

Pelacakan Kerumunan Adaptif: Deteksi Cerdas Berdasarkan Pergerakan Pengunjung Di Area Wisata Menggunakan Yolo

1st Muhammad Adib Althoriq

Fakultas Ilmu Terapan

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

adibalthoriq@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Periyadi

Fakultas Ilmu Terapan

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

periyadi@telkomuniversity.ac.id

3rd Giva Andriana Mutiara

Fakultas Ilmu Terapan

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

givamz@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pertumbuhan jumlah pengunjung di kawasan wisata terbuka seperti Kawah Putih mendorong perlunya sistem pemantauan keramaian yang akurat dan efisien untuk mendukung pengambilan keputusan pengelola dalam menjaga kenyamanan dan keamanan pengunjung. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi dan penghitung keramaian berbasis pergerakan (movement counter) secara real-time menggunakan algoritma YOLOv8 untuk deteksi objek dan centroid tracker untuk pelacakan arah gerak. Sistem ini mampu membedakan pergerakan masuk dan keluar pengunjung dengan memanfaatkan metode pendeteksian garis lintas (line crossing). Hasil deteksi diintegrasikan dengan platform web menggunakan framework Flask, sehingga data jumlah pengunjung dapat ditampilkan secara real-time dalam bentuk grafik dan tabel. Pengujian dilakukan pada lokasi dengan tingkat keramaian tinggi. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi pergerakan individu secara akurat, dengan performa yang stabil di berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini membuktikan bahwa sistem crowd monitoring berbasis AI dan computer vision dapat diimplementasikan secara efektif untuk mendukung pengelolaan destinasi wisata secara modern dan non-invasif.

Kata kunci— pendeteksi keramaian, penghitung pergerakan, YOLOv8, centroid tracker, monitoring real-time, area wisata.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan urbanisasi yang pesat serta meningkatnya kepadatan populasi di ruang publik, termasuk kawasan wisata, menuntut adanya sistem pemantauan keramaian yang lebih efisien guna menjamin keamanan, kenyamanan, serta optimalisasi distribusi sumber daya. Sistem penghitungan orang dan pelacakan pergerakan secara real-time berbasis kecerdasan buatan telah banyak diadopsi dalam sistem pengawasan cerdas dan manajemen publik. Meskipun teknologi berbasis deep learning menunjukkan peningkatan akurasi dalam pelacakan objek, penerapannya di lingkungan wisata berskala besar masih menghadapi kendala, antara lain

kompleksitas lingkungan, isu privasi, serta perilaku pengunjung yang bervariasi [1].

Pendekatan tradisional dalam pemantauan keramaian cenderung tidak efektif di lingkungan terbuka yang dinamis karena keterbatasan visual dan pergerakan pengunjung yang tidak terduga [2]. Di sisi lain, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada sektor transportasi publik, sementara kebutuhan akan sistem cerdas di kawasan wisata terbuka belum sepenuhnya terpenuhi [3]. Selain itu, kepadatan pengunjung yang berlebihan di destinasi wisata dapat menurunkan tingkat kepuasan, meningkatkan risiko keselamatan, serta memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Beberapa studi menyebutkan bahwa pengalaman wisatawan sangat dipengaruhi oleh tingkat keramaian, yang ditandai dengan antrian panjang, keterbatasan ruang gerak, dan perasaan tidak aman [4].

Untuk menjawab tantangan tersebut, dibutuhkan sistem pemantauan berbasis penghitungan pergerakan real-time yang akurat dan mendukung distribusi pengunjung serta perencanaan strategis pada masa ramai. Penelitian ini mengusulkan kerangka pelacakan berbasis arah masuk-keluar dengan pemrosesan data anonim untuk menjaga privasi [5]. Efektivitas teknologi Automatic Passenger Counting (APC) di sektor transportasi menunjukkan efektivitas sistem penghitungan cerdas dan membuka potensi adopsi serupa dalam pengelolaan arus wisatawan [6].

Penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam pengelolaan destinasi wisata melalui integrasi data pengunjung secara real-time dengan data transaksi pembelian tiket. Metode verifikasi silang ini memungkinkan pengelola untuk mendeteksi akses tidak sah, mencegah kepadatan berlebih, serta memastikan pelaporan jumlah wisatawan yang lebih akurat [7]. Integrasi sistem pemantauan cerdas dengan data transaksional juga dapat meningkatkan alokasi sumber daya, mendukung perencanaan darurat, serta strategi pengaturan arus keramaian [8], sehingga menjadi elemen penting dalam pengembangan

infrastruktur pariwisata cerdas dan manajemen destinasi berbasis teknologi [9].

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan konteks penelitian yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem penghitung keramaian berbasis pergerakan yang mampu mendeteksi dan melacak individu secara real-time di area wisata?
2. Bagaimana meningkatkan akurasi sistem dalam membedakan arah masuk dan keluar pengunjung pada lingkungan dinamis seperti kawasan wisata?
3. Bagaimana mengintegrasikan sistem deteksi keramaian ke dalam platform web agar dapat diakses dan dimonitor secara real-time oleh pengelola destinasi wisata?
4. Sejauh mana efektivitas sistem yang dikembangkan dalam memberikan informasi pendukung pengambilan keputusan pengelolaan keramaian secara efisien dan non-invasif?

C. Tujuan

Adapun tujuan yang didapatkan dari pemaparan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem penghitung keramaian berbasis pergerakan yang mampu mendeteksi dan melacak individu secara real-time menggunakan YOLO dan centroid tracker.
2. Meningkatkan akurasi penghitungan jumlah pengunjung berdasarkan arah pergerakan melalui algoritma line crossing detection.
3. Mengintegrasikan sistem deteksi keramaian dengan platform web berbasis Flask untuk menyajikan data entry dan exit secara real-time.
4. Menyediakan data visualisasi jumlah pengunjung dalam bentuk tabel dan grafik sebagai data pembandingan guna mendukung analisis operasional dan pengambilan keputusan pengelola kawasan wisata.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan tidak meluas dari topik yang diharapkan, maka dilakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya berfokus pada penghitungan dan pelacakan pergerakan individu berdasarkan crossing line (entry dan exit), tanpa identifikasi personal (face recognition).
2. Lingkungan pengujian dibatasi pada area wisata terbuka (seperti Kawah Putih) dan beberapa event dalam ruangan dengan kamera statis dan pencahayaan alami.
3. Sistem dibangun menggunakan model YOLOv8 untuk deteksi objek dan centroid tracker untuk pelacakan.
4. Visualisasi data hanya ditampilkan melalui platform web berbasis Flask dan server lokal (localhost), tidak menggunakan cloud secara langsung.
5. Evaluasi sistem difokuskan pada aspek akurasi, recall, dan detection rate dengan analisis penghitungan masuk dan keluarnya pengunjung.

II. KAJIAN TEORI

Dalam perancangan system pelacakan kerumunan berbasis pergerakan pengunjung, pembahasan teori disajikan dalam tinjauan pustaka berikut ini.

A. Deteksi Objek

Deteksi objek adalah komponen penting dari sistem, karena menjadi dasar untuk mengidentifikasi pengunjung secara real-time. Sistem ini menggunakan model YOLOv8, yang dibangun dengan menggabungkan ekstraksi fitur yang disempurnakan, penanganan objek kecil yang lebih baik, dan arsitektur jaringan yang dioptimalkan. YOLOv8 mencapai kecepatan inferensi yang tinggi dengan tetap mempertahankan akurasi, sehingga ideal untuk aplikasi real-time di area dengan kepadatan tinggi. Redmon dan Farhadi [10] menyoroti bahwa kerangka kerja YOLO sangat cocok untuk skenario yang membutuhkan pengambilan keputusan yang cepat dan overhead komputasi yang minimal.

B. Centroid Tracker

Modul pelacakan memainkan peran penting dalam mempertahankan identitas objek yang terdeteksi di seluruh frame. Sistem ini menggunakan algoritme pelacakan berbasis centroid, yang memberikan ID unik untuk setiap objek yang terdeteksi dan menghitung lintasannya dari waktu ke waktu. Teknik ini didukung oleh algoritma aliran optik [11], yang memberikan estimasi gerakan yang andal dengan melacak titik-titik kunci dalam setiap objek. Metodologi ini tidak hanya meningkatkan keandalan tetapi juga mengurangi kompleksitas komputasi, sehingga memungkinkan sistem beroperasi secara efisien dalam waktu nyata.

C. Algoritma Line Crossing

Algoritma Line Crossing dirancang untuk mengklasifikasikan pergerakan sebagai masuk atau keluar berdasarkan lintasan objek relatif terhadap garis virtual yang telah ditentukan sebelumnya. Garis virtual ini ditempatkan secara strategis di titik masuk dan keluar yang ditentukan, sehingga memungkinkan sistem untuk memantau arus pengunjung secara efektif. Terinspirasi oleh karya Hapsari dkk.[6], modul ini menggunakan data lintasan dari tahap pelacakan untuk menentukan apakah sebuah objek telah melewati garis masuk atau keluar. Sistem menghitung arah pergerakan dengan menganalisis urutan posisi objek sebelum dan sesudah melewati garis. Pendekatan ini memastikan bahwa klasifikasi akurat, bahkan dalam kasus lalu lintas dua arah. Dengan menggabungkan algoritme ini dengan data pelacakan yang kuat, sistem ini memberikan wawasan yang terperinci tentang arus pengunjung, memungkinkan pemantauan waktu nyata dan analisis statistik. Algoritme penyeberangan jalur juga dioptimalkan untuk skalabilitas, memungkinkan beberapa jalur virtual digunakan di area yang luas tanpa mengorbankan kinerja.

III. METODE

A. Gambaran Sistem Saat Ini

Sistem penghitungan jumlah pengunjung, khususnya di Wana Wisata Kawah Putih saat ini masih mengandalkan sistem tiket manual. Seperti yang terlihat pada Gambar 1, Proses ini hanya mencatat jumlah tiket yang terjual tanpa

memperhitungkan secara akurat jumlah pengunjung yang masih berada di area wisata. Akibatnya, pihak pengelola tidak memiliki data real-time mengenai jumlah pengunjung yang sedang berada di lokasi. Hal ini menjadi tantangan, terutama ketika terjadi lonjakan pengunjung, karena potensi terjadinya kepadatan yang tidak terkendali semakin besar.



GAMBAR 1
Gerbang Ticketing Kawah Putih

Ketidakmampuan untuk memantau jumlah pengunjung secara langsung dapat berdampak negatif pada pengalaman wisata. Kondisi overcrowded tidak hanya mengurangi kenyamanan wisatawan, tetapi juga meningkatkan risiko keamanan serta berdampak pada kelestarian lingkungan sekitar Kawah Putih. Tanpa sistem pemantauan yang memadai, pengelola sulit mengambil langkah preventif untuk mengontrol kapasitas area wisata.

Dengan adanya sistem deteksi keramaian (crowded detection), diharapkan masalah tersebut dapat diatasi. Sistem ini dirancang untuk memantau dan menghitung jumlah pengunjung secara real-time menggunakan teknologi yang canggih, seperti pengenalan objek dan pelacakan gerakan. Data yang diperoleh dari sistem ini memungkinkan pengelola untuk mengetahui jumlah pengunjung yang sedang berada di kawasan wisata. Informasi ini sangat berguna untuk mengambil keputusan cepat dalam mencegah terjadinya overcrowded dan menjaga kenyamanan serta keamanan pengunjung.

Implementasi crowded detection juga mendukung pengelolaan kawasan wisata yang lebih modern dan efisien. Dengan data yang akurat dan sistematis, pengelola dapat merancang strategi operasional yang lebih baik, seperti mengatur kapasitas maksimal pengunjung atau memberikan peringatan dini ketika jumlah pengunjung mendekati batas aman. Selain itu, sistem ini juga dapat digunakan sebagai alat evaluasi untuk merancang kebijakan wisata yang lebih berkelanjutan di masa depan.

B. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem crowded detection dilakukan untuk membangun solusi berbasis algoritma yang mampu mendeteksi dan melacak keramaian secara otomatis. Sistem yang diajukan dirancang menggunakan model YOLOv8 untuk mendeteksi individu dan centroid tracker untuk melacak pergerakan mereka melintasi garis virtual entry dan exit.

Pemilihan Model YOLOv8 didasarkan pada jurnal penelitian terdahulu. Dalam deteksi objek real-time, YOLOv8 menunjukkan peningkatan signifikan dibanding YOLOv5 dan tetap unggul atas YOLOv9, terutama dalam efisiensi komputasi dan akurasi. Dalam metode MSQuant menunjukkan bahwa YOLOv8 lebih tahan terhadap

degradasi kuantisasi dibanding YOLOv5, berkat strategi migrasi skala yang seimbang[12]. Di bidang medis, integrasi YOLOv8 dan CNN dalam deteksi kanker paru dari citra DICOM menghasilkan metrik performa yang lebih tinggi dibanding model konvensional [13]. Dalam pengenalan kendaraan, modifikasi YOLOv8 dengan FasterNet dan CBAM mengungguli YOLOv9 pada enam metrik utama [14]. Meskipun YOLOv9 menawarkan pembaruan struktural, YOLOv8 tetap lebih efisien untuk sistem dengan keterbatasan memori dan daya, tanpa mengorbankan akurasi dan segmentasi, menjadikannya pilihan optimal untuk aplikasi edge computing.

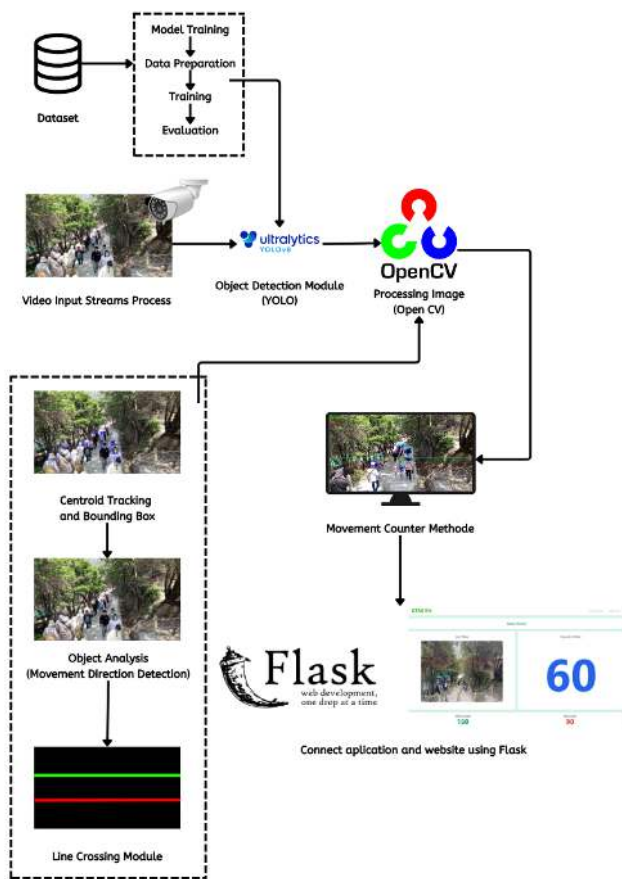
Untuk tracking individu pada sistem ini, digunakan algoritma centroid tracker yang mampu menjaga identitas setiap objek terdeteksi antar frame secara efisien. Metode ini menghitung titik pusat (centroid) dari setiap bounding box hasil deteksi YOLOv8 dan melacak pergerakannya dengan menghitung jarak Euclidean antar frame. Jika jarak antar centroid masih berada di bawah ambang tertentu, objek dianggap sama dan dipertahankan ID-nya; jika tidak, ID baru diberikan. Beberapa penelitian terkini bahkan menggabungkan centroid tracking dengan metode lain seperti template matching untuk pelacakan objek di citra UAV atau menggunakan deteksi anchor-free untuk meningkatkan konsistensi fitur[15], [16]. Dalam sistem yang dirancang dengan centroid tracker dimulai dengan mendeteksi manusia menggunakan YOLOv8, kemudian mengekstrak bounding box dari hasil deteksi tersebut, dan menghitung titik tengah (centroid) (C_x , C_y) berdasarkan koordinat bounding box. Untuk setiap objek yang terdeteksi dengan bounding box yang didefinisikan oleh koordinat pojok kiri atas (x_1 , y_1) dan pojok kanan bawah (x_2 , y_2), centroid dihitung menggunakan rumus (1):

$$C_x = \frac{x_1 + x_2}{2}, C_y = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (1)$$

Centroid-centroid ini kemudian dilacak antar frame menggunakan jarak Euclidean untuk mengasosiasikan deteksi baru dengan ID objek yang sudah ada, sehingga memastikan konsistensi pelacakan individu. Jarak Euclidean antar centroid dari objek yang sama pada dua frame berturut-turut dihitung menggunakan rumus (2):

$$d = \sqrt{(C_x^{(t)} - C_x^{(t-1)})^2 + (C_y^{(t)} - C_y^{(t-1)})^2} \quad (2)$$

Di mana d adalah jarak Euclidean, t adalah frame saat ini, dan $t-1$ adalah frame sebelumnya. Jika nilai d berada di bawah ambang batas tertentu, maka deteksi baru dianggap sebagai kelanjutan dari objek yang sama dan akan diberikan ID yang sama; jika tidak, ID baru akan dibuat. Pendekatan terintegrasi ini sistem dapat berjalan secara real-time yang kuat serta menjamin akurasi dalam penghitungan jumlah orang masuk dan keluar, bahkan dalam lingkungan yang dinamis dan tidak terprediksi.

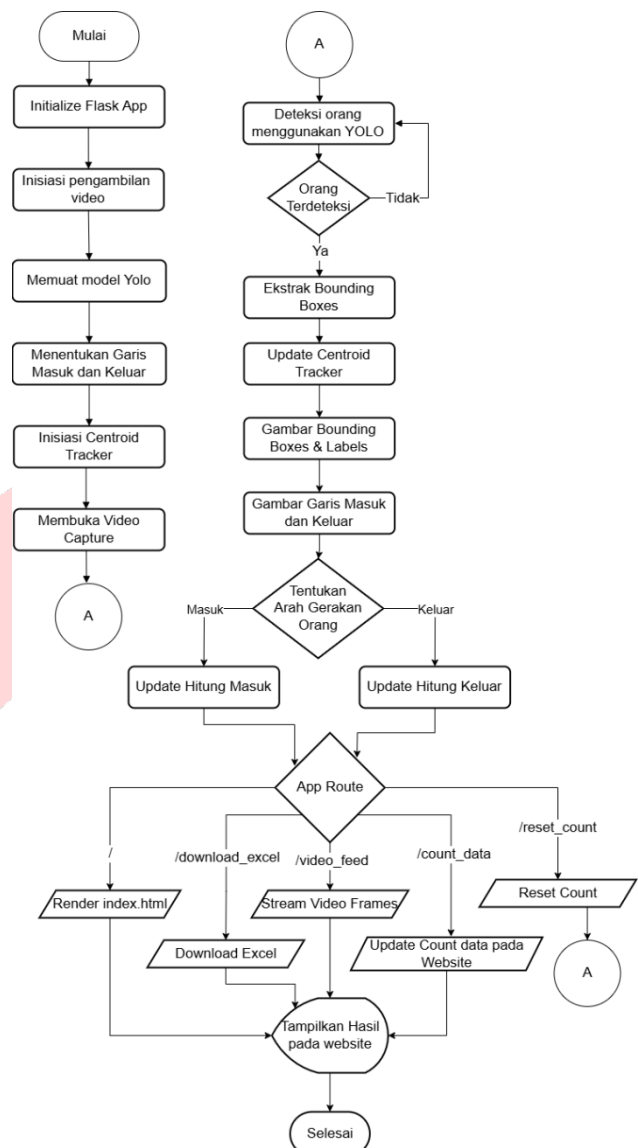


GAMBAR 2
Blok Diagram Sistem Usulan

Blok diagram pada Gambar 2 merepresentasikan alur kerja sistem crowded detection menggunakan line crossing algorithm yang memanfaatkan computer vision serta integrasi aplikasi web. Proses dimulai dari masukan video yang dikirimkan ke modul deteksi objek menggunakan algoritma YOLOv8 untuk mengidentifikasi keberadaan manusia dalam setiap frame. Hasil deteksi selanjutnya diproses menggunakan pustaka OpenCV guna melakukan pelacakan objek berbasis centroid serta pembentukan bounding box. Informasi ini kemudian dianalisis untuk menentukan arah pergerakan objek dan mendeteksi aktivitas lintas batas garis melalui Line Crossing Module. Berdasarkan hasil analisis tersebut, Movement Counter Module melakukan perhitungan jumlah pengunjung yang bergerak masuk dan keluar pada area pemantauan dan dapat memperkirakan jumlah pengunjung yang berada dalam lokasi menggunakan rumus:

$$\text{Current} = \text{entry} - \text{exit} \quad (3)$$

Data hasil perhitungan ini kemudian diintegrasikan ke dalam framework Flask, yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem pemrosesan dan antarmuka web, sehingga memungkinkan penyajian informasi secara real-time melalui tampilan website untuk keperluan monitoring jumlah pengunjung.



GAMBAR 3
Diagram Alur Sistem Usulan

Pada Gambar 3 terdapat Flowchart yang menjelaskan lebih rinci terkait blok diagram sebelumnya. Proses dimulai dengan inisialisasi aplikasi Flask dan pengambilan video, pemuatan model YOLO, serta penentuan garis masuk dan keluar yang diikuti oleh inisialisasi dan pembukaan video capture. Deteksi objek dilakukan menggunakan YOLO, dan jika objek terdeteksi, maka bounding box diekstraksi dan centroid tracker diperbarui untuk menentukan arah gerakan objek (masuk atau keluar). Berdasarkan arah pergerakan, sistem akan memperbarui jumlah hitungan masuk atau keluar, menggambar bounding box, label, serta garis batas yang ditampilkan pada layar. Di sisi aplikasi web, berbagai rute Flask digunakan untuk merender tampilan, melakukan streaming video, mengunduh data dalam format Excel, memperbarui jumlah hitungan secara real-time, serta mereset hitungan. Alur ini menggabungkan pendekatan computer vision dan web programming untuk memungkinkan pemantauan dan pelaporan data keramaian secara visual dan interaktif.

C. Kualitas/Kinerja Sistem

Sistem yang sedang dikembangkan bertujuan untuk mendeteksi keramaian secara otomatis pada area wisata dengan menggunakan model YOLOv8 dan centroid tracker. Karena sistem masih dalam tahap pengembangan, maka bagian ini akan membahas kriteria evaluasi yang akan digunakan untuk mengukur kualitas dan kinerja sistem pada tahap pengujian nanti.

Evaluasi terhadap tingkat akurasi dan keandalannya melalui metrik kinerja yang terperinci, seperti True Positive (TP), True Negative (TN), serta ukuran turunan seperti Detection Rate, Recall, dan Accuracy. Penggunaan metrik-metrik ini memungkinkan penilaian mendalam terhadap kemampuan aplikasi, khususnya dalam kondisi dengan tingkat kepadatan keramaian yang bervariasi. Untuk mendukung analisis dan memberikan evaluasi kinerja yang lebih presisi, rumus-rumus matematika yang relevan juga diperkenalkan dan diintegrasikan [17].

1. Detection Rate

Detection Rate mengacu pada kemampuan sistem untuk mendeteksi objek atau manusia yang sebenarnya ada di lingkungan pengujian. Metrik ini penting untuk menilai seberapa baik sistem dalam mendeteksi semua objek yang seharusnya terdeteksi.

$$\text{Detection Rate} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

2. Recall

Recall adalah metrik yang mengukur proporsi objek relevan yang berhasil dideteksi oleh sistem. Recall digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi semua kejadian yang relevan. Recall yang tinggi menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi sebagian besar objek yang seharusnya terdeteksi, meskipun mungkin menghasilkan beberapa deteksi yang salah (False Positives).

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

3. Accuracy

Accuracy mengukur proporsi total prediksi yang benar (baik positif maupun negatif) dibandingkan dengan semua prediksi yang dibuat. Parameter akurasi merefleksikan seberapa baik sistem dapat mengidentifikasi secara tepat, baik saat mendeteksi adanya individu maupun saat memastikan tidak adanya individu di suatu area.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (6)$$

Dalam proses pengujian sistem deteksi objek, terdapat empat kategori hasil deteksi yang perlu diperhatikan.

- True Positive (TP) Menunjukkan kondisi ideal di mana sistem berhasil mendeteksi objek secara akurat sesuai dengan yang diharapkan.
- False Positive (FP) Terjadi ketika sistem mendeteksi keberadaan objek yang sebenarnya tidak ada atau tidak termasuk dalam perhitungan akhir. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor teknis dalam proses deteksi.
- False Negative (FN) Menggambarkan situasi di mana sistem gagal mendeteksi objek yang seharusnya

teridentifikasi, sehingga objek tersebut tidak tercatat dalam hasil deteksi.

- True Negative (TN) Merujuk pada kondisi ketika sistem mendeteksi objek dari arah yang keliru, namun objek tersebut tetap dihitung dalam perhitungan akhir. Ini menunjukkan adanya ketidakakuratan dalam penentuan arah meskipun objek telah berhasil terdeteksi dan tercatat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Akhir (Luaran)

Hasil akhir dari kegiatan magang yang dilakukan adalah sebuah sistem deteksi keramaian (*crowded detection*) berbasis YOLOv8 dan algoritma centroid tracker yang telah diintegrasikan dengan platform web menggunakan flask. Sistem ini mampu mendeteksi individu dalam area tertentu, melacak pergerakan mereka melalui centroid tracker, dan menghasilkan data jumlah individu yang masuk dan keluar dari area tersebut.

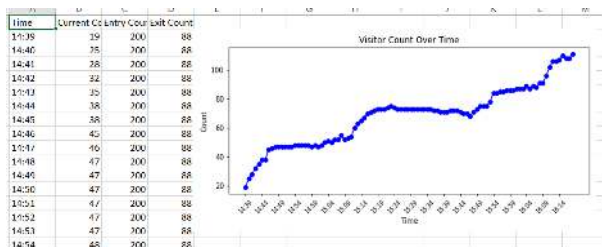
Secara umum, luaran dari magang ini meliputi:

1. Sistem yang dikembangkan merupakan sebuah aplikasi berbasis Python yang memanfaatkan pustaka OpenCV serta algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi objek, dan centroid tracker untuk melakukan pelacakan pergerakan individu. Kombinasi keduanya digunakan untuk menghitung jumlah pengunjung yang masuk dan keluar dari suatu area secara akurat. Aplikasi ini dirancang dengan pendekatan modular dan fleksibel, sehingga memungkinkan pengembangan lebih lanjut untuk berbagai skenario dan kebutuhan, seperti pengelolaan keramaian di ruang publik, sistem keamanan, maupun analisis perilaku konsumen di pusat perbelanjaan.
2. Sistem pendeteksian telah diintegrasikan dengan platform web menggunakan framework *Flask*, yang berjalan secara lokal (*localhost*). Integrasi ini memungkinkan data hasil deteksi ditampilkan secara *real-time* melalui browser dengan mengakses alamat lokal, seperti <http://127.0.0.1:5000>. Pendekatan ini memudahkan pengujian dan pengembangan awal tanpa memerlukan infrastruktur jaringan eksternal, serta menjaga keamanan data karena seluruh proses berlangsung dalam satu perangkat.
3. Antarmuka pengguna (*frontend*) dari website dirancang menggunakan teknologi *HyperText Markup Language (HTML)* dan *JavaScript* untuk memastikan interaktivitas yang optimal. Selain itu, *Tailwind CSS* digunakan sebagai framework untuk mendukung desain yang responsif dan estetis. Pemilihan teknologi tersebut bertujuan untuk menghasilkan tampilan yang modern dan ringan, sekaligus mempermudah proses pengembangan antarmuka yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Untuk design tampilan website dapat dilihat pada gambar 4.



GAMBAR 4
Tampilan Website Crowd Detection

4. Website juga dilengkapi dengan fitur untuk mengunduh data hasil deteksi dalam format Excel. Fitur ini memungkinkan pengguna menyimpan rekaman jumlah pengunjung yang masuk dan keluar dalam bentuk file .xlsx, sehingga dapat digunakan untuk keperluan dokumentasi, analisis lanjutan, atau pelaporan. Seperti yang terlihat pada Gambar 5, File Excel dihasilkan secara dinamis data yang ditangkap oleh sistem, dan dapat diakses langsung melalui antarmuka web.



GAMBAR 5
Tampilan Excel

B. Pengujian Luaran

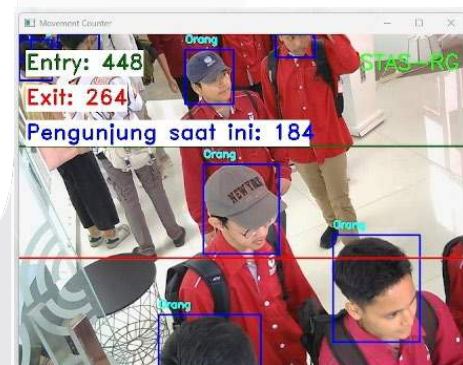
Dalam evaluasi sistem *Crowd Detection* dengan metode movement counter, dilakukan beberapa skenario pengujian yang berbeda dilakukan untuk menilai kinerja pendeteksian objek sistem sehubungan dengan variasi posisi kamera dan Lokasi area yang dipantau.

Skenario pertama diambil Ketika event FIT Study Group Expo yang berlangsung di area dalam ruangan dengan penghitung garis vertical. Aplikasi berjalan selama satu jam dan mencatat total 292 pengunjung yang masuk dan 276 pengunjung yang keluar. Sistem menunjukkan penyimpangan minimal dalam skenario ini, menyoroti keefektifannya dalam lingkungan dengan kepadatan rendah hingga sedang. Skenario pengujian dapat dilihat pada Gambar 6 Pengunjung yang melewati garis hijau akan meningkatkan jumlah masuk dan pengunjung yang melewati garis merah akan meningkatkan jumlah keluar.



GAMBAR 6
Pengujian Menggunakan Garis Vertikal Dalam Ruangan

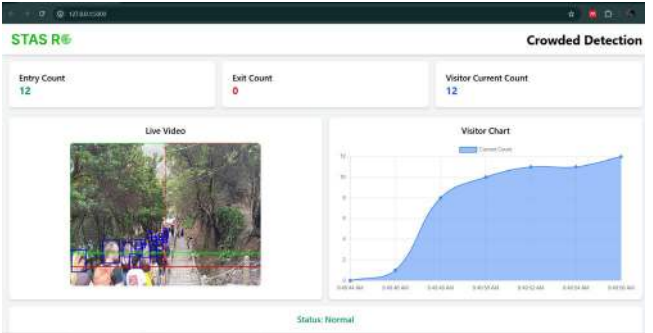
Skenario kedua diuji diambil Ketika event Telkom University Anniversary ke-34 di gedung BTP. Skenario ini menjadi indikator area dalam ruangan dengan penghitung garis horizontal, berlangsung selama enam jam seperti yang terlihat pada Gambar 7 Selama acara ini, sistem melacak 2216 entri dan 968 keluar. Jumlah pengunjung yang masuk lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah pengunjung yang keluar dikarenakan pada saat terjadi kepadatan berlebih pada pukul 11.00, akses keluar dialihkan ke zona yang tidak terekam kamera, sehingga jumlah pengunjung yang keluar tidak bertambah secara signifikan. Skenario ini menimbulkan tantangan karena kepadatan pengunjung yang tinggi, namun sistem berhasil mempertahankan pelacakan yang akurat dengan hanya sedikit ketidakakuratan.



GAMBAR 7
Pengujian Menggunakan Garis Horizontal Dalam Ruangan

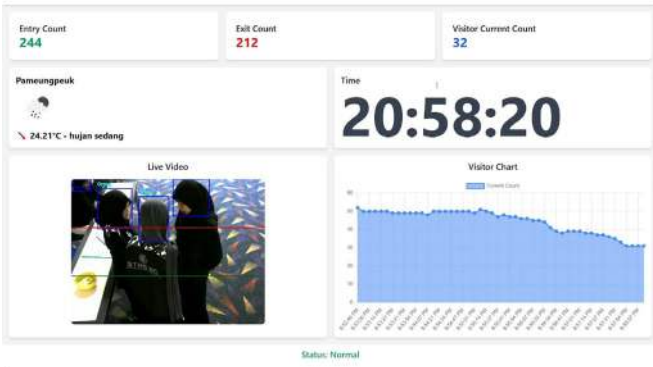
Skenario ketiga dilakukan di area wisata Kawah Putih, menggunakan garis horizontal sebagai batas deteksi pergerakan pengunjung. Pengujian ini berlangsung di area terbuka dengan kondisi pencahayaan alami selama beberapa menit. Sistem berhasil mencatat pergerakan pengunjung secara real-time melalui tampilan website yang telah terintegrasi, di mana pengunjung yang melintasi garis hijau secara horizontal dari arah luar ke dalam akan tercatat sebagai "masuk", sementara yang melintasi garis merah dari arah dalam ke luar akan tercatat sebagai "keluar". Penggunaan garis horizontal ini disesuaikan dengan arah dominan pergerakan pengunjung di lokasi tersebut. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa sistem mampu beradaptasi dengan kondisi luar ruangan serta tetap menjaga akurasi pendeteksian. Visualisasi skenario ini dapat dilihat pada Gambar 8.



GAMBAR 8
Pengujian Luar Ruangan Menggunakan Garis Horizontal

Skenario keempat dilakukan pada event *Open Mind STAS RG* yang berlangsung di dalam ruangan. Pada skenario ini digunakan garis horizontal sebagai batas deteksi pergerakan pengunjung, menyesuaikan dengan arah lalu lintas pengunjung yang mendominasi secara lateral. Sistem berhasil mencatat sebanyak 254 pengunjung yang masuk dan 240 pengunjung yang keluar selama acara berlangsung. Seluruh data pergerakan ditampilkan secara real-time melalui website. Pengunjung yang melewati garis hijau secara horizontal dari arah luar menuju area acara akan tercatat sebagai "masuk", sedangkan yang melintasi garis merah dari arah sebaliknya akan tercatat sebagai "keluar". Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan performa akurat meskipun diterapkan di lingkungan indoor dengan tingkat keramaian sedang. Visualisasi dari skenario ini ditunjukkan pada Gambar 9.



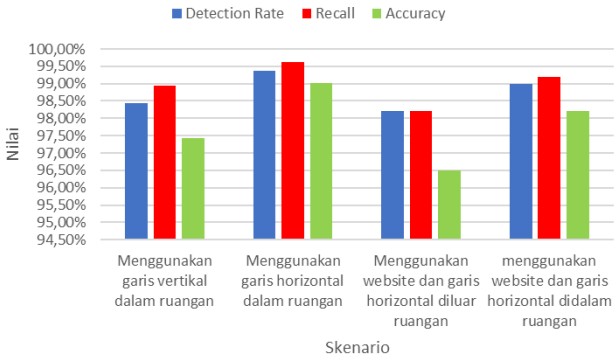
GAMBAR 9
Pengujian Dalam Ruangan Menggunakan Garis Horizontal dan Website

Setelah serangkaian uji performa yang dilakukan dalam berbagai kondisi, berikut ini adalah perbandingan hasil performa dengan menggunakan confusion matrix seperti *detection rate*, *recall* dan *accuracy* yang sudah dijelaskan pada bagian 3.2, dapat dilihat pada Tabel 4.1:

TABEL 1
Analisis Komparasi Peforma Sistem

No	Skenario	Detection Rate	Recall	Accuracy
1	Menggunakan garis vertikal dalam ruangan	98,44%	98,95%	97,44%

2	Menggunakan garis horizontal dalam ruangan	99,38%	99,62%	99,01%
3	Menggunakan website dan garis horizontal diluar ruangan	98,21%	98,21%	96,49%
4	menggunakan website dan garis horizontal didalam ruangan	99,00%	99,20%	98,21%



GAMBAR 10
Grafik Komparasi Peforma Sistem

Berdasarkan Tabel 1 dan visualisasi pada Gambar 10, performa sistem dianalisis melalui empat skenario berbeda dengan mempertimbangkan variasi lingkungan (indoor dan outdoor), arah garis deteksi (vertikal dan horizontal), serta integrasi dengan tampilan website. Skenario pertama yang menggunakan garis vertikal di dalam ruangan menunjukkan Detection Rate sebesar 98,44%, Recall sebesar 98,95%, dan Accuracy sebesar 97,44%. Hasil ini mengindikasikan kinerja yang stabil di lingkungan tertutup dengan arah gerak vertikal.

Pada skenario kedua, penggunaan garis horizontal di dalam ruangan meningkatkan performa secara signifikan, dengan Detection Rate mencapai 99,38%, Recall 99,62%, dan Accuracy 99,01%. Hal ini menunjukkan bahwa arah horizontal lebih sesuai dengan pola pergerakan pengunjung di lingkungan indoor.

Skenario ketiga dilakukan di luar ruangan dengan garis horizontal serta integrasi tampilan website. Meskipun sistem harus beradaptasi dengan pencahayaan alami dan kondisi dinamis, hasilnya tetap baik dengan Detection Rate dan Recall sebesar 98,21%, serta Accuracy 96,49%. Penurunan sedikit pada akurasi dapat disebabkan oleh elemen lingkungan seperti bayangan atau hambatan visual.

Skenario keempat menggabungkan garis horizontal dan integrasi website dalam ruangan. Hasilnya menunjukkan performa yang sangat baik, yaitu Detection Rate sebesar 99,00%, Recall 99,20%, dan Accuracy 98,21%, menjadikannya salah satu konfigurasi paling optimal dalam pengujian ini.

Visualisasi pada Gambar 10 memperkuat analisis ini, menunjukkan bahwa skenario kedua dan keempat memiliki nilai tertinggi secara konsisten di semua metrik. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan garis horizontal, terutama di lingkungan indoor, memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kinerja sistem, terlebih saat dipadukan dengan tampilan monitoring berbasis website.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pelacakan keramaian adaptif berbasis deteksi pergerakan pengunjung dengan menggabungkan algoritma YOLOv8 dan centroid tracker. Sistem ini terbukti mampu mendeteksi dan melacak individu secara real-time serta membedakan arah masuk dan keluar pengunjung menggunakan metode line crossing. Selain itu, integrasi sistem ke dalam platform web berbasis Flask memungkinkan visualisasi jumlah pengunjung secara dinamis melalui grafik, tabel, dan fitur ekspor data dalam format Excel.

Pengujian dilakukan pada empat skenario berbeda yang melibatkan kondisi indoor dan outdoor, serta variasi arah garis deteksi (vertikal dan horizontal). Hasil menunjukkan bahwa sistem mencapai tingkat akurasi hingga 99,01% pada skenario terbaik (indoor dengan garis horizontal), dan tetap menunjukkan kinerja tinggi di skenario lingkungan luar ruangan dengan akurasi sebesar 96,49%.

Dengan hasil ini, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan yang ditetapkan, yaitu memberikan solusi efektif untuk memantau keramaian pada lokasi tertentu dengan tingkat akurasi yang memadai dan visualisasi data yang informatif.

REFERENSI

- [1] J. R. Santana, L. Sanchez, P. Sotres, J. Lanza, T. Llorente, dan L. Munoz, "A Privacy-Aware Crowd Management System for Smart Cities and Smart Buildings," *IEEE Access*, vol. 8, hlm. 135394–135405, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010609.
- [2] R. Ye, Dobryshev, "Tasks of visual crowd analysis in intelligent video surveillance systems," *Informatics. Culture. Technology*, vol. 1, no. 1, hlm. 212–220, Sep 2024, doi: 10.15276/ICT.01.2024.32.
- [3] A. Dionis-Ros, J. Vila-Francés, R. Magdalena-Benedicto, F. Mateo, dan A. J. Serrano-López, "Multimodal video analysis for crowd anomaly detection using open access tourism cameras," Mei 2024, Diakses: 7 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://arxiv.org/pdf/2405.12708>
- [4] F. Brito E Abreu dkk., "A digital transformation approach to scaffold tourism crowding management: pre-factum, on-factum, and post-factum," *2024 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering*, hlm. 586–591, 2024, doi: 10.1109/ECTIDAMTNCON60518.2024.10480056.
- [5] O. Yamada, Y. Matsuda, H. Suwa, dan K. Yasumoto, "Crowd Flow Prediction from Mobile Traces Through Time Series PoI Stay Counts," *Proceedings - 2024 IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2024*, hlm. 266–271, Jun 2024, doi: 10.1109/SMARTCOMP61445.2024.00066.
- [6] G. Indah Hapsari dkk., "MOVING OBJECT ACTIVATOR IN BACKGROUND SUBTRACTION ALGORITHM FOR AUTOMATIC PASSENGER COUNTER SYSTEM IN PUBLIC TRANSPORTATION."
- [7] H. Padrón-ávila dan R. Hernández-Martín, "How can researchers track tourists? A bibliometric content analysis of tourist tracking techniques," *European Journal of Tourism Research*, vol. 26, hlm. 2601–2601, Agu 2020, doi: 10.54055/EJTR.V26I.1932.
- [8] M. Trépanier, N. Tranchant, dan R. Chapleau, "Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system," *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, vol. 11, no. 1, hlm. 1–14, Jan 2007, doi: 10.1080/15472450601122256.
- [9] H. Q. Vu, G. Li, R. Law, dan Y. Zhang, "Tourist Activity Analysis by Leveraging Mobile Social Media Data," *J Travel Res*, vol. 57, no. 7, hlm. 883–898, Sep 2018, doi: 10.1177/0047287517722232/ASSET/00187B81-4799-486C-B09A-85025BDE59FF/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_0047287517722232-FIG6.JPG.
- [10] J. Redmon dan A. Farhadi, "YOLOv3: An Incremental Improvement," Apr 2018, Diakses: 30 Januari 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://arxiv.org/abs/1804.02767v1>
- [11] B. D. Lucas dan T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision (IJCAI)." Diakses: 30 Januari 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/215458777_An_Iterative_Image_Registration_Technique_wit_h_an_Application_to_Stereo_Vision_IJCAI
- [12] Z. Jiang, C. Li, T. Qu, C. He, dan D. Wang, "MSQuant: Efficient Post-Training Quantization for Object Detection via Migration Scale Search," *Electronics 2025, Vol. 14, Page 504*, vol. 14, no. 3, hlm. 504, Jan 2025, doi: 10.3390/ELECTRONICS14030504.
- [13] Dr. Nithyanandh S, "Object Detection & Analysis with Deep CNN and Yolov8 in Soft Computing Frameworks," *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 14, no. 6, hlm. 19–27, Jan 2025, doi: 10.35940/IJSCE.E3653.14060125.
- [14] H. Guo, Y. Zhang, L. Chen, dan A. A. Khan, "Research on Vehicle Detection Based on Improved YOLOv8 Network," *Applied and Computational Engineering*, vol. 116, no. 1, hlm. 161–167, Jan 2025, doi: 10.54254/2755-2721/2025.20568.

- [15] M. Hanzla *dkk.*, "UAV Detection using Template Matching and Centroid Tracking," *IEEE Access*, hlm. 1–1, Jan 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3450580.
- [16] S. Becker, R. Hug, W. Hübner, dan M. Arens, "Center point-based feature representation for tracking," <https://doi.org/10.1117/12.2680065>, vol. 12742, hlm. 101–109, Okt 2023, doi: 10.1117/12.2680065.
- [17] A. Godil, R. Bostelman, W. S. Tsai, dan H. M. Shneier, "Performance Metrics for Evaluating Object and Human Detection and Tracking Systems", doi: 10.6028/NIST.IR.7972.

