

SISTEM PENGHITUNG ORANG MENGGUNAKAN YOLOV8 DAN FLASK (STUDI KASUS DI LABORATORIUM INFORMATIKA UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA)

Akhsan Ibrahim; Azizah Fatmawati, S.T., M.Cs.

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Komunikasi dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Banyaknya orang di dalam sebuah kerumunan penting diketahui karena dapat digunakan sebagai bahan analisis yang sangat bermanfaat untuk evaluasi dan perencanaan lanjutan. Sistem penghitung konvensional berisiko terjadinya inkonsistensi data dan tidak efisien. Beberapa sistem penghitung otomatis sudah dikembangkan tetapi belum bisa beroperasi secara real time dan fleksibel serta belum mencapai performa terbaik secara umum. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penghitung orang. Sistem yang dikembangkan beroperasi dengan mendeteksi orang menggunakan model pra-latih pendeteksian objek YOLOv8. Lalu, objek orang yang terdeteksi dilacak pergerakannya dan diberi tanda berupa kotak pembatas menggunakan pustaka OpenCV. Ketika kotak pembatas melewati zona indikator, objek akan terhitung dan hasil penghitungan ditampilkan. Sistem diintegrasikan pada framework Flask sehingga proses penghitungan dan data hasil penghitungan dapat dipantau melalui platform web. Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan. Tahap persiapan, meliputi identifikasi masalah, penentuan tujuan, dan kajian literatur terhadap penelitian serupa. Kemudian tahap pengembangan sistem, meliputi analisis kebutuhan, perancangan, dan pemrograman. Terakhir tahap penyelesaian, meliputi pengujian kinerja penghitungan sistem menggunakan metode eksperimen dan penarikan kesimpulan. Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem penghitung orang secara otomatis, real time, dan fleksibel serta memiliki performa penghitungan yang andal dengan rerata akurasi sebesar 90,5% dan rerata rasio galat sebesar 9,5%.

Kata Kunci: flask, opencv, pendeteksian objek, penghitung orang, yolov8.

Abstract

The number of people in a crowd is important to know because it can be used for analysis, which is very useful for further evaluation and planning. Conventional counter systems risk data inconsistency and inefficiency. Several automated counting systems have been developed but have not been able to operate in real time and flexibly and have not achieved the best performance in general. This research aims to develop a people counter system. The developed system operates by detecting people using the YOLOv8 object detection pre-trained model. Then, the detected person is tracked for movement and marked with a bounding box using the OpenCV library. When the bounding box passes through the indicator zone, the object is counted and the counting result is displayed. The system is integrated in the Flask framework so that the counting process and counting result data can be monitored through a web platform. The research was conducted in several stages. The preparation stage includes problem identification, goal setting, and literature review of similar research. Then the system development stage, including requirements analysis, design, and programming. Finally, the completion stage includes testing the performance of the counting system using experiment methods and conducting conclusions. This research successfully developed an automatic, real time, and flexible people counter system and has reliable counting performance with an average accuracy of 90.5% and an average error ratio of 9.5%.

Keywords: flask, object detection, opencv, people counter, yolov8.

1. PENDAHULUAN

Sebagai makhluk sosial, orang-orang tentu memiliki ketertarikan untuk berkumpul di suatu tempat. Hal tersebut disebabkan karena adanya homogenitas tujuan sehingga menimbulkan sebuah kerumunan, seperti yang terjadi di pusat perbelanjaan, transportasi umum, ataupun sentra hiburan dan rekreasi. Banyaknya orang di dalam sebuah kerumunan penting untuk diketahui karena dapat digunakan sebagai bahan analisis. Hasil analisis tersebut sangat bermanfaat untuk evaluasi dan perencanaan lanjutan, spt. optimasi kinerja bisnis (Obulesu et al., 2023) maupun pengelolaan keamanan (Chee & Mazlan, 2023) dan kesehatan (Sulistyo, 2019). Oleh karena itu, sebuah proses penghitungan diperlukan untuk mengetahui berapa orang yang berada di dalam kerumunan.

Penghitungan orang dapat dilakukan dengan berbagai metode, baik tradisional maupun modern. Penghitungan secara tradisional dilakukan oleh petugas khusus dengan menghitung satu per satu orang yang masuk maupun keluar tempat. Terlepas menggunakan alat bantu atau tidak, metode penghitungan tradisional rawan terjadinya inkonsistensi data akibat kesalahan hitung yang dilakukan manusia dan tidak efektif untuk tingkat kerumunan yang lebih besar (Hua et al., 2023). Sekarang, metode penghitungan tradisional seharusnya sudah tidak lagi relevan karena telah hadir pelbagai macam pendekatan yang melibatkan teknologi baru masa kini, spt. GPS (*Global Positioning System*) (Firdaus & Hardyanto, 2023), sensor inframerah (Saxena et al., 2020), perangkat nirkabel (V et al., 2023), dan pendeteksian objek (*object detection*).

Pendeteksian objek untuk penghitungan orang digunakan karena berkaca pada suksesnya penerapan di berbagai kasus lain, msl. asisten tunanetra (Choksi et al., 2021), deteksi jalur tol (Erwin et al., 2022), bahkan identifikasi sarang walet (Indrajaya et al., 2022). Khusus penghitungan orang, sejauh ini sudah banyak penelitian mengenai penghitungan orang berbasis pendeteksian objek. Sebuah penelitian serupa menunjukkan keberhasilan sistem dalam mendeteksi dan menghitung objek dengan akurasi mencapai 93,75% tetapi sistem hanya beroperasi menggunakan berkas video sehingga tidak bisa berjalan secara *real-time* (Dompeipen et al., 2021). Pada penelitian lain, sistem juga dapat mendeteksi dalam penghitungan nyata dengan akurasi terbaik sebesar 86% tetapi proses dan hasil hitung hanya ditampilkan melalui GUI (*Graphical User Interface*) saja sehingga pengaksesan tidak bisa fleksibel (Kusumawati et al., 2021). Selain itu, terdapat pula penelitian yang menghasilkan akurasi sebesar 62% dengan kondisi cahaya dan sudut pandang kamera yang bervariasi. Namun, sistem hanya dapat menghitung orang yang terdeteksi di dalam area saja sehingga kurang baik untuk penanganan kerumunan karena tidak bisa dicegah sebelum orang memasuki area (Laksono et al., 2022).

Akurasi kinerja sistem memang dipengaruhi beberapa aspek, mulai dari kamera sampai kondisi lingkungan. Namun, aspek utama yang harus diperhatikan yaitu penggunaan model

pendeteksian objek. Semakin baik proses pengembangan model, maka performa deteksi tentu semakin baik pula. Penelitian ini menggunakan model pendeteksian objek YOLOv8 karena performanya yang ringan dan cepat serta lebih akurat jika dibandingkan dengan model-model lain, spt. CNN dan Faster R-FCN serta Faster R-CNN (Mendrofa et al., 2023; Sanchez et al., 2020). Selain itu, YOLOv8 merupakan pengembangan dari YOLO versi sebelumnya sehingga performanya tentu semakin baik dengan kapabilitasnya dalam mendeteksi objek kecil (Terven et al., 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, sistem dikembangkan agar dapat bekerja dengan mendeteksi dan melacak objek orang bergerak melalui kamera yang dipasang di jalur keluar-masuk area. Lalu, objek akan dihitung ketika bergerak melewati zona indikator. Sistem juga diintegrasikan dengan *framework* web Flask sehingga proses penghitungan dan hasil penghitungan dapat dipantau secara langsung (*real time*) pada platform web. Melalui penelitian ini, sistem mampu beroperasi secara andal, baik performa maupun efisiensi dan informasi yang dihasilkan (Supriyatna & Maria, 2017). Semakin baik performa penghitungan yang dihasilkan, maka semakin baik (akurat) pula data hasil penghitungannya. Dengan demikian, data hasil penghitungan dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan analisis sehingga memberi dampak positif pada manajemen area.

2. METODE

Sistem penghitung konvensional berisiko terjadinya inkonsistensi data dan kurang efisien. Kini, beberapa sistem penghitung otomatis sudah dikembangkan tetapi belum bisa beroperasi secara *real time* dan fleksibel serta belum mencapai performa terbaik secara umum. Penelitian ini dilaksanakan untuk membangun sistem penghitung orang secara otomatis, *real time*, dan fleksibel serta memiliki performa yang andal dengan rincian metode sebagai berikut.

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian berlangsung pada bulan Mei s.d. Juni 2024. Selama kurun waktu tersebut, penelitian dilakukan di kawasan Laboratorium Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Waktu dan tempat dipilih setelah melalui pertimbangan situasi dan kondisi lingkungan yang dianggap sesuai dengan topik penelitian.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak dengan rincian masing-masing pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sedangkan bahan yang digunakan meliputi data video yang dialirkan dari kamera ke sistem secara *real time* dan rangkaian kode program pembangun sistem. Alat dan bahan yang digunakan menyesuaikan dengan ketersediaan dan kemudahan dalam pengaksesan sehingga penelitian dapat dilakukan tanpa kendala aksesibilitas yang berarti.

Tabel 1. Rincian Perangkat Keras

Komponen	Keterangan
OS	Windows 11 Pro
CPU	Intel i7-12650H
RAM	16 GB
GPU	RTX 4060
Kamera	Hikvision

Tabel 2. Rincian Perangkat Lunak

Komponen	Keterangan
Python 3.11	Bahasa pemrograman sebagai pondasi sintaksis kode
YOLOv8	Model pendeteksian objek
DeepSORT	Algoritma pelacakan objek
OpenCV	Pustaka untuk mengolah visualisasi
Flask	Kerangka kerja pengembangan platform web
VSCode	Penyunting kode

2.3 Tahapan

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan. Tahap persiapan, meliputi identifikasi masalah, penentuan tujuan, dan kajian literatur terhadap penelitian serupa. Kemudian, tahap pengembangan sistem, meliputi analisis kebutuhan, perancangan, dan pemrograman. Terakhir, tahap penyelesaian, meliputi pengujian kinerja sistem, baik fungsionalitas maupun performa penghitungan, dan penarikan kesimpulan.

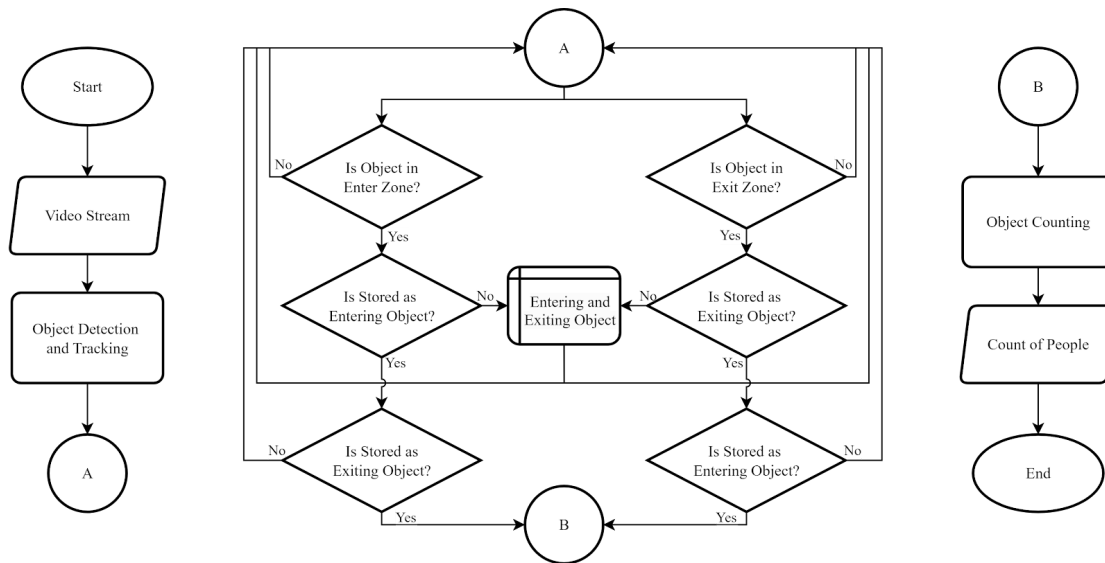
2.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa video. Data diambil dari kamera pengawas yang dialirkan langsung ke sistem secara *real-time*. Proses transfer data video dilakukan dengan memanfaatkan protokol RTSP (*Real-time Streaming Protocol*) (Kariyamin et al., 2023).

2.5 Pengembangan Sistem

Secara keseluruhan, sistem penghitung orang dikembangkan sesuai dengan algoritma yang dapat diamati melalui bagan alir (*flowchart*) pada Gambar 1. Berdasarkan algoritma, penghitungan diawali dengan pendeteksian dan pelacakan objek yang tertangkap melalui video dari kamera.

Apabila objek terdeteksi berada di zona indikator dan *id* objek belum ditambahkan maka *id* objek ditambahkan ke dalam *dictionary* sebagai kunci dengan nilai masuk/keluar. Kemudian, apabila objek terdeteksi berada di zona indikator dan *id* objek sudah ditambahkan ke dalam *dictionary* maka objek dihitung masuk/keluar sesuai nilai dari kunci *id* tersebut. Setelah itu, jumlah orang masuk/keluar berhasil diperoleh dan bisa ditampilkan.



Gambar 1. Bagan Alir Sistem Penghitung Orang

2.5.1 Masukan Video

Sistem menerima masukan aliran video dari kamera pengawas yang terpasang di jalur keluar-masuk area. Video yang digunakan berupa aliran langsung (*live view*) dan rekaman. Video dialirkan dari sumber kamera ke dalam sistem melalui protokol RTSP (*Real Time Stream Protocol*). RTSP merupakan protokol sistem komunikasi yang memungkinkan untuk melakukan transfer data multimedia secara *real-time* dari penyedia media ke perangkat *endpoint* (Kariyamin et al., 2023).

2.5.2 Pendeteksian Orang

Objek yang tertangkap kamera akan dideteksi menggunakan model pendeteksian objek YOLOv8 (Jocher et al., 2023). Kamera bisa saja menangkap berbagai objek di dalam bingkai, tetapi model diatur agar hanya bisa mendeteksi objek manusia saja. Pengaturan tersebut dilakukan dengan memilih kelas objek pertama yang berarti hanya bisa mendeteksi objek manusia.

YOLOv8 termasuk model YOLO versi baru yang dikembangkan oleh Ultralytics. YOLOv8 menawarkan peningkatan performa, fleksibilitas, dan efisiensi dari versi-versi YOLO sebelumnya. Selain pendeteksian, YOLOv8 juga mendukung tugas-tugas visual AI lainnya, spt. segmentasi, estimasi pose, pelacakan, dan pengelompokan.

2.5.3 Pelacakan Orang

Setelah objek berhasil dideteksi, pergerakan objek akan terus dilacak menggunakan algoritma pelacakan objek DeepSORT (*Deep Simple Online Real Time Tracking*) (Wojke & Bewley, 2018). DeepSORT memungkinkan untuk melacak objek dengan sebuah *id* unik. DeepSORT merupakan pengembangan dari SORT yang melibatkan *deep learning* sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi kemungkinan tertukarnya *id* objek.

2.5.4 Penghitungan Orang

Zona indikator merupakan zona semu yang digambar menggunakan pustaka OpenCV (Bradski, 2000). Zona indikator ini berfungsi sebagai penanda penghitungan sehingga ketika objek berada di dalam zona indikator maka sistem menambahkan objek tersebut sebagai orang yang masuk/keluar area. Terdapat dua buah zona indikator yang membagi jalur masuk dan keluar. Zona indikator pertama berfungsi untuk mengidentifikasi *id* objek dan zona indikator kedua berfungsi untuk memeriksa *id* objek yang telah melewati zona pertama. Kedua zona tersebut juga digunakan untuk mengetahui arah gerak objek apakah sedang masuk atau keluar. Objek yang berjalan dari zona indikator masuk menuju zona indikator keluar dihitung sebagai seseorang yang keluar area, begitu pun sebaliknya.

2.5.5 Hasil Penghitungan

Id objek yang sudah terhitung disimpan di dalam *list* orang masuk atau *list* orang keluar sesuai arah geraknya. Banyaknya *id* objek yang disimpan di dalam masing-masing *list* tersebut adalah data output yang dihasilkan sistem. Data-data tersebut langsung ditampilkan bersamaan dengan aliran video secara *real time*.

2.5.6 Integrasi Web

Secara keseluruhan, mekanisme kinerja sistem berjalan melalui platform web yang diintegrasikan menggunakan *framework* Flask (Grinberg, 2018). Flask merupakan *framework* web yang ringan dan sederhana berbasis Python. Flask menawarkan fleksibilitas dengan kontrol penuh untuk membangun web sesuai keinginan. Flask termasuk dalam *micro-framework* karena tidak membutuhkan pustaka tertentu sehingga terkesan sangat sederhana tetapi tetap tidak mengurangi fungsionalitasnya.

2.6 Pengujian

Terdapat tiga poin pengujian, yaitu pengaksesan video *live view*, fungsionalitas platform web, dan performa penghitungan. Poin pertama membahas bagaimana pengaksesan video *live view* dari sumber hingga ditampilkan ke dalam sistem. Poin kedua membahas bagaimana integrasi metode pendeteksian, pelacakan, dan penghitungan sistem. Poin ketiga membahas bagaimana performa

penghitungan sistem meliputi akurasi dan rasio galat serta analisis dari *confusion matrix*.

2.7 Analisis Performa

Hasil penghitungan sistem dicatat berdasarkan waktu dan banyaknya orang yang terhitung. Pengujian performa ini menggunakan metode eksperimen sederhana dengan membandingkan hasil penghitungan sistem dan hasil penghitungan aktual. Pengujian performa dilakukan sebanyak dua kali dengan masing-masing jumlah orang yang berbeda. Kedua pengujian tersebut berlangsung pada pukul 11.00 s.d. 13.00 di dua hari yang berbeda dengan kondisi kamera dan pencahayaan yang relatif sama. Akurasi dan rasio galat sistem dalam melakukan penghitungan diukur menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 (Chee & Mazlan, 2023). Sedangkan beberapa metrik evaluasi lainnya, meliputi *precision*, *recall*, dan *F1-Score*, diukur menggunakan Persamaan 3, Persamaan 4, dan Persamaan 5 dengan rincian parameter sebagai berikut.

- a. TP (*True Positive*) adalah jumlah orang yang benar terdeteksi oleh sistem;
- b. FP (*False Positive*) adalah jumlah objek lain yang salah terdeteksi sebagai orang oleh sistem;
- c. TN (*True Negative*) adalah jumlah objek lain yang tidak terdeteksi oleh sistem; dan
- d. FN (*False Negative*) adalah jumlah orang yang tidak terdeteksi oleh sistem.

$$Accuracy = \frac{Number\ of\ Correct\ Predictions}{Total\ Number\ of\ Actual\ Counting} \times 100\% \quad (1)$$

$$Error\ Rate = \frac{Number\ of\ Wrong\ Predictions}{Total\ Number\ of\ Actual\ Counting} \times 100\% \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$F1\ Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

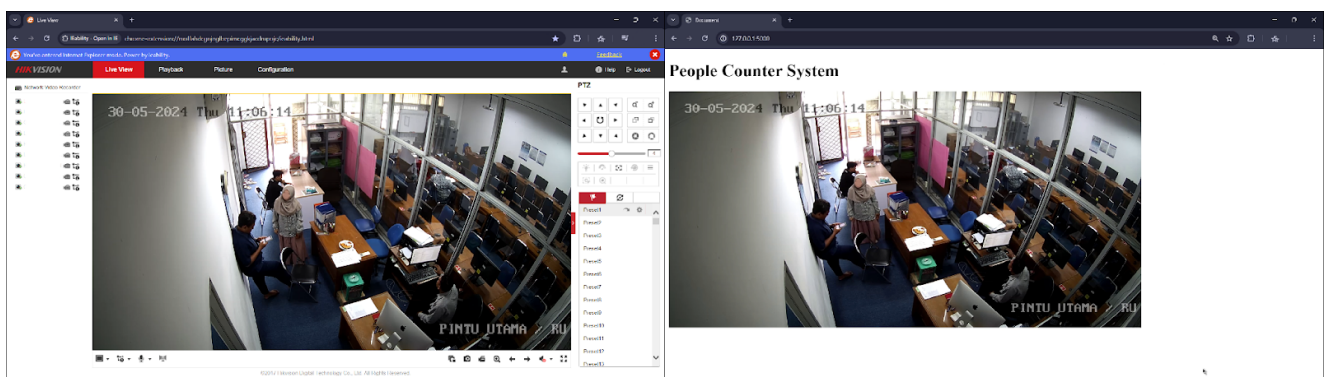
Berdasarkan metode pengujian sistem, diperoleh hasil dari masing-masing poin pengujian, yakni pengaksesan video *live view*, platform web, dan performa penghitungan. Semua hasil tersebut diamati dan dianalisis secara detail melalui pembahasan yang mendalam. Pembahasan juga meliputi kendala-kendala ataupun kekurangan yang ditemukan selama penelitian berlangsung.

3.1 Akses Video Live View

Video *live view* dari kamera pengawas dapat diakses secara *real time* menggunakan protokol RTSP. Pada penelitian ini, pengaksesan video hanya dilakukan melalui jaringan lokal dari *Network Video Recorder* (NVR) kamera pengawas. Secara keseluruhan, setiap bingkai (*frame*) dari video sumber

tersebut dapat dibaca dengan baik oleh pustaka OpenCV. Namun, masih terdapat satu momen terjadinya kegagalan membaca *frame* sehingga menyebabkan sistem perlu dimuat ulang. Lantas, masalah tersebut dapat diatasi dengan menyimpan *frame* sebelumnya untuk mengganti *frame* yang gagal terbaca saat itu.

Hasil pengaksesan video *live view* dapat diamati pada Gambar 2. Kamera pengawas terpasang sedemikian rupa sehingga menghasilkan sudut pandang yang menyorot koridor laboratorium di mana orang-orang berjalan keluar-masuk. Jarak pandang kamera terhadap objek terdekat kisaran dua meter, sedangkan terhadap objek terjauh kisaran enam meter. Selain itu, kualitas video kamera cukup baik dengan resolusi 1080p dan intensitas cahaya juga cukup terang untuk mengetahui posisi orang yang sedang berjalan.



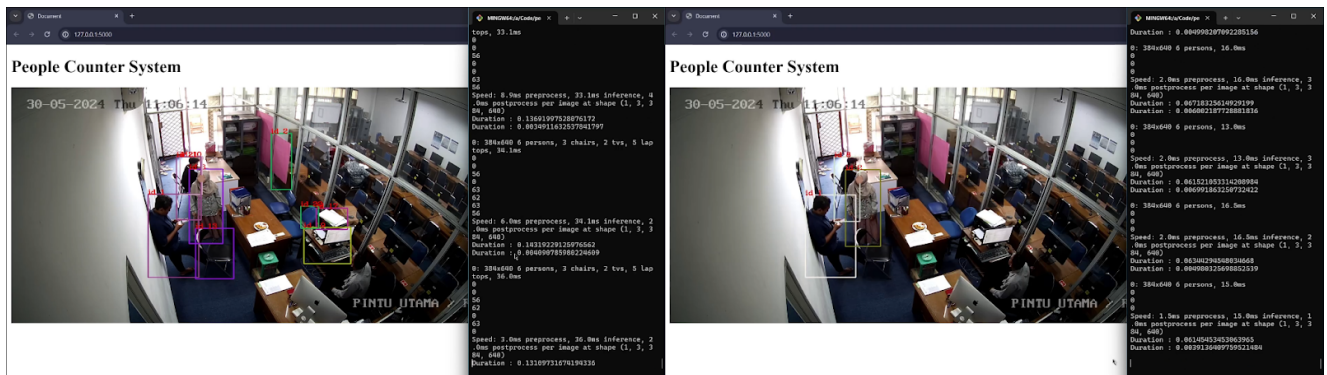
Gambar 2. *Live View* dari NVR (kiri) dan Sistem Web (kanan)

3.2 Platform Web

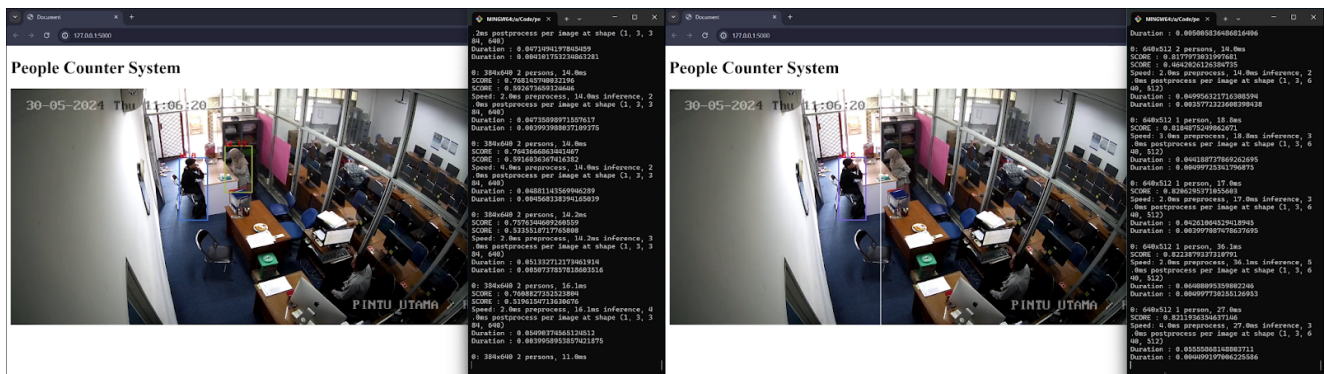
Pengembangan web menggunakan *framework* Flask berhasil mewujudkan sistem penghitung orang yang integratif dan modular dengan dukungan tata kelola struktur web yang sangat fleksibel. Berkas utama yang dieksekusi mengatur perutean (*routing*) untuk menampilkan halaman web melalui *localhost*. Sedangkan modul dan/atau pustaka pendukung fungsionalitas web disimpan pada folder maupun berkas yang berbeda. Modul Camera sebagai poros utama yang mengatur keseluruhan fungsionalitas dapat bekerja secara sistematis dengan padunya komplemen antara metode pendeteksian, pelacakan, dan penghitungan objek.

Pendeteksian orang menggunakan model YOLOv8 dapat dilakukan secara selektif dengan filtrasi kelas deteksi khusus objek orang. Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa objek selain orang juga ikut terdeteksi ketika sebelum difilter, tetapi setelah difilter, objek yang terdeteksi hanya orang saja. Suatu objek hanya bisa dideteksi jika berada di area mobilitas keluar-masuk ruangan (sebelah kiri garis putih), seperti yang tampak pada Gambar 4. Penentuan area deteksi ini penting dilakukan agar tidak memberatkan beban kerja sistem. Apabila sistem juga mendeteksi orang yang menetap (tidak berjalan) maka berisiko terjadinya latensi data video yang disebabkan oleh proses deteksi

objek yang tidak perlu. Ketika latensi terlalu lama, sistem segera melakukan sinkronisasi dengan video terkini dari *live view* sehingga terdapat data video yang terlewatkan dan memungkinkan pula kehilangan momen deteksi objek. Meskipun demikian, tetap masih dijumpai objek yang menetap di dalam area deteksi sehingga mengakibatkan latensi sampai kehilangan momen deteksi. Pendeteksian juga mengalami kendala objek tertutup dengan objek lain ketika beberapa objek berjalan membentuk barisan dengan jarak yang saling berdekatan. Hal itu menyebabkan objek yang tertutup tidak terdeteksi dan objek yang menutupi terdeteksi sebagai satu objek gabungan dengan objek yang tertutupi. Selain itu, ketika tidak ada objek yang terdeteksi, pustaka OpenCV bisa mendukung kemampuan untuk melompati *frame* video. Kemampuan ini sangat membantu dalam sinkronisasi dengan *live view* sehingga dapat meminimalisasi latensi dan potensi kehilangan momen deteksi.



Gambar 3. Pendeteksian Objek Sebelum Filtrasi (kiri) dan Setelah Filtrasi (kanan)

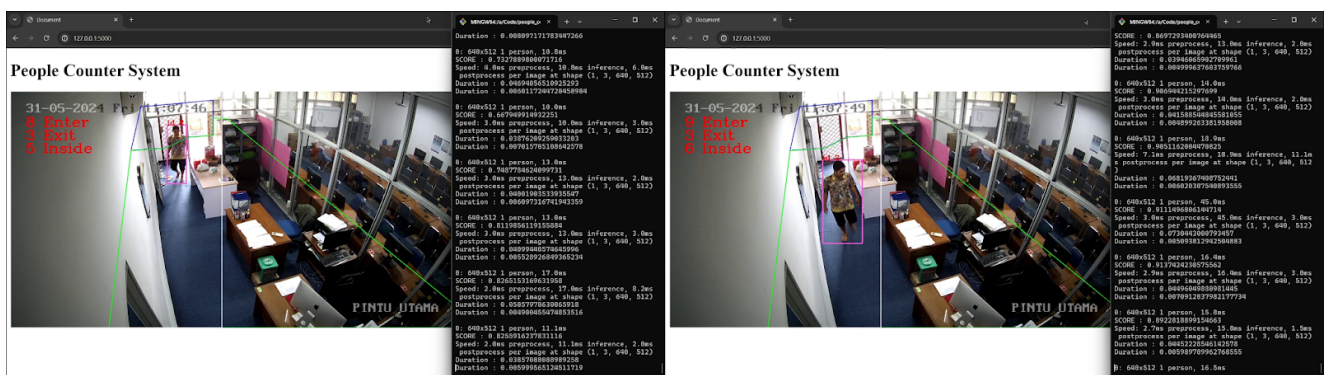


Gambar 4. Pendeteksian Sebelum Penentuan (Kiri) dan Setelah Penentuan (Kanan) Area Deteksi

Pelacakan objek menggunakan implementasi DeepSORT dari modul Tracker menunjukkan kinerja yang cukup optimal. Ketika suatu objek mulai terdeteksi, objek tersebut bergerak membawa *id* unik yang sama sehingga dianggap sebagai satu objek yang sama. Kinerja pelacakan sangat bergantung pada hasil proses deteksi objek. Apabila objek terdeteksi dengan optimal maka proses pelacakan objek juga optimal. Beberapa kali dijumpai terjadinya lepas lacak di mana seseorang dianggap sebagai objek yang berbeda. Hal itu terjadi karena deteksi awal dengan deteksi

selanjutnya terputus sehingga objek tersebut terdeteksi dan dianggap sebagai objek baru yang membawa *id* unik baru pula. Kejadian putusnya pendeteksian seperti ini disebabkan oleh objek yang berjalan terlalu cepat dan sistem yang sedang melakukan sinkronisasi video. Hal itu pula yang menyebabkan terjadinya salah lacak di mana dua orang yang berbeda dianggap sebagai satu objek yang sama.

Algoritma hitung sederhana yang diterapkan dapat beroperasi secara efektif menyesuaikan kemampuan sistem dalam pendeteksian dan pelacakan objek. Pengaturan zona indikator keluar dan zona indikator masuk sudah cukup ideal dengan menyesuaikan posisi pintu akses keluar-masuk ruangan dan jalur mobilitas orang, seperti yang dapat diamati pada Gambar 5. Zona indikator juga berhasil menjadi acuan dalam memeriksa keberadaan suatu objek dengan presisi sehingga dapat diketahui objek tersebut sedang masuk atau keluar. Namun, terdapat masalah garis batas yang menyebabkan suatu objek berpindah-pindah zona indikator secara singkat ketika objek tersebut berada di sekitar garis batas zona indikator. Hal itu berakibat pada kejanggalan hasil penghitungan karena objek tidak sepenuhnya masuk atau keluar area. Selain itu, pada sebuah momen yang berbeda, dijumpai kesalahan pengaturan zona indikator yang berakibat terhitungnya suatu objek yang tidak masuk area penghitungan.



Gambar 5. Zona Indikator Masuk (Garis Hijau) dan Keluar (Garis Biru)

3.3 Performa Penghitungan

Penghitungan orang menggunakan algoritma sederhana menghasilkan performa yang cukup andal. Keandalan tersebut tentu didukung dengan kinerja pendeteksian dan pelacakan objek yang komplementer. Tidak ada spesifikasi khusus terkait objek yang dihitung agar dapat diperoleh hasil yang natural sesuai kondisi lingkungan tempat penghitungan. Akurasi dan rasio galat diukur menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2. Akurasi diperoleh berdasarkan berapa banyak kesesuaian data antara hasil penghitungan sistem dan hasil penghitungan aktual, sedangkan rasio galat diperoleh berdasarkan berapa banyak penyimpangan data antara hasil penghitungan sistem dan hasil penghitungan aktual. Metrik evaluasi *precision*, *recall*, dan *F1-Score* diukur menggunakan

Persamaan 3, Persamaan 4, dan Persamaan 5. Setiap kejadian masuk/keluar dicatat berdasarkan kapan waktu terjadinya dan berapa banyak orang yang terhitung. Apabila tidak ada orang yang terhitung pada kejadian tertentu maka banyaknya orang yang terhitung adalah nol.

Tabel 3. Pengujian Pertama (Masuk)

Time	Actual	System	TP	FP	TN	FN
11:07:07	1	1	1	-	-	-
11:09:10	1	1	1	-	-	-
11:12:23	1	1	1	-	-	-
11:22:48	1	1	1	-	-	-
11:22:49	1	1	1	-	-	-
11:24:06	1	1	1	-	-	-
11:30:34	1	1	1	-	-	-
11:32:52	1	1	1	-	-	-
11:33:17	1	1	1	-	-	-
11:34:26	1	1	1	-	-	-
11:35:28	1	1	1	-	-	-
11:36:42	1	1	1	-	-	-
11:37:04	1	1	1	-	-	-
11:38:36	1	1	1	-	-	-
11:49:43	1	1	1	-	-	-
11:53:55	1	1	1	-	-	-
12:02:09	1	1	1	-	-	-
12:02:12	1	1	1	-	-	-
12:04:29	1	1	1	-	-	-
12:09:11	1	1	1	-	-	-
12:09:21	1	1	1	-	-	-
12:15:27	1	1	1	-	-	-
12:15:29	1	1	1	-	-	-
12:16:25	1	1	1	-	-	-
12:16:26	1	1	1	-	-	-
12:17:24	1	1	1	-	-	-
12:22:08	1	1	1	-	-	-
12:23:13	1	1	1	-	-	-
12:25:06	1	1	1	-	-	-
12:29:35	1	1	1	-	-	-
12:29:52	1	1	1	-	-	-
12:33:22	1	1	1	-	-	-
12:35:35	1	1	1	-	-	-
12:36:56	1	1	1	-	-	-
12:38:42	1	1	1	-	-	-
12:41:51	1	1	1	-	-	-
12:43:41	1	1	1	-	-	-
12:43:42	1	1	1	-	-	-
12:48:03	1	1	1	-	-	-
12:53:05	1	1	1	-	-	-
12:53:08	1	1	1	-	-	-
Total	41	41	41	0	0	0

Tabel 4. Pengujian Pertama (Keluar)

Time	Actual	System	TP	FP	TN	FN
11:06:57	1	0	-	-	-	1
11:07:00	1	0	-	-	-	1
11:07:05	1	1	1	-	-	-
11:09:31	1	1	1	-	-	-
11:22:13	1	0	-	-	-	1
11:22:15	1	1	1	-	-	-
11:30:55	1	1	1	-	-	-
11:32:47	1	1	1	-	-	-
11:33:43	1	1	1	-	-	-
11:34:04	1	1	1	-	-	-
11:35:41	1	1	1	-	-	-
11:38:03	1	0	-	-	-	1
11:42:27	1	1	1	-	-	-
11:43:35	1	0	-	-	-	1
11:43:36	1	1	1	-	-	-
11:45:24	1	1	1	-	-	-
11:45:29	1	1	1	-	-	-
11:49:01	1	1	1	-	-	-
11:49:05	1	1	1	-	-	-
11:54:15	1	0	-	-	-	1
12:16:32	1	1	1	-	-	-
12:19:23	1	0	-	-	-	1
12:19:31	1	1	1	-	-	-
12:23:28	1	1	1	-	-	-
12:24:31	1	1	1	-	-	-
12:27:58	1	1	1	-	-	-
12:28:42	1	1	1	-	-	-
12:29:03	1	1	1	-	-	-
12:30:01	1	1	1	-	-	-
12:30:51	1	1	1	-	-	-
12:32:09	1	0	-	-	-	1
12:34:39	1	1	1	-	-	-
12:36:18	1	1	1	-	-	-
12:36:29	1	0	-	-	-	1
12:37:13	1	0	-	-	-	1
12:37:16	1	1	1	-	-	-
12:37:56	1	1	1	-	-	-
12:37:59	1	1	1	-	-	-
12:38:40	1	1	1	-	-	-
12:38:57	1	1	1	-	-	-
12:47:14	1	1	1	-	-	-
12:48:28	1	1	1	-	-	-
Total	42	32	32	0	0	10

Pengujian pertama dilaksanakan pada masa di mana terjadi banyak sekali mobilitas dengan total 83 kejadian, meliputi 41 kejadian orang masuk dan 42 kejadian orang keluar. Pada Tabel 3, diketahui hasil hitung yang sesuai sebanyak 41 kejadian sedangkan hasil hitung yang menyimpang

tidak ada. Jadi, diperoleh performa hasil penghitungan sistem yang sangat baik dengan akurasi sempurna 100% dan rasio galat sempurna 0%. Performa tersebut juga dibuktikan dengan nilai metrik evaluasi yang diperoleh, yakni *precision* sebesar 1, *recall* sebesar 1, dan *F1-Score* sebesar 1.

Sementara itu pada Tabel 4, diketahui hasil hitung yang sesuai sebanyak 32 kejadian sedangkan hasil hitung yang menyimpang sebanyak 10 kejadian. Jadi, diperoleh hasil penghitungan sistem yang cukup baik dengan akurasi sebesar 76,2% dan rasio galat sebesar 23,8%. Performa tersebut juga dibuktikan dengan nilai metrik evaluasi yang diperoleh, yakni *precision* sebesar 1, *recall* sebesar 0,76, dan *F1-Score* sebesar 0,86. Adapun kejanggalan pada hasil yang menyimpang disebabkan oleh adanya latensi (sebanyak tiga kejadian), objek tertutup (sebanyak satu kejadian), dan lepas lacak (sebanyak enam kejadian).

Tabel 5. Pengujian Kedua (Masuk)

Time	Actual	System	TP	FP	TN	FN
11:07:48	1	1	1	-	-	-
11:20:40	1	1	1	-	-	-
11:30:37	1	1	1	-	-	-
11:33:32	1	1	1	-	-	-
11:33:35	1	1	1	-	-	-
11:37:48	1	1	1	-	-	-
11:39:27	1	1	1	-	-	-
11:50:55	1	1	1	-	-	-
11:55:37	1	1	1	-	-	-
12:05:05	1	1	1	-	-	-
12:05:37	1	1	1	-	-	-
12:08:35	1	1	1	-	-	-
12:09:15	1	1	1	-	-	-
12:22:20	1	1	1	-	-	-
12:22:42	1	1	1	-	-	-
12:23:41	1	1	1	-	-	-
12:23:46	1	1	1	-	-	-
12:23:54	1	1	1	-	-	-
12:24:50	1	1	1	-	-	-
12:24:55	1	1	1	-	-	-
12:25:18	1	1	1	-	-	-
12:26:36	1	1	1	-	-	-
12:31:38	0	1	-	1	-	-
12:31:45	1	1	1	-	-	-
12:35:38	1	1	1	-	-	-
12:36:16	1	1	1	-	-	-
12:50:13	1	1	1	-	-	-
12:52:25	1	1	1	-	-	-
Total	27	28	27	1	0	0

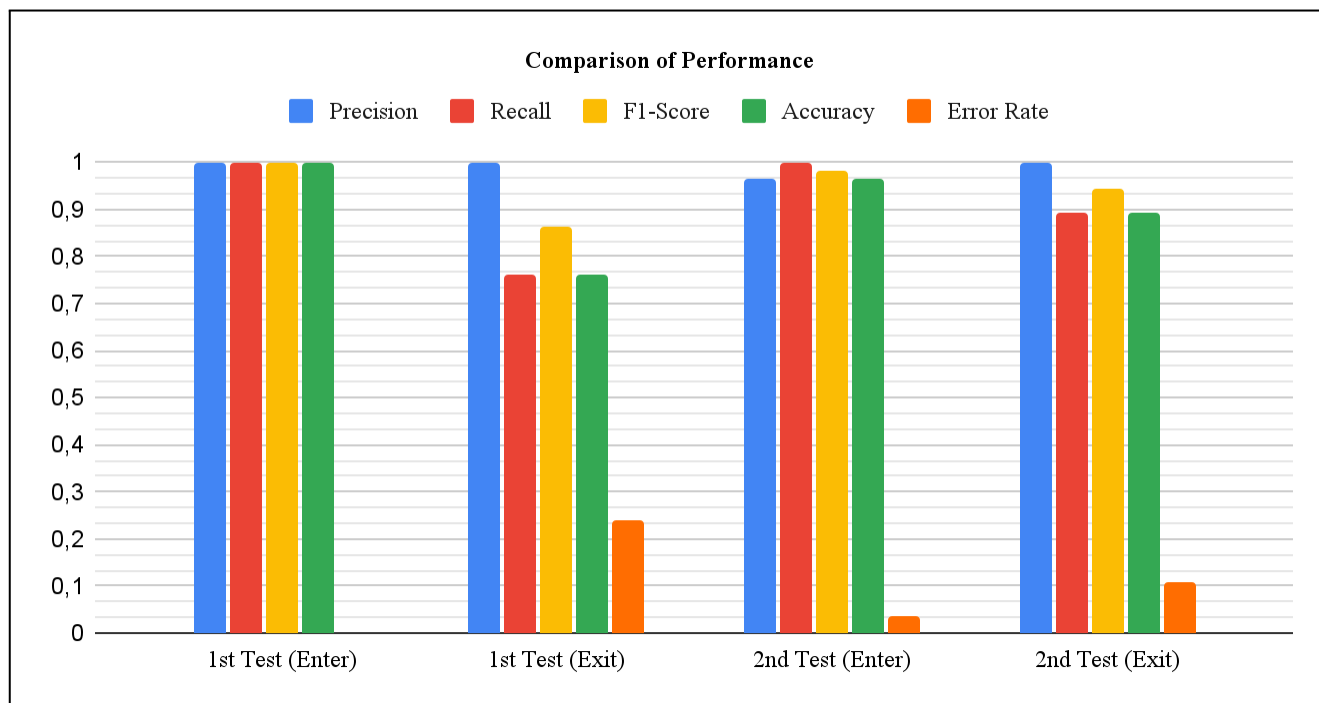
Tabel 6. Pengujian Kedua (Keluar)

Time	Actual	System	TP	FP	TN	FN
11:04:44	1	1	1	-	-	-
11:31:34	1	1	1	-	-	-
11:37:45	1	1	1	-	-	-
11:39:01	1	1	1	-	-	-
11:41:22	1	1	1	-	-	-
11:41:25	1	1	1	-	-	-
11:41:26	1	1	1	-	-	-
11:41:28	1	1	1	-	-	-
11:43:59	1	1	1	-	-	-
11:51:37	1	1	1	-	-	-
11:51:38	1	1	1	-	-	-
11:56:04	1	1	1	-	-	-
12:05:20	1	1	1	-	-	-
12:05:53	1	1	1	-	-	-
12:08:28	1	0	-	-	-	1
12:09:09	1	1	1	-	-	-
12:23:47	1	1	1	-	-	-
12:28:54	1	1	1	-	-	-
12:31:39	1	0	-	-	-	1
12:32:25	1	1	1	-	-	-
12:32:27	1	0	-	-	-	1
12:33:43	1	1	1	-	-	-
12:41:50	1	1	1	-	-	-
12:41:51	1	1	1	-	-	-
12:44:01	1	1	1	-	-	-
12:51:53	1	1	1	-	-	-
12:51:55	1	1	1	-	-	-
12:58:01	1	1	1	-	-	-
Total	28	25	25	0	0	3

Pengujian kedua dilaksanakan pada masa di mana terjadi lebih sedikit mobilitas dengan total 56 kejadian, meliputi 28 kejadian orang masuk dan 28 kejadian orang keluar. Pada Tabel 5, diketahui hasil hitung yang sesuai sebanyak 27 kejadian dan terdapat sebuah hasil hitung yang menyimpang. Jadi, diperoleh hasil penghitungan sistem yang baik dengan akurasi sebesar 96,4% dan rasio galat sebesar 3,6%. Performa tersebut juga dibuktikan dengan nilai metrik evaluasi yang diperoleh, yakni *precision* sebesar 0,96, *recall* sebesar 1, dan *F1-Score* sebesar 0,98. Adapun sebuah kejanggalan pada hasil yang menyimpang terjadi karena terdapat salah lacak.

Sementara itu pada Tabel 6, diketahui hasil hitung yang sesuai sebanyak 25 kejadian sedangkan hasil hitung yang menyimpang sebanyak tiga kejadian. Jadi, diperoleh hasil penghitungan sistem yang cukup baik dengan akurasi sebesar 89,3% dan rasio galat sebesar 10,7%. Performa tersebut juga dibuktikan dengan nilai metrik evaluasi yang diperoleh, yakni *precision* sebesar 1, *recall* sebesar 0,89, dan *F1-Score* sebesar 0,94. Adapun seluruh kejanggalan pada hasil

yang menyimpang disebabkan oleh adanya lepas lacak (sebanyak tiga kejadian).



Gambar 6. Grafik Perbandingan Performa Penghitungan

Grafik di Gambar 6 menunjukkan bahwa penghitungan orang masuk lebih akurat daripada penghitungan orang keluar pada masing-masing pengujian. Hal tersebut besar dipengaruhi oleh tampaknya wajah seseorang dari sudut pandang kamera ketika berjalan masuk. Pada penghitungan orang masuk, hanya dijumpai satu kejadian galat salah lacak di pengujian kedua. Sementara itu pada penghitungan orang keluar, dijumpai 10 kejadian galat di pengujian pertama dan tiga kejadian galat di pengujian kedua. Berdasarkan kedua pengujian tersebut, galat lepas lacak menyumbang jumlah terbanyak dengan sembilan kejadian, galat latensi sebanyak tiga kejadian, dan galat objek tertutup sebanyak satu kejadian.

4. PENUTUP

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan, sistem penghitung orang yang dikembangkan pada penelitian ini berhasil beroperasi dengan semestinya sesuai rancangan. Pengaksesan video *live view* dari kamera pengawas menunjukkan keberhasilan dalam realisasi pengembangan sistem yang *real time* alih-alih hanya menggunakan berkas video rekaman. Implementasi framework web juga memungkinkan pengaksesan informasi yang lebih fleksibel daripada sistem berbasis GUI. Selain itu, integrasi metode pendeteksian, pelacakan, dan penghitungan objek menghasilkan performa penghitungan sistem yang reliabel. Secara keseluruhan, performa sistem memiliki akurasi rata-rata sebesar 90,5% dan rasio galat rata-rata sebesar 9,5% yang didukung dengan nilai *precision* rata-rata sebesar 0,991, *recall* rata-rata sebesar 0,914, dan *F1-Score* rata-rata sebesar 0,948.

Meskipun demikian, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dengan merujuk pada batasan maupun kendala yang ditemukan. Pendeteksian objek tak bergerak menyebabkan latensi terhadap aliran video *live view* sehingga sangat berisiko kehilangan data jika latensi terlalu lama. Pelacakan objek juga kerap kali salah menganggap terhadap satu orang yang berjalan sebagai dua objek dengan *id* berbeda ataupun salah menganggap terhadap dua orang berbeda sebagai satu objek dengan *id* yang sama. Hal tersebut terbukti jelas dengan ditemukannya sembilan kejadian galat lepas lacak pada keseluruhan rasio galat yang terjadi di semua pengujian. Selain itu, aksesibilitas platform web hanya terbatas pada *localhost* dan belum mendukung penyimpanan data.

PERSANTUNAN

Penelitian ini mungkin tidak berhasil dilaksanakan dengan baik tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Dukungan terutama dari pihak pengelola Laboratorium Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memperbolehkan penggunaan tempat untuk penelitian dan pembimbing yang telah mengarahkan proses penelitian. Selain itu, dukungan dari pihak-pihak lain yang telah menjadi sukarelawan objek penelitian dan memberi saran terhadap perkembangan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*.
- Chee, J. H., & Mazlan, M. H. (2023). Development of Automated People Counting System using Object Detection and Tracking. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 19(06), 18–30. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v19i06.38515>
- Choksi, P. M., Desai, L. S., & Meghrajani, Y. K. (2021). Object Detection Using Deep Learning for Visually Impaired People in Indoor Environment. In V. S. Reddy, V. K. Prasad, J. Wang, & K. T. V. Reddy (Eds.), *Soft Computing and Signal Processing* (pp. 617–625). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6912-2_56
- Dompeipen, T. A., Sompie, S. R. U. A., & Najoan, M. E. I. (2021). Computer Vision Implementation for Detection and Counting the Number of Humans. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.35793/jti.16.1.2021.31471>
- Erwin, I. M., Prajitno, D. R., & Prakasa, E. (2022). Detection of Highway Lane using Color Filtering and Line Determination. *Khazanah Informatika : Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.23917/khif.v8i1.15854>
- Firdaus, R. R., & Hardyanto, C. (2023). Pembangunan Aplikasi Pendeteksi Keramaian di Ruang Publik dalam Penerapan New Normal di Kota Bandung. *Jurnal Penelitian Mahasiswa Teknik Dan Ilmu Komputer (JUPITER)*, 3(1), 1–10.
- Grinberg, M. (2018). *Flask Web Development: Developing Web Applications with Python*. O'Reilly Media, Inc.

- Hua, M., Nan, Y., & Lian, S. (2023). Application-Driven AI Paradigm for Person Counting in Various Scenarios (arXiv:2303.13788). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.13788>
- Indrajaya, D., Setiawan, A., Hartanto, D., & Hariyanto, H. (2022). Object Detection to Identify Shapes of Swallow Nests Using a Deep Learning Algorithm. *Khazanah Informatika : Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.23917/khif.v8i2.16489>
- Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). Ultralytics YOLO (8.0.0) [Computer software]. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Kariyamin, K., Riadi, I., & Herman, H. (2023). Performance Analysis of Real Time Streaming Protocol (RTSP) and Real Time Transport Protocol (RTP) Using VLC Application on Live Video Streaming. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 4(4), 769–778. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.4.698>
- Kusumawati, W. I., Pratikno, H., & Admaja, Y. P. (2021). Sistem Penghitung Jumlah Pengunjung Restoran Menggunakan Kamera Berbasis Single Shot Detector (SSD) : *Journal of Technology and Informatics (JoTI)*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.37802/joti.v3i1.197>
- Laksono, D. T., Husna, I. N., Ulum, M., Saputro, A. K., Fahmi, M. F., & Purnamasari, D. N. (2022). Sistem Deteksi dan Perhitungan Jumlah Manusia dalam Ruangan Menggunakan Metode Convolutional Neural Network. *Jurnal Simantec*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.21107/simantec.v11i1.19745>
- Mendrofa, N. Y. S., Mahfuzie, A., Faisal, M., Haidar, A., & Rosyani, P. (2023). Perbandingan Metode Yolo dan Fast R-CNN dalam Sistem Deteksi Pengenalan Kendaraan. *JRIIN :Jurnal Riset Informatika Dan Inovasi*, 1(2), Article 2.
- Obulesu, Dr. O., Hanshika, A., Lahari, A., Arunodaya, P., & Ashwini, R. (2023). People Counting and Tracking System in Real-Time using Deep Learning Techniques. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(7), 713–720. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54644>
- Sanchez, S. A., Romero, H. J., & Morales, A. D. (2020). A review: Comparison of performance metrics of pretrained models for object detection using the TensorFlow framework. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 844(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012024>
- Saxena, A., Taterh, S., & Saxena, N. (2020). Comparative Study of the Ultrasonic and Infrared Person Counter. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4032-5_96
- Sulistyo, A. (2019). Kombinasi Teknologi Aplikasi GPS Mobile dan Pemetaan SIG dalam Sistem Pemantauan Demam Berdarah (DBD). *Khazanah Informatika : Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.23917/khif.v5i1.7136>
- Supriyatna, A., & Maria, V. (2017). Analisa Tingkat Kepuasan Pengguna dan Tingkat Kepentingan Penerapan Sistem Informasi DJP Online dengan Kerangka PIECES. *Khazanah Informatika : Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.23917/khif.v3i2.5264>
- Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M., & Romero-González, J.-A. (2023). A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), 1680–1716. <https://doi.org/10.3390/make5040083>

- V, L., Ravichandran, S., & R, S. (2023). Design and Development of a People Counting System. 2023 Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICAECT57570.2023.10117820>
- Wojke, N., & Bewley, A. (2018). Deep Cosine Metric Learning for Person Re-identification. 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 748–756. <https://doi.org/10.1109/WACV.2018.00087>