



Sistem Cerdas Pelacakan Individu Berbasis YOLO dan Deep SORT untuk Pengawasan Keamanan Kampus

Elvi Rahmi^{1*}, Eva Yumami², Isna Yulia³

¹Politeknik Negeri Bengkalis, Indonesia

^{2,3}Politeknik Negeri Bengkalis, Indonesia

Alamat: Jalan Bathin Alam, Desa Sungai Alam, Kecamatan Bengkalis, Kabupaten Bengkalis,
Provinsi Riau

Korespondensi penulis: elvirahmi@polbeng.ac.id

Abstract. *Digital transformation in vocational higher education requires the integration of intelligent technology into campus security systems. This study develops an individual tracking system based on CCTV video using YOLOv8 for object detection and Deep SORT for identity tracking. The system detects people, assigns unique IDs, records movement automatically, and visualizes tracking data through a heatmap and an interactive Streamlit dashboard. Testing was conducted using an uploaded video and CCTV footage. The first scenario produced 1,371 detection records from 47 frames and 36 unique tracks, with an average confidence of 0.458. The CCTV scenario produced 715 records from 60 frames and 14 unique tracks, with an average confidence of 0.486. Overall evaluation yielded 97.9% precision, 100% recall, 99.0% F1-score, and 97.9% accuracy. The results show that the integration of YOLOv8 and Deep SORT can support consistent multi-object tracking and informative real-time visualization for data-driven campus security monitoring.*

Keywords: *Computer Vision, YOLOv8, Deep SORT, Person Tracking, Smart Surveillance*

Abstrak. Transformasi digital di lingkungan pendidikan tinggi vokasi menuntut integrasi teknologi cerdas dalam berbagai aspek, termasuk sistem keamanan kampus. Penelitian ini mengembangkan sistem pelacakan individu berbasis video CCTV menggunakan YOLOv8 untuk deteksi objek dan Deep SORT untuk pelacakan identitas. Sistem mampu mendeteksi, memberi ID unik, mencatat pergerakan individu secara otomatis, serta memvisualisasikan data pelacakan dalam bentuk heatmap dan dashboard interaktif berbasis Streamlit. Pengujian dilakukan pada video unggahan dan rekaman CCTV. Skenario pertama menghasilkan 1.371 data deteksi dari 47 frame dan 36 jalur pelacakan unik dengan confidence rata-rata 0,458. Skenario CCTV menghasilkan 715 data dari 60 frame dan 14 jalur pelacakan unik dengan confidence rata-rata 0,486. Evaluasi keseluruhan menghasilkan precision 97,9%, recall 100%, F1-score 99,0%, dan accuracy 97,9%. Hasil menunjukkan bahwa integrasi YOLOv8 dan Deep SORT mendukung pelacakan multi-objek yang konsisten dan visualisasi real-time yang informatif untuk pengawasan keamanan kampus berbasis data.

Kata kunci: Computer Vision, YOLOv8, Deep SORT, Person Tracking, Smart Surveillance

1. LATAR BELAKANG

Pendahuluan

Transformasi digital pada pendidikan tinggi mendorong kampus untuk mengintegrasikan kecerdasan buatan tidak hanya ke dalam pembelajaran, tetapi juga ke dalam tata kelola dan sistem keamanan. Pada kampus vokasi, tingginya mobilitas mahasiswa, penggunaan laboratorium, serta keberadaan aset dan perangkat praktik memerlukan mekanisme pengawasan yang mampu bekerja secara cepat, konsisten, dan berbasis data. Kamera CCTV telah banyak digunakan, tetapi pada umumnya masih berfungsi sebagai alat perekam pasif sehingga peninjauan kejadian tetap bergantung pada pengamatan petugas secara manual.

Keterbatasan tersebut semakin terasa pada institusi yang memiliki jumlah personel keamanan dan infrastruktur komputasi terbatas. Rekaman yang panjang, kepadatan orang, perubahan pencahayaan, dan saling tertutupnya objek atau occlusion dapat menyulitkan petugas untuk mengenali pola pergerakan serta menelusuri kembali individu yang sama pada frame yang berbeda. Karena itu, sistem pengawasan membutuhkan kemampuan deteksi manusia dan pelacakan identitas secara otomatis agar data CCTV dapat diubah menjadi informasi yang berguna untuk pemantauan dan evaluasi keamanan.

Perkembangan object detection real-time memperkuat peluang tersebut. Keluarga algoritma You Only Look Once (YOLO) melakukan deteksi objek dalam satu tahap sehingga sesuai untuk pemrosesan video. YOLOv7 menunjukkan bahwa optimalisasi arsitektur dan trainable bag-of-freebies dapat meningkatkan keseimbangan kecepatan dan akurasi deteksi real-time (Wang et al., 2023). Dalam penelitian ini digunakan YOLOv8n karena modelnya ringan dan dapat difokuskan pada kelas person, sehingga sesuai untuk eksperimen pemrosesan video CCTV dengan dukungan GPU.

Deteksi pada setiap frame belum cukup untuk menjelaskan apakah objek yang muncul merupakan individu yang sama. Multi-object tracking memerlukan proses asosiasi deteksi antar-frame dan pemeliharaan identitas. Deep SORT menggunakan informasi gerakan dan fitur penampilan untuk mempertahankan track ID (Wojke et al., 2017). Perkembangan berikutnya memperlihatkan beragam strategi untuk mengatasi hilangnya objek dan pergantian identitas. FairMOT menyeimbangkan pembelajaran deteksi dan re-identification dalam satu jaringan (Zhang et al., 2021), ByteTrack memanfaatkan kembali bounding box berconfidence rendah agar lintasan tidak mudah

terputus (Zhang et al., 2022), sedangkan StrongSORT meningkatkan komponen deteksi, embedding, dan asosiasi pada Deep SORT (Du et al., 2023).

Evaluasi pelacakan juga perlu membedakan keberhasilan deteksi dengan keberhasilan asosiasi identitas. Luiten et al. (2021) memperkenalkan Higher Order Tracking Accuracy (HOTA) untuk menilai kualitas deteksi, asosiasi, dan lokalisasi secara lebih seimbang. Namun, penelitian ini difokuskan pada pengembangan prototipe fungsional di lingkungan kampus; evaluasi dilakukan menggunakan jumlah deteksi, konsistensi track ID, confidence, precision, recall, F1-score, accuracy, kualitas heatmap, dan responsivitas dashboard sesuai data eksperimen yang tersedia.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan individu berbasis video CCTV menggunakan YOLOv8 dan Deep SORT. Data koordinat serta track ID disimpan dalam log CSV, diolah menjadi heatmap, dan ditampilkan melalui dashboard Streamlit. Penelitian dibatasi pada pelacakan objek manusia dari CCTV statis tanpa pengenalan wajah atau identifikasi biometrik. Kontribusi penelitian terletak pada implementasi terpadu deteksi, pelacakan, pencatatan pergerakan, dan visualisasi interaktif dalam konteks keamanan kampus vokasi dengan infrastruktur terbatas.eksperimen pemrosesan video CCTV dengan dukungan GPU.

Deteksi pada setiap frame belum cukup untuk menjelaskan apakah objek yang muncul merupakan individu yang sama. Multi-object tracking memerlukan proses asosiasi deteksi antar-frame dan pemeliharaan identitas. Deep SORT menggunakan informasi gerakan dan fitur penampilan untuk mempertahankan track ID (Wojke et al., 2017). Perkembangan berikutnya memperlihatkan beragam strategi untuk mengatasi hilangnya objek dan pergantian identitas. FairMOT menyeimbangkan pembelajaran deteksi dan re-identification dalam satu jaringan (Zhang et al., 2021), ByteTrack memanfaatkan kembali bounding box berconfidence rendah agar lintasan tidak mudah terputus (Zhang et al., 2022), sedangkan StrongSORT meningkatkan komponen deteksi, embedding, dan asosiasi pada Deep SORT (Du et al., 2023).

Evaluasi pelacakan juga perlu membedakan keberhasilan deteksi dengan keberhasilan asosiasi identitas. Luiten et al. (2021) memperkenalkan Higher Order Tracking Accuracy (HOTA) untuk menilai kualitas deteksi, asosiasi, dan lokalisasi secara lebih seimbang. Namun, penelitian ini difokuskan pada pengembangan prototipe

fungsional di lingkungan kampus; evaluasi dilakukan menggunakan jumlah deteksi, konsistensi track ID, confidence, precision, recall, F1-score, accuracy, kualitas heatmap, dan responsivitas dashboard sesuai data eksperimen yang tersedia.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan individu berbasis video CCTV menggunakan YOLOv8 dan Deep SORT. Data koordinat serta track ID disimpan dalam log CSV, diolah menjadi heatmap, dan ditampilkan melalui dashboard Streamlit. Penelitian dibatasi pada pelacakan objek manusia dari CCTV statis tanpa pengenalan wajah atau identifikasi biometrik. Kontribusi penelitian terletak pada implementasi terpadu deteksi, pelacakan, pencatatan pergerakan, dan visualisasi interaktif dalam konteks keamanan kampus vokasi dengan infrastruktur terbatas.

2. KAJIAN TEORITIS

Kajian Terdahulu

Penelitian mengenai pelacakan objek pada video berkembang dari pendekatan tracking-by-detection menuju model yang mengintegrasikan deteksi, gerakan, dan fitur penampilan. Razzok et al. (2023) mengembangkan sistem pedestrian tracking berbasis YOLOv5 dan Deep SORT dengan matriks biaya asosiasi yang mempertimbangkan interseksi, jarak, dan bounding box. Pengujian pada MOT17 menunjukkan bahwa modifikasi asosiasi data dapat meningkatkan sebagian besar metrik pelacakan dibandingkan penggunaan intersection over union secara default. Temuan ini menegaskan bahwa kualitas pelacakan tidak hanya bergantung pada detektor, tetapi juga pada strategi pencocokan objek antar-frame.

Peningkatan detektor turut memengaruhi performa tracking. Yang et al. (2022) mengombinasikan YOLOv7 dan Deep SORT serta melaporkan peningkatan akurasi dibandingkan kombinasi YOLOv5-Deep SORT. Secara lebih luas, Wang et al. (2023) menunjukkan bahwa YOLOv7 mencapai keseimbangan kinerja real-time dan akurasi melalui sejumlah optimasi arsitektur. Penelitian Yadav et al. (2023) kemudian menerapkan YOLOv8 dan Deep SORT untuk menghasilkan deteksi cepat dan pelacakan objek yang konsisten. Rangkaian penelitian tersebut menjadi dasar pemilihan YOLOv8 sebagai detektor pada sistem yang dikembangkan. Implementasi yang terverifikasi pada jurnal Sensors ditunjukkan oleh Sharma et al. (2023), yang memanfaatkan YOLOv8 dan

algoritma DeepSORT/OC-SORT untuk mendeteksi, mempertahankan identitas, dan menghitung durasi kendaraan pada rekaman CCTV. Rangkaian penelitian tersebut menjadi dasar pemilihan YOLOv8 sebagai detektor dan Deep SORT sebagai pelacak pada sistem yang dikembangkan. Pada sisi asosiasi data, Zhang et al. (2022) memperkenalkan ByteTrack yang tetap mengasosiasikan detection box berconfidence rendah untuk memulihkan objek yang mengalami occlusion dan mengurangi fragmentasi lintasan. Du et al. (2023) mengembangkan StrongSORT dengan memperbaiki komponen Deep SORT dari aspek detektor, embedding, dan asosiasi, sehingga menunjukkan bahwa kerangka Deep SORT masih relevan dan dapat ditingkatkan. Liu et al. (2025) juga mengombinasikan YOLOv8n yang ditingkatkan dengan ByteTrack untuk pelacakan aliran kendaraan dan memperoleh mAP 62,8% serta MOTA 72,16%.

Pendekatan lain berupaya menyatukan atau mengganti tahapan asosiasi konvensional. FairMOT menyeimbangkan tugas deteksi dan re-identification dalam satu jaringan untuk memperoleh akurasi tinggi pada kedua tugas (Zhang et al., 2021). TrackFormer memformulasikan multi-object tracking sebagai frame-to-frame set prediction dan menggunakan mekanisme attention untuk mempertahankan track query antar-frame (Meinhardt et al., 2022). Meskipun pendekatan tersebut menawarkan integrasi end-to-end, Deep SORT tetap menarik untuk implementasi terapan karena alurnya modular, mudah dipadukan dengan detektor YOLO, dan dapat dijalankan pada pipeline video yang relatif sederhana.

Dari aspek evaluasi, penggunaan detection rate atau accuracy saja belum sepenuhnya menggambarkan kualitas pelacakan identitas. HOTA dirancang untuk menilai deteksi, asosiasi, dan lokalisasi secara seimbang (Luiten et al., 2021). Sementara itu, Kumar et al. (2021) menunjukkan aplikasi praktis YOLOv4 dan Deep SORT untuk pelacakan serta penghitungan objek pada suatu zona. Berbeda dari penelitian terdahulu yang umumnya menggunakan benchmark publik, kendaraan, atau area pengawasan umum, penelitian ini menerapkan YOLOv8 dan Deep SORT pada video laboratorium serta CCTV kampus. Sistem tidak hanya menghasilkan track ID, tetapi juga menyimpan log koordinat, membentuk heatmap pergerakan, dan menyediakan dashboard Streamlit sebagai antarmuka pemantauan.

YOLO dan Deep SORT

YOLO merupakan algoritma object detection satu tahap yang memprediksi bounding box, confidence score, dan kelas objek secara langsung. Arsitekturnya terdiri atas input, backbone untuk ekstraksi fitur, neck untuk menangkap informasi multiskala, dan head untuk menghasilkan prediksi. Keunggulannya mencakup kemampuan real-time, arsitektur tunggal, efisiensi, deteksi multikelas, dan penggunaan pada berbagai konteks. Deep SORT merupakan algoritma pelacakan multi-objek yang memperluas SORT dengan fitur penampilan. Deteksi YOLO menjadi input bagi Deep SORT; fitur penampilan diekstraksi, posisi diprediksi menggunakan Kalman Filter, dan objek antar-frame diasosiasikan melalui Hungarian Algorithm berdasarkan posisi dan jarak fitur. Setiap objek kemudian memperoleh ID unik yang dipertahankan selama objek masih dapat dilacak. Mekanisme ini tidak memerlukan pengenalan wajah atau data biometrik.

Visualisasi Heatmap

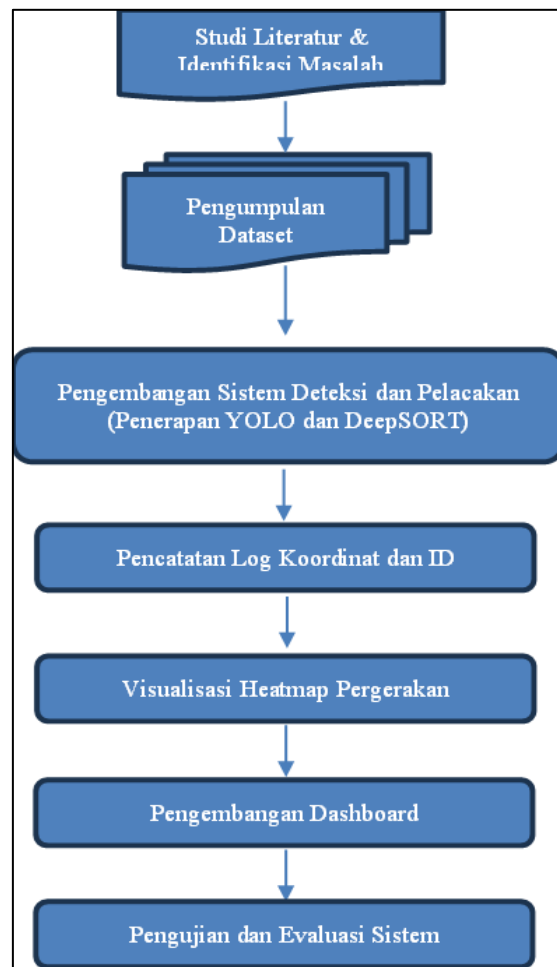
Heatmap merepresentasikan kepadatan atau intensitas kejadian melalui gradasi warna. Pada sistem pelacakan video, heatmap dibentuk dari koordinat pusat objek untuk menunjukkan area yang paling sering dilalui, menganalisis pola pergerakan, dan mengenali zona padat maupun zona yang jarang dilalui.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa terapan dengan pendekatan kuantitatif eksperimental. Sistem pelacakan individu dikembangkan dari video CCTV menggunakan YOLOv8 dan Deep SORT, kemudian hasil pelacakan diintegrasikan ke dalam heatmap dan dashboard interaktif. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran kinerja fungsional dan kualitas visualisasi.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut:



Gambar 1 Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur dan Identifikasi Permasalahan: Pada tahap awal, peneliti telah melakukan penelusuran literatur yang relevan dengan topik penelitian. Kajian difokuskan pada algoritma deteksi objek YOLO, metode pelacakan multi-objek Deep SORT, serta teknik visualisasi data berupa heatmap. Sumber literatur meliputi jurnal ilmiah internasional dan publikasi teknis. Dari hasil kajian, ditemukan adanya keterbatasan dalam penerapan sistem pelacakan real-time di lingkungan kampus, terutama terkait infrastruktur pengawasan yang masih konvensional. Hal ini memperkuat urgensi penelitian untuk mengembangkan sistem pengawasan berbasis AI yang lebih adaptif.
2. Pengumpulan dan Persiapan Dataset Video Analisis Kebutuhan: Data yang digunakan dalam penelitian berasal dari Rekaman video CCTV yang diambil secara langsung di laboratorium-laboratorium Jurusan Teknik Informatika

Politeknik Negeri Bengkalis menggunakan kamera IP (RTSP) sebagai representasi kondisi nyata lingkungan kampus.

Seluruh dataset kemudian dikonversi ke format MP4 agar kompatibel dengan pipeline pemrosesan YOLO dan Deep SORT. Sebelum digunakan, peneliti melakukan validasi awal terhadap kualitas video, meliputi resolusi, pencahayaan, serta jumlah objek manusia yang terekam, untuk memastikan data dapat diolah secara optimal.

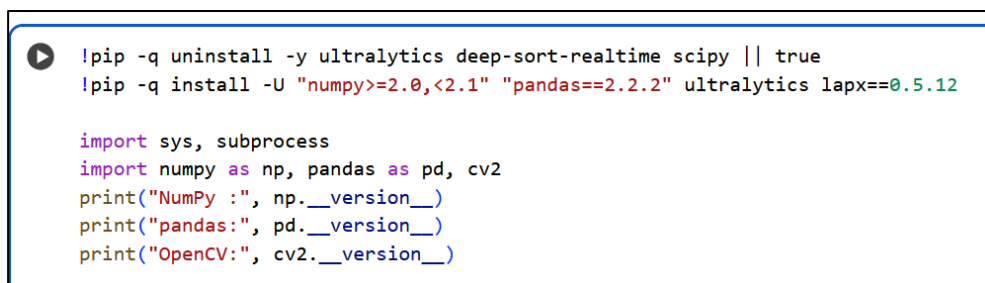
3. Pengembangan Sistem Deteksi dan Pelacakan Objek. Tahapan ini telah berhasil diimplementasikan menggunakan model YOLOv8 dari pustaka Ultralytics yang dijalankan di lingkungan Google Colab. Implementasi dilakukan secara bertahap sebagai berikut:

- a. Persiapan Lingkungan di Collab

Peneliti terlebih dahulu melakukan instalasi paket-paket yang dibutuhkan, termasuk ultralytics untuk YOLOv8, deep-sort-realtime untuk pelacakan, serta dependensi lain seperti numpy, pandas, opencv, dan lapx. Proses ini dijalankan melalui cell instalasi di Colab, kemudian diverifikasi bahwa GPU aktif dengan perintah `torch.cuda.is_available()`. Dalam penelitian ini, pemrosesan deteksi objek menggunakan YOLOv8 dan pelacakan dengan Deep SORT dijalankan di Google Colab dengan dukungan GPU (Graphics Processing Unit).

- b. Inisialisasi Model YOLOv8

Model YOLOv8n diunduh otomatis dari repositori Ultralytics. Model ini dipilih karena ringan sehingga sesuai untuk uji coba awal. Pada tahap ini, peneliti hanya memfokuskan deteksi pada kelas person.



```
!pip -q uninstall -y ultralytics deep-sort-realtime scipy || true
!pip -q install -U "numpy>=2.0,<2.1" "pandas==2.2.2" ultralytics lapx==0.5.12

import sys, subprocess
import numpy as np, pandas as pd, cv2
print("NumPy :", np.__version__)
print("pandas:", pd.__version__)
print("OpenCV:", cv2.__version__)
```

Gambar 2 Instalasi Model YOLOv8n yang diunduh otomatis dari repositori Ultralytics

- c. Upload dan Persiapan Video
Dataset berupa video rekaman dari laboratorium Jurusan Teknik Informatika Polbeng diunggah ke Colab menggunakan modul `files.upload()`. Variabel `video_path` diset agar bisa digunakan sebagai input ke sistem.
 - d. Proses Deteksi dengan YOLOv8
Pada setiap frame video, YOLOv8 melakukan deteksi objek manusia. Hasil deteksi berupa bounding box, label kelas (person), dan confidence score. Proses ini berhasil dijalankan di Colab dengan dukungan GPU sehingga dapat berjalan lebih cepat dibanding CPU.
 - e. Integrasi dengan Deep SORT
Deteksi yang dihasilkan YOLOv8 kemudian diproses oleh algoritma Deep SORT. Di Colab, peneliti menginisialisasi objek `DeepSort()` dari pustaka `deep-sort-realtime`. Deep SORT menerima input berupa bounding box dan skor confidence, lalu menghasilkan track ID unik untuk setiap individu. ID ini konsisten dipertahankan selama individu masih terlihat dalam frame.
 - f. Output Tracking di Colab
Dari hasil pelacakan, setiap frame yang berhasil diproses menampilkan ID konsisten untuk setiap orang di dalam video. Pada tahap ini, Colab menghasilkan data tracking yang siap disimpan ke dalam file log CSV untuk dianalisis lebih lanjut.
4. Perekaman dan Pengolahan Log Pergerakan
Sistem yang dikembangkan telah mampu menyimpan hasil pelacakan ke dalam file log berformat CSV. Informasi yang dicatat meliputi frame number, timestamp, track ID, koordinat pusat objek (`x_center`, `y_center`), serta nilai confidence. Log ini menjadi basis data utama yang digunakan untuk analisis lebih lanjut, termasuk visualisasi spasial.
 5. Visualisasi Heatmap Pergerakan Individu
Data koordinat hasil pelacakan diolah menjadi heatmap menggunakan pustaka Matplotlib dan NumPy. Visualisasi ini menampilkan zona panas (hot zone) sebagai area dengan kepadatan pergerakan tinggi dan zona dingin (cold zone) untuk area dengan sedikit pergerakan. Hasil uji coba memperlihatkan bahwa heatmap mampu mengidentifikasi pola distribusi mahasiswa di ruang

laboratorium, meskipun pada tahap awal terdapat keterbatasan deteksi pada individu yang diam atau tertutup oleh objek lain. Penyesuaian parameter deteksi (seperti confidence threshold dan resolusi input) dilakukan untuk menghasilkan heatmap yang lebih representatif.

6. Pengembangan Dashboard

Dashboard dikembangkan menggunakan framework Streamlit untuk menampilkan data pelacakan dalam format yang interaktif dan mudah dipahami oleh pengguna akhir (misalnya petugas keamanan kampus). Fitur dashboard mencakup: tampilan jumlah individu terdeteksi, log pelacakan real-time, grafik kehadiran, dan integrasi dengan tampilan heatmap. Dashboard ini memudahkan pengambilan keputusan berbasis data tanpa harus melakukan analisis manual terhadap rekaman video.

7. Uji Coba dan Evaluasi Sistem

Sistem diuji pada berbagai video uji coba untuk melihat performa dalam kondisi pencahayaan, kepadatan objek, dan sudut kamera yang berbeda. Evaluasi dilakukan berdasarkan konsistensi ID individu yang dilacak, kualitas visualisasi heatmap, responsivitas dashboard, kecepatan pemrosesan (*frame per second*). Hasil evaluasi digunakan untuk menyempurnakan sistem dan menyusun rekomendasi pengembangan lebih lanjut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Sistem Informasi

Sistem menggabungkan YOLOv8 sebagai model deteksi orang, Deep SORT sebagai algoritma pelacakan multi-objek, dan Streamlit sebagai dashboard visualisasi. Video diproses frame demi frame. YOLOv8 menghasilkan koordinat bounding box dan confidence score, kemudian Deep SORT menggunakan informasi posisi dan fitur penampikan untuk mempertahankan ID unik antar-frame. Data ID dan posisi setiap objek dikirim ke dashboard Streamlit.

Dashboard menampilkan video dengan overlay bounding box, ID pelacakan, dan persentase confidence. Antarmuka juga menyajikan jumlah objek saat ini serta statistik kumulatif berupa jumlah frame, jumlah track, dan metrik kinerja.

Hasil Eksperimen Deteksi dan Pelacakan

Pengujian sistem dilakukan menggunakan video uji yang diupload dan video CCTV *real time*. Tabel 1 berikut merepresentasikan hasil eksperimen deteksi dan pelacakan dari kedua video tersebut.

Tabel 1 Ringkasan hasil eksperimen deteksi dan pelacakan

Skenario	Data deteksi	Frame	Track ID unik	Confidence rata-rata	Rentang confidence	Bounding box rata-rata	Status
Video unggahan	1.371	47 (2-47)	36	0,458	0,000-0,887	140 x 186 piksel	Detected 100%
Video CCTV	715	60 (2-61)	14	0,486	0,000-0,924	148 x 223 piksel	Detected 100%

Pada video unggahan, sistem menghasilkan 1.371 baris data deteksi dari 47 frame dan 36 jalur pelacakan unik. Confidence rata-rata mencapai 0,458 dengan rentang 0,0-0,887. Lebar bounding box rata-rata adalah 140 piksel dan tingginya 186 piksel. Seluruh entri tercatat berstatus detected.



Gambar 3 Hasil deteksi dan pelacakan individu pada video unggahan

Pada skenario CCTV, sistem menghasilkan 715 baris data dari 60 frame dan mengidentifikasi 14 track ID unik. Confidence rata-rata mencapai 0,486 dengan rentang 0,0-0,924. Lebar bounding box rata-rata adalah 148 piksel dan tingginya 223 piksel. Seluruh data juga berstatus detected, sehingga tingkat keberhasilan deteksi pada data pengujian mencapai 100%.

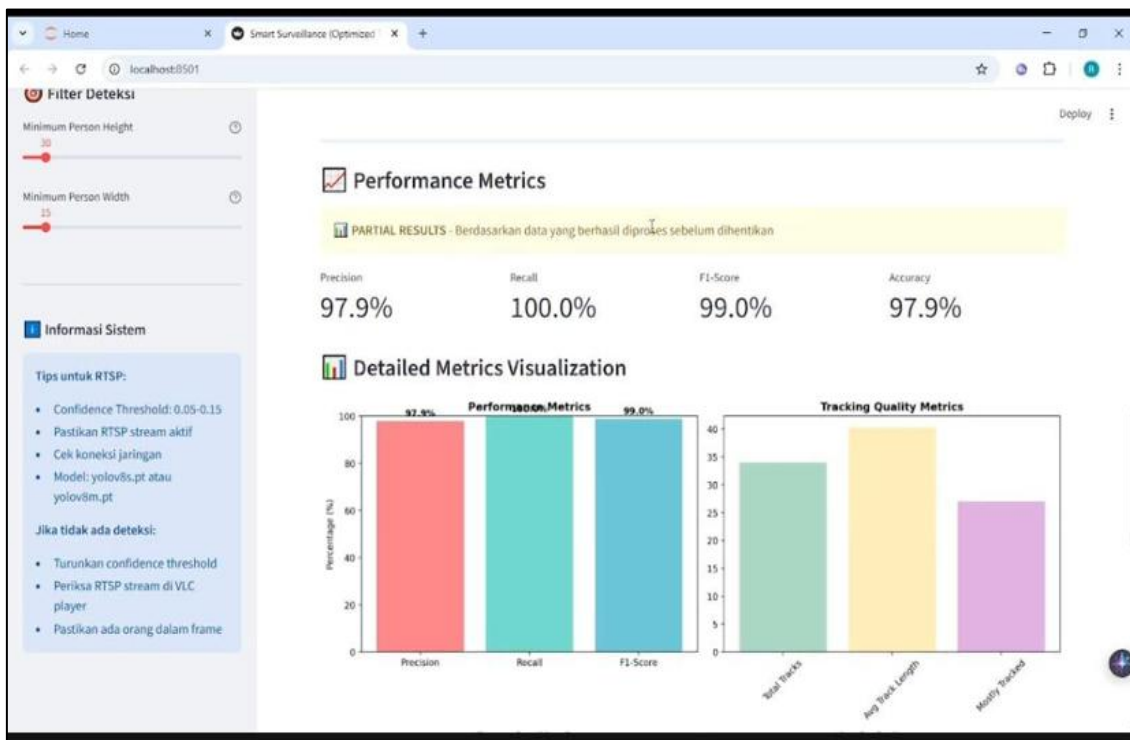
Analisis Kinerja Sistem

Hasil analisis kinerja sistem dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Metrik kinerja sistem

Metrik	Nilai	Interpretasi
Precision	97,9%	Hampir seluruh bounding box yang dihasilkan merupakan objek orang; false positive sangat rendah.
Recall	100%	Seluruh orang yang muncul dalam video uji berhasil dideteksi.
F1-Score	99,0%	Keseimbangan precision dan recall menunjukkan kinerja deteksi yang sangat baik.
Accuracy	97,9%	Proporsi keputusan deteksi yang benar mencapai hampir 98%.

Precision 97,9% menunjukkan proporsi deteksi benar dibandingkan seluruh deteksi yang dilakukan. Recall 100% menunjukkan bahwa seluruh objek aktual pada video uji berhasil dideteksi tanpa false negative. F1-Score 99,0% menegaskan keseimbangan precision dan recall, sedangkan accuracy 97,9% merepresentasikan tingkat akurasi keseluruhan sistem dalam mengidentifikasi keberadaan orang.



Gambar 4 Tampilan Analisis Kinerja Sistem pada Dashboard

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem cerdas berbasis YOLOv8 dan Deep SORT mencapai detection rate 100% pada video unggahan dan rekaman CCTV. Deep SORT dapat mempertahankan konsistensi pelacakan individu antar-frame. Dashboard menampilkan bounding box, track ID, confidence, serta metrik evaluasi secara real-time, dengan precision 97,9%, recall 100%, F1-score 99,0%, dan accuracy 97,9%. Pengujian pada video unggahan dan CCTV menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan pada kondisi sumber video yang berbeda.

Namun, masih terdapat keterbatasan sistem meliputi variasi confidence, pengujian yang masih terbatas pada satu lokasi dan dua jenis video, serta belum tersedianya deteksi anomali untuk mengenali perilaku mencurigakan atau aktivitas tidak biasa.

DAFTAR REFERENSI

- Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi. (2021). Peta Jalan Pendidikan Vokasi 2021-2035. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.
- Du, Y., Zhao, Z., Song, Y., Zhao, Y., Su, F., Gong, T., & Meng, H. (2023). StrongSORT: Make DeepSORT great again. *IEEE Transactions on Multimedia*, 25, 8725-8737. <https://doi.org/10.1109/TMM.2023.3240881>
- Kumar, N., Goel, V., & Sharma, A. (2021). Object tracking and counting in a zone using YOLOv4, DeepSORT, and TensorFlow. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(4), 156-162.
- Liu, L., Hu, W., Li, T., & Yuan, B. (2025). Vehicle flow detection and tracking based on an improved YOLOv8n and ByteTrack framework. *Information*, 16(1), 13.
- Luiten, J., Osep, A., Dendorfer, P., Torr, P. H. S., Geiger, A., Leal-Taixe, L., & Leibe, B. (2021). HOTA: A higher order metric for evaluating multi-object tracking. *International Journal of Computer Vision*, 129(2), 548-578. <https://doi.org/10.1007/s11263-020-01375-2>
- Meinhardt, T., Kirillov, A., Leal-Taixe, L., & Feichtenhofer, C. (2022). TrackFormer: Multi-object tracking with transformers. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 8844-8854.
- Razzok, M., Sulaiman, M., & Alani, R. (2023). Pedestrian detection and tracking system based on Deep-SORT, YOLOv5, and new data association metrics. *Information*, 14(4), 218.
- Sharma, N., Baral, S., Paing, M. P., & Chawuthai, R. (2023). Parking time violation tracking using YOLOv8 and tracking algorithms. *Sensors*, 23(13), 5843. <https://doi.org/10.3390/s23135843>
- Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications* (2nd ed.). Springer.

- Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2023). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 7464-7475.
- Wojke, N., Bewley, A., & Paulus, D. (2017). Simple online and realtime tracking with a deep association metric. *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 3645-3649.
- Yadav, V., Prasad, A., & Kumar, R. (2023). Object detection and tracking using YOLOv8 and DeepSORT. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/377677203>
- Yang, J., Zhang, H., & Wei, X. (2022). Video object tracking based on YOLOv7 and DeepSORT. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/362252153_Video_object_tracking_based_on_YOLOv7_and_DeepSORT
- Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W., & Wang, X. (2022). ByteTrack: Multi-object tracking by associating every detection box. In S. Avidan, G. Brostow, M. Cisse, G. M. Farinella, & T. Hassner (Eds.), *Computer Vision - ECCV 2022* (pp. 1-21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20047-2_1
- Zhang, Y., Wang, C., Wang, X., Zeng, W., & Liu, W. (2021). FairMOT: On the fairness of detection and re-identification in multiple object tracking. *International Journal of Computer Vision*, 129, 3069-3087. <https://doi.org/10.1007/s11263-021-01513-4>