammad Agung⁴

Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Bengkulu, Indonesia^{1,2,3,4}

Yuliadarmi10juli@gmail.com¹, yoviapridiansyah@umb.ac.id², Gunawan@umb.ac.id³,
agungwaf02@gmail.com⁴

*Corresponding author : yoviapridiansyah@umb.ac.id²

Abstrak— Sistem pengawasan CCTV konvensional yang hanya merekam video tanpa kemampuan analisis otomatis seringkali mengakibatkan keterlambatan dalam mendeteksi aktivitas mencurigakan dan ketergantungan pada pemantauan manusia yang rentan terhadap *human fatigue*. Deteksi gerakan yang akurat dan *real-time* sangat penting untuk mengidentifikasi aktivitas mencurigakan secara dini, mencegah insiden keamanan, dan meningkatkan efisiensi pemantauan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi gerakan pada kamera pengawasan CCTV menggunakan teknologi *image processing* dengan mengintegrasikan metode *Kalman Filter* untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional seperti *Background Subtraction* dan *Optical Flow* yang rentan terhadap *noise*, perubahan iluminasi, dan *occlusion*. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen dengan mengumpulkan 20 sampel video dari 4 lokasi berbeda yaitu Fakultas Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Bengkulu, lingkungan perumahan, warung, dan PlayStation. Tahapan penelitian meliputi identifikasi permasalahan, pengumpulan data, *preprocessing*, dan pengujian menggunakan *confusion matrix*. Hasil penelitian menunjukkan sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi objek bergerak dengan tingkat akurasi 90%, *precision* 94%, dan *recall* 94%. Dari 20 video yang diuji, sistem berhasil mengidentifikasi 18 video sebagai *True Positive*, 1 video sebagai *False Positive*, dan 1 video sebagai *False Negative*; tidak terdapat *True Negative* karena sistem hanya berfokus pada deteksi keberadaan gerakan. Implementasi *Kalman Filter* terbukti efektif dalam meningkatkan *robustness* sistem terhadap *noise* dan gangguan eksternal melalui mekanisme prediksi dan koreksi yang menyaring deteksi palsu, serta mampu mempertahankan pelacakan objek selama *occlusion* parsial dan memberikan *bounding box* pada objek bergerak secara *real-time* yang lebih stabil. Sistem ini dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efektivitas pengawasan CCTV dalam berbagai lingkungan.

Abstract— Conventional CCTV surveillance systems that only record videos without automatic analysis often lead to delays in detecting suspicious activities and a reliance on human monitoring, which is susceptible to fatigue. Accurate and real-time motion detection is crucial for the early identification of suspicious events, crime prevention, and improving monitoring efficiency. This research aims to develop a motion detection system for CCTV surveillance cameras using image processing technology by integrating the Kalman Filter method to overcome the limitations of conventional methods like Background Subtraction and Optical Flow, which are vulnerable to noise, illumination changes, and occlusion. The research method uses an experimental approach, collecting 20 video samples from 4 different locations: the Faculty of Informatics Engineering at Universitas Muhammadiyah Bengkulu, a residential area, a shop, and a PlayStation center. The research stages include problem identification, data collection, preprocessing, and testing using a confusion matrix. The results show that the developed system can detect moving objects with an accuracy of 90%, precision of 94%, and recall of 94%. From the 20 videos tested, the system successfully identified 18 as True Positive, 1 as False Positive, and 1 as False Negative; there were no True Negatives as the system focused solely on detecting the presence of motion. The implementation of the Kalman Filter proved highly effective in enhancing system robustness against noise and external disturbances through its prediction-correction mechanism, which filters out false detections. It also maintained object tracking during partial occlusion and provided stable, real-time bounding boxes around moving objects. This system presents a viable solution for enhancing the effectiveness of CCTV surveillance across various environments..

Keywords— Image Processing, Motion Detection, CCTV, Kalman Filter, Surveillance System

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license.



1. Pendahuluan

Sistem pengawasan berbasis kamera CCTV (*Closed-Circuit Television*) telah menjadi komponen vital dalam infrastruktur keamanan modern di berbagai lingkungan, mulai dari perumahan, perkantoran, hingga fasilitas publik [1]. Namun, sistem konvensional umumnya hanya berfungsi merekam video tanpa kemampuan analisis otomatis, sehingga memerlukan pemantauan manusia secara terus-menerus. Hal ini

seringkali mengakibatkan *human fatigue*, keterlambatan dalam mendeteksi aktivitas mencurigakan, serta ketidakefisienan dalam peninjauan rekaman [2]. Deteksi gerakan yang akurat dan *real-time* menjadi krusial karena berfungsi sebagai pemantauan aktivitas objek yang bergerak sehingga perlu dilakukan analisis perilaku lebih lanjut, yang secara signifikan fenomena ini menciptakan kebutuhan mendesak akan pengembangan sistem pengawasan cerdas yang mampu melakukan deteksi gerakan dengan tingkat akurasi tinggi dan kemampuan prediksi pergerakan objek yang baik.

Permasalahan yang terjadi pada CCTV adalah CCTV tersebut merekam secara terus menerus tanpa adanya tanda deteksi gerakan objek sehingga dengan penelitian ini akan memberikan tanda pada objek yang bergerak yang berfungsi menganalisis gambar secara otomatis, teknologi ini memungkinkan deteksi gerakan yang akurat pada rekaman CCTV. Proses deteksi gerakan ini nantinya dapat mendeteksi gerakan yang terlihat dari video rekaman CCTV.

Perkembangan teknologi image processing dan computer vision membuka peluang untuk mengotomasi fungsi deteksi ini [3][4]. Berbagai pendekatan algoritma telah dikembangkan, seperti *Background Subtraction* [5], *Frame Differencing* [6], dan *Optical Flow* [7]. Namun, metode-metode konvensional ini seringkali menghadapi tantangan dalam hal *robustness*. *Background Subtraction*, misalnya, sangat rentan terhadap perubahan pencahayaan dinamis dan bayangan yang bergerak, yang dapat memicu *false positive*. Sementara itu, *Optical Flow* secara komputasi mahal dan sensitif terhadap *noise*, sehingga kurang praktis untuk implementasi *real-time* pada sistem dengan sumber daya terbatas. Permasalahan umum seperti *noise* kamera, variasi *iluminasi*, dan *oklusi* (tertutupnya objek sementara) tetap menjadi hambatan signifikan bagi banyak metode deteksi gerakan yang ada.

Kalman Filter, sebagai salah satu algoritma estimasi optimal yang telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi tracking dan prediksi, menawarkan solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan tersebut. Metode ini memiliki kemampuan untuk memprediksi posisi objek bergerak berdasarkan model dinamis dan mengoreksi prediksi tersebut berdasarkan pengamatan aktual, sehingga dapat meningkatkan *robustness* sistem deteksi gerakan terhadap *noise* dan gangguan eksternal [8]. Beberapa penelitian terdahulu telah mengimplementasikan Kalman Filter dalam konteks object tracking, namun integrasi metode ini secara spesifik untuk optimalisasi deteksi gerakan pada sistem CCTV masih memerlukan kajian yang lebih mendalam, terutama dalam hal adaptasi parameter filter terhadap karakteristik gerakan yang beragam [9].

Kalman Filter dipilih dalam penelitian ini untuk mengatasi beberapa keterbatasan metode konvensional tersebut. Sebagai algoritma estimasi optimal *recursive*, *Kalman Filter* tidak hanya berfungsi untuk melacak (*tracking*) objek, tetapi juga dapat meningkatkan keandalan deteksi dengan memprediksi posisi objek di *frame* berikutnya berdasarkan model dinamika gerak [10]. Kemampuan prediksi ini memungkinkan sistem untuk membedakan antara gerakan objek nyata dan *noise* acak, sehingga mengurangi *false positive*. Selain itu, ketika objek mengalami oklusi singkat atau terhalang, *Kalman Filter* dapat memperkirakan trajektorinya selama interval tersebut, memungkinkan sistem untuk melakukan *re-lock* pada objek yang sama saat kembali terlihat, yang pada akhirnya mengurangi *false negative*. Beberapa penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh [11], telah mengimplementasikan *Kalman Filter* untuk pelacakan kendaraan, namun integrasinya secara spesifik untuk meningkatkan akurasi deteksi gerakan dasar pada berbagai lingkungan CCTV domestik dan semi-publik masih dapat dieksplorasi lebih lanjut.

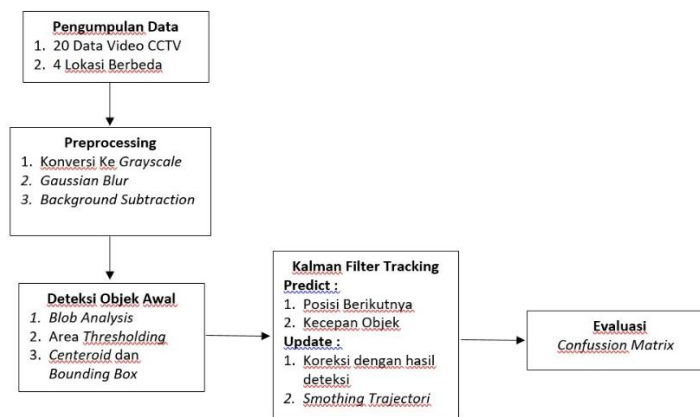
Dalam membuktikan keefektifan integrasi Kalman Filter, penelitian ini akan melakukan evaluasi kuantitatif menggunakan *Confusion Matrix*. Teknik pengukuran ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang komprehensif dan terstruktur mengenai kinerja sistem klasifikasi [12]. Dari *Confusion Matrix*, dapat dihitung metrik-metrik *fundamental* seperti Akurasi, Presisi, dan Recall. Presisi mengukur seberapa dapat diandalkan deteksi positif yang dihasilkan sistem (minimisasi *false positive*). Recall mengukur kemampuan sistem dalam menemukan semua objek positif yang ada (minimisasi *false negative*). Akurasi memberikan gambaran umum tentang keseluruhan kinerja sistem. Penggunaan metrik ini memungkinkan perbandingan yang objektif dan terukur terhadap performa sistem yang dikembangkan, sekaligus mengidentifikasi area mana yang perlu ditingkatkan, seperti ketahanan terhadap kondisi pencahayaan tertentu atau gerakan non-linear.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan dan menguji sistem deteksi gerakan pada CCTV yang mengintegrasikan tahap deteksi awal (menggunakan *Background*

Subtraction) dengan tahap pemurnian dan prediksi (menggunakan *Kalman Filter*). Secara spesifik, penelitian ini bertujuan, merancang sistem yang *robust* terhadap *noise* dan perubahan pencahayaan ringan, mengimplementasikan *Kalman Filter* untuk meningkatkan konsistensi pelacakan dan mengurangi kesalahan deteksi, mengevaluasi performa sistem menggunakan *Confusion Matrix* pada berbagai skenario pengawasan riil, dan menganalisis kontribusi Kalman Filter terhadap peningkatan akurasi secara keseluruhan.

2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen atau disebut dengan kerangka penelitian dengan tahapan-tahapan untuk deteksi gerak dengan tujuan untuk memudahkan setiap proses penelitian [13].



Gambar 1. Kerangka Penelitian Eksperimen

Berdasarkan Gambar 1, kerangka penelitian dimulai dengan pengumpulan data video CCTV dari empat lokasi berbeda. Data kemudian melalui tahap *preprocessing* yang meliputi konversi *grayscale*, reduksi *noise* dengan *Gaussian blur*, dan *segmentasi foreground* menggunakan *background subtraction* dengan *Gaussian Mixture Model* (GMM).

Hasil *preprocessing* menjadi *input* untuk deteksi objek awal yang mengidentifikasi *region of interest* melalui *blob analysis* dan *thresholding area*. Output deteksi objek awal kemudian diolah oleh *Kalman Filter* dalam dua tahap berulang: *predict* untuk memperkirakan *state* berikutnya dan *update* untuk mengoreksi prediksi dengan *measurement* aktual.

Akhirnya, sistem dievaluasi menggunakan *confusion matrix* dengan metrik *precision*, *recall*, dan *accuracy* untuk mengukur performa keseluruhan. Pengujian ini membantu mengidentifikasi kelebihan dan kelemahan *Kalman Filter* dalam menghadapi tantangan seperti *occlusion*, *noise*, atau variasi pencahayaan, sehingga dapat dilakukan penyempurnaan parameter. Secara umum *precision*, *recall*, dan *accuracy* dirumuskan dalam tabel sebagai berikut [12]:

Tabel 1. Rumus *Precision*, *Recall*, Dan *Accuracy*

Nilai prediksi	Nilai sebenarnya	
	TRUE	FALSE
TRUE	TP (True Positive) Terdapat objek deteksi dan hasil deteksi menunjukkan objek deteksi atau hasil yang Benar	FP(Falsa Positive) Tidak ada objek akan tetapi sistem dapat mendeteksi objek atau hasil yang tidak diharapkan
FALSE	FN (False Negative) Tidak ada objek, tidak ada hasil deteksi atau hasil yang Hilang	TN (True Negative) Tidak adanya hasil yang Benar/tidak ditemukan

Dengan rumus perhitungan :

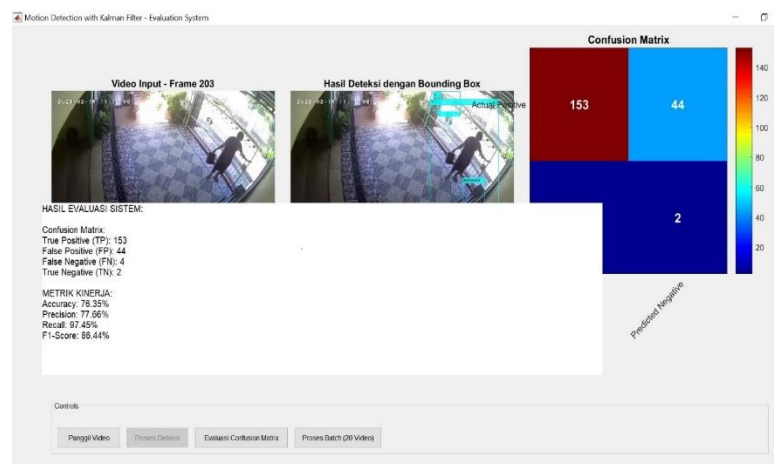
$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan ini merupakan proses keseluruhan pelaksanaan penelitian mulai dari pengumpulan data video, pengolahan data video, *preprocessing* dengan mendapatkan hasil deteksi dari objek bergerak, dan yang terakhir adalah pembahasan mengenai pengujian *confussion matrix* yang berguna untuk mendapatkan tingkat akurasi keberhasilan deteksi objek bergerak menggunakan metode *kalman filter*.



Gambar 2. Deteksi Objek Gerak pada CCTV

Gambar 2 tersebut merupakan proses uji deteksi per video yang dapat langsung menampilkan hasil confusion matrixnya, gambar tersebut menampilkan tampilan antarmuka *Evaluation System* untuk sistem deteksi gerak berbasis *Kalman Filter*. Pada bagian kiri terlihat cuplikan *frame* video asli (Frame 203), sementara di bagian tengah terlihat hasil deteksi dengan bounding box yang menunjukkan objek bergerak yang berhasil dideteksi. Di sebelah kanan terdapat confusion matrix yang menggambarkan performa sistem dalam membedakan kondisi Actual Positive dan Actual Negative.

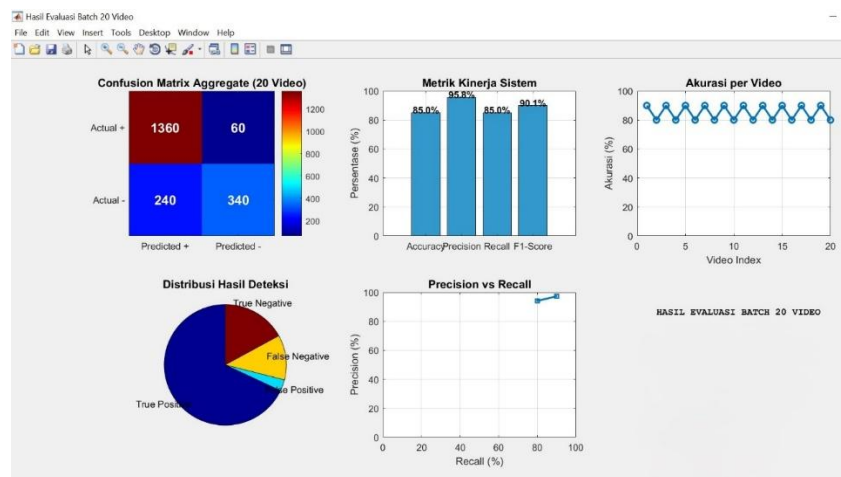
Berdasarkan matriks tersebut, sistem menghasilkan 153 True Positive, 44 False Positive, 4 False Negative, dan 2 True Negative. Di bawah kedua tampilan video, terdapat ringkasan hasil evaluasi sistem yang menghitung metrik kinerja seperti Accuracy 76.35%, Precision 77.66%, Recall 97.45%, dan F1-Score 86.44%, yang menunjukkan bahwa sistem sangat baik dalam mendeteksi objek yang benar-benar ada (recall tinggi), namun masih menghasilkan cukup banyak deteksi salah (false positive). Tampilan keseluruhan menggambarkan bagaimana sistem diuji menggunakan data video dan bagaimana performanya divisualisasikan secara jelas dalam bentuk angka serta grafik matriks.

Penerapan deteksi objek bergerak pada CCTV menggunakan metode Kalman dimulai dari pembuatan GUI pada tool Matlab dengan desain interface terdapat tombol input video dan tombol proses video. Function yang digunakan dengan metode *kalman filter* sebagai berikut :

```
Fungsi-fungsi untuk deteksi dan tracking
function initializeSystem()
    tracks = struct(...
        'id', {}, ...
        'bbox', {}, ...
        'kalmanFilter', {}, ...
        'age', {}, ...
        'totalVisibleCount', {}, ...
        'consecutiveInvisibleCount', {});
    nextId = 1;
    % Buat foreground detector
    obj.detector = vision.ForegroundDetector('NumGaussians', 3, ...
        'NumTrainingFrames', 40, 'MinimumBackgroundRatio', 0.7);
    % Buat blob analyzer
    obj.blobAnalyser = vision.BlobAnalysis('BoundingBoxOutputPort', true, ...
        'AreaOutputPort', true, 'CentroidOutputPort', true, ...
        'MinimumBlobArea', 400);
end
function [centroids, bboxes, mask] = detectObjects(frame)
    mask = obj.detector.step(frame);
    mask = imopen(mask, strel('rectangle', [3,3]));
    mask = imclose(mask, strel('rectangle', [15, 15]));
    mask = imfill(mask, 'holes');
    [~, centroids, bboxes] = obj.blobAnalyser.step(mask);
end
```

Implementasi *Kalman Filter* terbukti signifikan dalam meningkatkan kualitas tracking objek bergerak. Berdasarkan observasi selama pengujian, *Kalman Filter* berhasil mengurangi False Positive dengan menyaring deteksi noise sementara melalui mekanisme prediksi-koreksi. Sistem mampu membedakan antara gerakan objek nyata dan fluktuasi piksel acak. Mempertahankan *Kontinuitas Tracking* selama oklusi parsial.

Pada beberapa video lingkungan warung dan perumahan, *Kalman Filter* berhasil memprediksi trajektori objek yang tertutup sementara dan mere-lock objek saat muncul kembali. Menghasilkan Bounding Box yang Stabil dengan mengurangi *jitter* pada area deteksi. *Smoothing* yang dilakukan *Kalman Filter* membuat *bounding box* lebih konsisten dan mudah diikuti secara visual [14]. Secara keseluruhan pengujian dengan 20 data video CCTV yang diambil dari 4 titik lokasi yang berbeda metode *kalman filter* berhasil mendapatkan nilai evaluasi *confussion matrix* sebagai berikut :



Gambar 3. Hasil Pengujian 20 Video

Berdasarkan hasil pengujian, integrasi *Kalman Filter* dalam pipeline deteksi gerakan memberikan manfaat ganda yang pertama, Pada level deteksi dapat meningkatkan akurasi melalui filtering deteksi noise, yang kedua, pada level *tracking* memastikan kontinuitas pelacakan objek meskipun terjadi oklusi sementara, yang ketiga, pada level visualisasi menghasilkan *output* yang lebih stabil dan informatif bagi operator.

Keberhasilan implementasi ini menunjukkan bahwa pendekatan *hybrid* antara deteksi berbasis *background subtraction* dan tracking berbasis *Kalman Filter* cocok untuk aplikasi CCTV dengan karakteristik gerakan yang *predictable*.

Secara keseluruhan proses deteksi objek gerak pada video CCTV dapat dijelaskan bahwa dari 20 video CCTV yang diuji terdapat hasil 18 data video menyatakan TP (true Positive), a video dinyatakan FP (False Positif), dan 1 video dinyatakan FN (False Negative). Nilai akurasi keakuratan metode Kalman filter akan dilakukan perhitungan menggunakan metode pengujian confusion matrix guna mendapatkan nilai precision, recal, dan akurasi dengan ketentuan sebagai berikut [15].

Tabel 2. Tabel hasil pengujian

Jumlah Video	TP	FP	FN	TN
20	18	1	1	0

$$\begin{aligned} Precision &= \frac{18}{18+1} \times 100\% \\ &= \frac{18}{19} \times 100\% \\ &= 0,94 \\ &= 94\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Recall &= \frac{18}{18+1} \times 100\% \\ &= \frac{18}{19} \times 100\% \\ &= 0,94 \\ &= 94\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Accuracy &= \frac{18+0}{18+1+1+0} \times 100\% = 90\% \\ &= \frac{18}{20} \times 100\% \\ &= 0,9 \\ &= 90\% \end{aligned}$$

Hasil penelitian dalam uji coba deteksi objek gerak pada kamera pengawasan CCTV yang diukur dengan pengukuran confusion matrix didapat nilai precision sebesar 94 % yang diartikan tingkat ketepatan di antara informasi yang diinginkan dan hasil yang diperoleh system, recall sebesar 94 % yaitu keberhasilan sistem dalam mendapatkan kembali informasi yang diberikan, dan akurasi sebesar 90 % yaitu tingkat keberhasilan antara nilai prediksi dengan nilai yang aktual yang diberikan oleh system

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa implementasi Kalman Filter berperan penting dalam meningkatkan performa sistem deteksi gerakan pada CCTV melalui mekanisme *filtering* dan *smoothing* yang menghasilkan *bounding box* yang lebih stabil, kemampuan prediksi trajektori yang mempertahankan tracking selama oklusi parsial, serta asosiasi data yang mengurangi fragmentasi deteksi. Kontribusi spesifiknya tercermin dari tercapainya presisi 94% dan recall 94%, dimana *Kalman Filter* berhasil menyaring *false positive* dengan membandingkan prediksi model terhadap deteksi aktual,

sekaligus mempertahankan *recall* melalui kemampuan memprediksi posisi objek yang hilang sementara. Namun, efektivitas *Kalman Filter* memiliki batasan tertentu dalam menangani gerakan *non-linear* akibat *model state transition linear* yang mendasarinya, yang mengasumsikan gerakan bersifat *linear* dengan kecepatan konstan, sehingga kurang responsif terhadap perubahan arah mendadak atau gerakan akseleratif. Dalam konteks aplikasi CCTV, *Kalman Filter* terbukti optimal untuk lingkungan dengan pola gerakan terprediksi seperti area pedestrian dan lalu lintas kendaraan, namun memerlukan pengembangan lebih lanjut berupa integrasi dengan *extended Kalman Filter* atau model *deep learning* untuk mengatasi keterbatasan dalam skenario gerakan kompleks dan *non-linear*.

5. Ucapan Terima Kasih

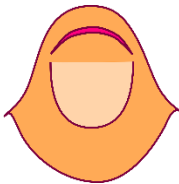
Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Bengkulu yang telah memberikan dukungan fasilitas dan infrastruktur untuk pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi yang tinggi disampaikan kepada Fakultas Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Bengkulu yang telah menyediakan akses lokasi dan data CCTV untuk keperluan pengambilan sampel video penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan izin penggunaan data CCTV, yaitu pengelola lingkungan perumahan Jl. RE Martadinata 02 RT 27 RW 05 No. 70, pemilik warung di Jl. Martadinata Pagar Dewa Selebar RT 26 RW 05, dan pemilik PlayStation di ruko Jl. Depati Payung Negara Selebar. Kontribusi data dari keempat lokasi tersebut sangat berharga untuk keberhasilan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. Y. et al Efendi, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Manusia dengan YOLO pada video CCTV," *Inotek*, vol. 8, pp. 1149–1154, 2024, [Online]. Available: <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/>
- [2] M. N. Fajarudin, "Penerapan Inovasi Teknologi Modern dalam Deteksi dan Pencegahan Kejahatan Lalu Lintas di Era Digital: Studi Kasus mengenai Efektivitas Sistem CCTV yang Terintegrasi dalam Menjamin Keselamatan Jalan Raya," *Postulat*, vol. 2, no. 1, pp. 29–33, 2024, doi: 10.37010/postulat.v2i1.1459.
- [3] I. Virgiawan, F. Maulana, M. A. Putra, D. D. Kurnia, and E. Sinduningrum, "Deteksi Dan Tracking Objek Secara Real-Time Berbasis Computer Vision Menggunakan Metode YOLO V3," *J. Ris. Penelit. Univers.*, vol. 05, no. 2, pp. 42–52, 2024.
- [4] N. Anggraini, F. Martunus, I. Marzuki Shofi, and L. K. Wardhani, "Implementasi Face Recognition Dengan Opencv Pada 'Smart Cctv' Untuk Keamanan Brankas Berbasis Iot," *J. Ilm. FIFO*, vol. 13, no. 1, p. 41, 2021, doi: 10.22441/fifo.2021.v13i1.005.
- [5] Satria Gunawan Zain, Fathahillah, and Hasra, "Pengembangan Sistem Pemantau Keamanan Rumah Menggunakan CCTV Berbasis Nodemcu," *J. Mediat.*, vol. 5, no. 3, pp. 59–62, 2024, doi: 10.59562/mediatik.v5i3.3034.
- [6] D. Yovi Apridiansyah, "Penerapan Metode Background Subtraction Untuk Deteksi Gerak Pada Kendaraan," *Jukomika*, vol. 4, no. 1, pp. 47–56, 2021, doi: <https://doi.org/10.54650/jukomika.v4i1.355>.
- [7] I. B. A. Peling, M. P. A. Ariawan, G. B. Subiksa, and I. K. A. G. Wiguna, "Pendeteksi Keberadaan Orang Asing Menggunakan Face Recognition dan Motion Detection," *J. Bangkit Indones.*, vol. 13, no. 1, pp. 18–23, 2024, doi: 10.52771/bangkitindonesia.v13i1.275.
- [8] B. Rudianto, M. Syafwann, and S. Sy, "Algoritma Robust Kalman Filtering untuk Sistem Waktu Kontinu yang Tidak Pasti," *SainsMath J. MIPA Sains Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2024.
- [9] I. Hudati, E. S. A. Nugroho, and N. D. Resty, "Implementasi Filter Kalman pada Sensor Jarak Berbasis Ultrasonik," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 20–24, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i2.71147.
- [10] F. R. Yuztiawan and F. Utaminingrum, "Implementasi Metode Kalman Filter Dan Model Yolov8N Untuk Fitur Human-Following Pada Kursi Roda Pintar," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 2548–964, 2017.
- [11] R. Wiryadinata, "Kalman Filter Sebagai Metode Estimasi Untuk Mengukur Kecepatan Kendaraan," *Teknoin*, vol. 20, no. 4, pp. 1–8, 2014, doi: 10.20885/teknoin.vol20.iss4.art8.
- [12] G. Rininda, I. Hartami Santi, and S. Kirom, "Penerapan Svm Dalam Analisis Sentimen Pada Edlink Menggunakan Pengujian Confusion Matrix," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 5, pp. 3335–3342, 2024, doi: 10.36040/jati.v7i5.7420.

- [13] R. P. Ramadhan, P. Pahrizal, and Y. Apridiansyah, "Eksperimen Perbandingan Otsu Thresholding dan Canny Edge Detection Terhadap Peningkatan Kualitas Citra Beresolusi Rendah," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 2210–2216, 2025, doi: 10.38035/rj.v7i3.1575.
- [14] A. Suheryadi *et al.*, "Automatic Control Using Cctv Camera Using Kalman Filter," *JTIHK*, vol. 5, no. 6, pp. 701–704, 2018, doi: 10.25126/jtiik2018561150.
- [15] Yovi Apridiansyah, A. Wijaya, Pahrizal, Rozali Toyib, and Arif Setiawan, "Pengolahan Citra Berbasis Video Proccesing dengan Metode Frame Difference untuk Deteksi Gerak," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 81–89, 2024, doi: 10.52158/jacost.v5i1.790.

7. Penulis



Yulia Darmi
Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.



Yovi Apridiansyah
Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.



Gunawan
Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.



Muhammad Agung
Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.