

SISTEM PENGENALAN PELAKU PEMBUANG SAMPAH DENGAN METODE FACE RECOGNITION

Muhammad Fakhri Febriansyah^{1*}, Nyayu Latifah Husni²

^{1,2}Prodi Sarjana Terapan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya Jl Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139

Keywords:

Face Recognition, Haar Cascade, YOLOv8, Confusion Matrix, Telegram, Pembuangan Sampah.

Correspondent Email:

m.fakhrifebriansyah@gmail.com

Abstrak. Pembuangan sampah sembarangan di kawasan Sungai Sekanak masih menjadi permasalahan yang berdampak pada kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengenalan pelaku pembuangan sampah menggunakan metode face recognition berbasis Haar Cascade dan library *face_recognition*. Sistem memanfaatkan kamera untuk mendeteksi dan mengenali wajah pelaku secara *real-time* dengan membandingkannya terhadap database wajah yang berasal dari data KTP. Deteksi objek dilakukan menggunakan YOLOv8, sedangkan notifikasi identitas pelaku dan bukti gambar dikirim melalui Telegram. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan *confusion matrix*. Hasil pengujian menunjukkan nilai *precision* sebesar 100%, *recall* sebesar 54,55%, dan *accuracy* sebesar 54,55%. Sistem yang dikembangkan mampu membantu meningkatkan efektivitas pengawasan terhadap aktivitas pembuangan sampah sembarangan.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Improper waste disposal in the Sekanak River area remains an environmental issue that negatively affects water quality and cleanliness. This study aims to develop a waste disposal offender identification system using a face recognition method based on Haar Cascade and the *face_recognition* library. The system utilizes a camera to detect and recognize offenders' faces in real time by comparing them with a facial database derived from national identity card (ID card) data. Object detection is performed using YOLOv8, while offender identity information and image evidence are automatically sent through Telegram notifications. System performance is evaluated using a confusion matrix. Experimental results show a precision of 100%, a recall of 54.55%, and an accuracy of 54.55%. The developed system can help improve the effectiveness of monitoring and preventing illegal waste disposal activities.

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah masih menjadi isu lingkungan yang serius di berbagai kota di Indonesia, termasuk di kawasan Sungai Sekanak, Kota Palembang. Sungai Sekanak memiliki peran penting sebagai saluran drainase dan bagian dari ekosistem perkotaan, namun kondisi sungai tersebut mengalami pencemaran akibat aktivitas pembuangan sampah secara sembarangan oleh masyarakat. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023, timbulan sampah di Indonesia mencapai sekitar

69,9 juta ton per tahun dan sebagian di antaranya belum terkelola dengan baik sehingga berpotensi mencemari lingkungan [1]. Di tingkat daerah, Kota Palembang menghasilkan sekitar 1.200–1.300 ton sampah per hari dan sebagian sampah tersebut masih ditemukan di aliran Sungai Sekanak [2]. Kondisi ini menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat terhadap kebersihan lingkungan masih perlu ditingkatkan [3].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan metode deteksi dan pengenalan wajah menggunakan Haar Cascade,

Local Binary Pattern Histogram (LBPH), Convolutional Neural Network (CNN), serta FaceNet. Penelitian oleh Bahit dkk. menunjukkan bahwa metode Haar Cascade mampu mendeteksi wajah dengan tingkat akurasi sebesar 89% [4]. Penelitian lain mengombinasikan Haar Cascade dan FaceNet sehingga memperoleh akurasi hingga 97% dalam pengenalan wajah [14]. Selain itu, metode Haar Cascade dan CNN juga berhasil diterapkan pada sistem pengenalan wajah real-time dengan akurasi mencapai 96% [15]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada sistem presensi, keamanan, atau identifikasi umum, serta belum diterapkan pada monitoring pelanggaran lingkungan seperti pembuangan sampah sembarangan.

Upaya pemantauan kebersihan yang dilakukan secara tradisional, seperti patroli oleh petugas dan pemasangan rambu peringatan, dianggap belum maksimal karena punya batasan dalam cakupan, efektivitas, dan keberlanjutan pengawasan. Karena itu, dibutuhkan sebuah metode pengawasan otomatis yang sanggup bekerja seketika dan terus-menerus. Kemajuan teknologi kecerdasan buatan, terutama dalam aspek computer vision dan face recognition, membuka kesempatan untuk menciptakan sistem pemantauan yang menggunakan pengolahan citra digital, yang bisa mendeteksi tindakan spesifik sekaligus mengidentifikasi orang yang melakukannya secara otomatis.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat celah penelitian berupa ketidakadaan sistem yang dapat menggabungkan deteksi aktivitas pelanggaran lingkungan dengan identifikasi pelaku menggunakan data KTP sebagai basis dataset wajah. Selain itu, keberadaan sistem pemantauan yang mampu memberikan notifikasi otomatis kepada pihak berwenang secara real-time masih sangat terbatas. Karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pengenalan pelaku pembuangan sampah dengan memanfaatkan metode pengenalan wajah berbasis Haar Cascade dan pustaka face_recognition dengan menggunakan data wajah dari KTP sebagai basis identitas.

Inovasi dalam penelitian ini terletak pada penggabungan teknologi deteksi wajah,

identifikasi pelaku, serta pengiriman notifikasi otomatis melalui Telegram dalam sebuah sistem pemantauan lingkungan. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi pelaku pembuangan sampah melalui kamera CCTV, mengenali wajah pelaku berdasarkan database yang telah ada, kemudian mengirimkan informasi identitas dan bukti gambar secara otomatis kepada petugas. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pengawasan kebersihan lingkungan dapat berjalan lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan sistem pengenalan pelaku pembuangan sampah dengan menggunakan metode pengenalan wajah, untuk mengukur kinerja sistem melalui confusion matrix dengan parameter akurasi, presisi, dan recall, serta mendukung terciptanya solusi teknologi yang bisa membantu pemerintah dan pengelola lingkungan dalam meningkatkan pengawasan kebersihan lingkungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Face Recognition

Face Recognition merupakan teknologi biometrik yang digunakan untuk mengenali identitas seseorang berdasarkan karakteristik unik pada wajah. Metode ini bekerja dengan mengekstraksi fitur wajah dari citra yang diperoleh kamera, kemudian membandingkannya dengan data wajah yang telah tersimpan dalam basis data. Teknologi Face Recognition banyak digunakan pada sistem keamanan, absensi, dan pengawasan karena mampu melakukan identifikasi secara otomatis dan real-time. Dalam penelitian ini, Face Recognition digunakan untuk mengenali identitas pelaku pembuangan sampah berdasarkan data wajah yang tersimpan pada database. Face Recognition merupakan teknologi biometrik yang mampu mengidentifikasi individu berdasarkan karakteristik wajah yang unik melalui proses ekstraksi fitur dan pencocokan dengan basis data wajah [5]. Teknologi ini telah banyak diterapkan pada sistem keamanan, pengawasan, dan autentikasi identitas karena mampu melakukan identifikasi secara otomatis dan real-time [6][7].

2.2 Haar Cascade Classifier

Haar Cascade Classifier merupakan metode deteksi objek yang diperkenalkan oleh Viola dan Jones untuk mendeteksi wajah secara cepat dan efisien. Metode ini menggunakan fitur Haar dan algoritma klasifikasi bertingkat (cascade) untuk membedakan area yang mengandung wajah dan yang bukan wajah. Keunggulan metode ini adalah kecepatan proses yang tinggi sehingga cocok digunakan pada aplikasi real-time. Pada penelitian ini, Haar Cascade digunakan untuk mendeteksi lokasi wajah pada citra sebelum dilakukan proses pengenalan identitas. Haar Cascade Classifier merupakan metode deteksi objek yang diperkenalkan oleh Viola dan Jones dengan memanfaatkan fitur Haar-like dan algoritma AdaBoost untuk mendeteksi objek secara cepat dan efisien. Metode ini masih banyak digunakan pada aplikasi real-time karena kebutuhan komputasinya relatif rendah dibandingkan metode deep learning [8]. Metode Haar Cascade masih banyak digunakan pada sistem deteksi wajah real-time karena memiliki kompleksitas komputasi yang relatif rendah dan mampu memberikan performa yang baik pada perangkat dengan sumber daya terbatas [9][10]

2.3 YOLOv8

YOLOv8 (You Only Look Once version 8) merupakan algoritma deteksi objek berbasis deep learning yang mampu mendeteksi objek dalam satu kali proses inferensi. YOLOv8 memiliki tingkat akurasi dan kecepatan yang tinggi sehingga banyak digunakan pada aplikasi pemantauan dan pengawasan berbasis computer vision [11]. YOLOv8 merupakan pengembangan terbaru dari keluarga YOLO yang menggunakan pendekatan anchor-free detection dan mampu meningkatkan akurasi serta kecepatan deteksi objek pada berbagai aplikasi computer vision secara real-time [12][13]. Dalam penelitian ini, YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi aktivitas pembuangan sampah yang dilakukan oleh seseorang pada area pengawasan.

2.4 Confusion Matrix

Confusion Matrix merupakan metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur kinerja sistem klasifikasi berdasarkan perbandingan antara hasil prediksi dan kondisi aktual. Matriks ini terdiri dari True Positive

(TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN) yang digunakan untuk menghitung metrik evaluasi seperti accuracy, precision, recall, dan F1-score [16][17].

Persamaan accuracy ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100$$

Persamaan precision ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100$$

Persamaan recall ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100$$

Persamaan F1-score ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$F1-Score = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

Pada penelitian ini, Confusion Matrix digunakan untuk mengevaluasi performa sistem dalam mendeteksi dan mengenali wajah pelaku pembuangan sampah.

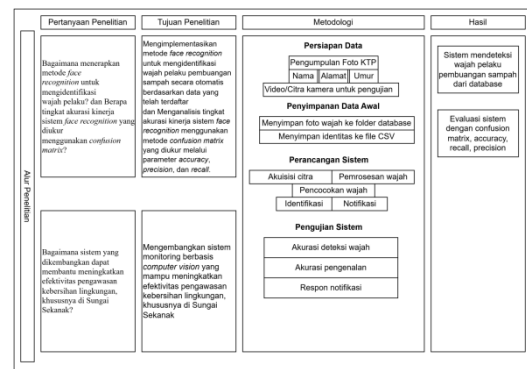
3. METODE PENELITIAN

Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini melibatkan beberapa langkah, termasuk metode studi pustaka, pengamatan, konsultasi, pengembangan sistem, dan penilaian sistem. Metode studi pustaka dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai sumber seperti makalah ilmiah, buku, prosiding, dan artikel penelitian terkait computer vision, pengenalan wajah, Haar Cascade, YOLOv8, OpenCV, serta confusion matrix. Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan landasan teori dan referensi yang mendukung perancangan sistem. Selanjutnya, metode pengamatan dilakukan dengan menyaksikan secara langsung proses kerja sistem dari pengambilan data wajah, deteksi wajah, pengenalan identitas individu, hingga pengujian sistem dengan kamera secara real-time. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan metode konsultasi melalui diskusi dan bimbingan dengan dosen pembimbing untuk mendapat masukan,

evaluasi, dan validasi pada sistem yang dikembangkan. Pada tahap pengembangan sistem, penelitian ini memanfaatkan teknologi computer vision dan pengenalan wajah dengan langkah-langkah pengumpulan dataset wajah dari foto KTP, deteksi objek menggunakan YOLOv8, deteksi wajah dengan Haar Cascade Classifier, ekstraksi encoding wajah dengan library face_recognition, serta proses pencocokan wajah dengan database yang telah ada. Sistem kemudian dilengkapi dengan pengiriman notifikasi otomatis melalui Telegram. Untuk menilai kinerja sistem, evaluasi dilakukan menggunakan confusion matrix dengan parameter akurasi, presisi, recall, dan F1-score untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem dalam mengenali wajah individu secara akurat.

3.1 Tahapan-Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya permasalahan pembuangan sampah sembarangan di kawasan Sungai Sekanak yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Pengawasan yang masih dilakukan secara konvensional dinilai kurang efektif, sehingga diperlukan solusi berbasis teknologi yang mampu melakukan monitoring secara otomatis dan real-time. Penelitian ini memanfaatkan teknologi computer vision dengan metode face recognition untuk mendeteksi dan mengenali pelaku pembuangan sampah berdasarkan data wajah yang tersimpan pada database. Sistem juga dilengkapi fitur notifikasi sebagai respons cepat terhadap pelanggaran yang terdeteksi. Untuk mengetahui performa sistem, dilakukan evaluasi menggunakan confusion matrix dengan parameter accuracy, precision, dan recall. Seluruh tahapan penelitian disusun secara sistematis mulai dari perumusan masalah, perancangan sistem, hingga pengujian sistem.



Gambar 1 Tahapan-tahapan Penelitian

3.2 Persiapan Data

Sebelum sistem dijalankan, terdapat dua jenis data yang perlu disiapkan terlebih dahulu, yaitu data wajah terdaftar yang disimpan dalam folder database dan data identitas yang disimpan dalam file CSV. Kedua jenis data ini menjadi fondasi utama proses identifikasi pelaku oleh sistem.

3.2.1 Pengumpulan Foto KTP

Data wajah yang digunakan sebagai acuan pengenalan diperoleh dari foto Kartu Tanda Penduduk (KTP) warga. Foto KTP dipilih sebagai sumber data karena memiliki standar pengambilan gambar yang teratur, yaitu posisi frontal dengan pencahayaan yang memadai, sehingga cocok dijadikan referensi pengenalan wajah. Setiap foto KTP diberi nama file yang sesuai dengan nama pemiliknya, kemudian disimpan ke dalam folder bernama known_face yang menjadi direktori database wajah sistem.

Selain foto wajah, data identitas lengkap setiap individu yang mencakup nama, alamat, dan umur disimpan dalam file berformat CSV. File CSV ini berfungsi sebagai basis data referensi identitas yang akan diakses oleh sistem pada saat pencocokan wajah berhasil dilakukan. Struktur data CSV dirancang agar mudah dihubungkan dengan hasil identifikasi wajah menggunakan nama sebagai kunci penghubung antara encoding wajah dan data identitas.



Gambar 2 Dataset KTP

3.2.2 Video/Citra Kamera untuk Pengujian

Data pengujian berupa video atau citra real-time diperoleh dari kamera yang dipasang di lokasi pengawasan, yaitu kawasan Sungai Sekanak. Kamera berperan sebagai sumber input utama sistem selama beroperasi. Kualitas video yang direkam, termasuk resolusi, kecepatan frame, dan kondisi pencahayaan lokasi, akan berpengaruh langsung terhadap keberhasilan proses deteksi dan pengenalan oleh sistem.

3.3 Inisialisasi Sistem

Tahap inisialisasi sistem adalah rangkaian proses yang dijalankan satu kali saat program pertama kali diaktifkan, sebelum sistem mulai memproses frame video. Tujuan dari tahap ini adalah memastikan seluruh komponen sistem telah siap dan database wajah telah termuat di memori sebelum pemantauan real-time dimulai.

3.3.1 Pemuatan Database Wajah dari Folder `known_face`

Proses pertama yang dilakukan sistem saat dijalankan adalah membaca seluruh foto wajah yang tersimpan dalam folder `known_face`. Sistem membaca setiap file foto satu per satu menggunakan iterasi pada direktori tersebut. Setiap foto wajah yang dibaca kemudian melalui serangkaian proses berikut:

Pembacaan file foto: Sistem membaca file gambar dari folder `known_face` menggunakan library `face_recognition`. Nama file gambar (tanpa ekstensi) digunakan secara langsung sebagai nama label identitas yang akan dikaitkan dengan wajah tersebut.

Konversi format ke RGB: Foto yang dibaca dikonversi dari format BGR (format bawaan OpenCV) ke format RGB. Konversi ini wajib dilakukan karena library `face_recognition` membutuhkan input gambar dalam format RGB agar proses ekstraksi encoding dapat berjalan dengan benar.

Ekstraksi encoding wajah: Sistem mengekstraksi encoding wajah dari setiap foto menggunakan fungsi `face_encodings()` dari library `face_recognition`. Encoding wajah adalah representasi numerik berupa vektor 128 dimensi yang merepresentasikan ciri-ciri unik wajah seseorang. Setiap individu memiliki encoding yang berbeda dan encoding inilah yang digunakan sebagai sidik digital wajah dalam proses perbandingan.

Penyimpanan di memori: Encoding wajah beserta nama label identitas dari setiap foto disimpan dalam dua list terpisah di memori, yaitu list `known_face_encodings` yang berisi semua encoding wajah terdaftar, dan list `known_face_names` yang berisi nama-nama pemilik encoding tersebut. Kedua list ini berpasangan secara indeks dan berfungsi sebagai database pembanding selama sistem berjalan.

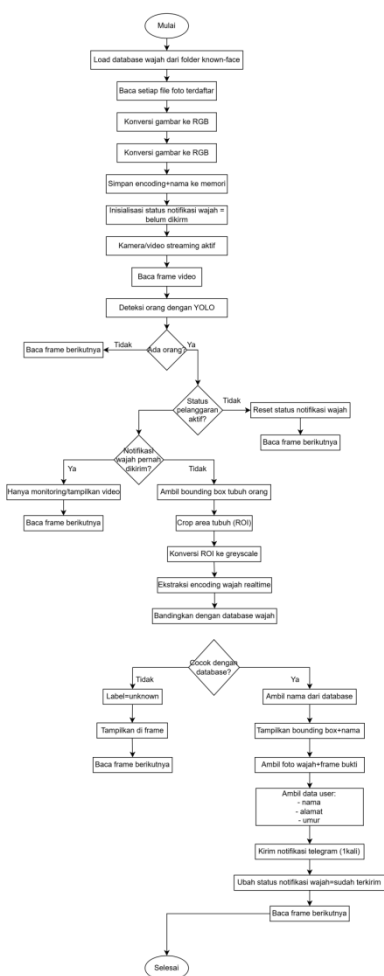
3.3.2 Inisialisasi Status Notifikasi

Setelah database wajah berhasil dimuat, sistem menginisialisasi variabel status notifikasi wajah dengan nilai awal 'belum terkirim'. Status ini berfungsi sebagai mekanisme pengendali untuk memastikan bahwa notifikasi identitas pelaku hanya dikirimkan satu kali untuk setiap satu kejadian pelanggaran. Tanpa mekanisme ini, sistem berpotensi mengirim notifikasi yang sama secara berulang-ulang selama wajah pelaku masih terus terdeteksi pada frame-frame video berikutnya, yang akan mengakibatkan spam pesan pada Telegram.

Dengan adanya status notifikasi ini, alur logika sistem menjadi lebih terkontrol: ketika status bernilai 'belum terkirim', sistem diizinkan untuk melanjutkan proses pencocokan wajah dan pengiriman notifikasi; sedangkan ketika status sudah berubah menjadi 'sudah terkirim', sistem hanya melakukan monitoring visual tanpa mengirim notifikasi ulang untuk kejadian yang sama.

3.4 Perancangan Sistem

Setelah tahap inisialisasi selesai, sistem memasuki fase pemrosesan frame secara real-time. Pada fase ini, sistem membaca frame video dari kamera secara terus-menerus dan setiap frame diproses melalui rangkaian tahapan yang saling berkaitan. Tahapan-tahapan ini dirancang dengan logika bercabang yang efisien agar sistem tidak melakukan proses yang tidak perlu pada setiap frame.



Gambar 3 Flowchart Sistem Face Recognition

3.4.1 Aktivasi Kamera dan Pembacaan Frame

Sistem mengaktifkan kamera atau membuka file video sebagai sumber input. Kamera membaca frame video secara terus-menerus dalam sebuah loop utama. Setiap frame yang berhasil dibaca kemudian diteruskan ke tahap deteksi pertama menggunakan model YOLOv8.

3.4.2 Deteksi Orang dengan YOLOv8

Setiap frame yang diterima pertama-tama diproses oleh model Ultralytics YOLOv8 untuk mendeteksi keberadaan orang dalam frame tersebut. YOLOv8 dipilih karena kemampuannya melakukan deteksi objek secara akurat dan real-time. Model YOLOv8 menghasilkan bounding box yang menandai posisi setiap orang yang terdeteksi beserta nilai confidence score-nya.

Pada tahap ini terdapat percabangan logika pertama:

Jika tidak ada orang yang terdeteksi dalam frame, sistem langsung melanjutkan ke pembacaan frame berikutnya tanpa melakukan proses apapun. Ini bertujuan menghemat sumber daya komputasi agar tidak terbuang untuk memproses frame yang tidak relevan.

Jika ada orang yang terdeteksi, sistem melanjutkan ke tahap pengecekan status pelanggaran.

3.4.3 Pengecekan Status Pelanggaran

Ketika orang terdeteksi dalam frame, sistem memeriksa apakah status pelanggaran sedang aktif. Status pelanggaran aktif menandakan bahwa sebelumnya model aksi deteksi membuang sampah sudah mendeteksi perilaku pembuangan sampah pada orang tersebut. Pengecekan status ini menghasilkan dua kemungkinan percabangan:

Jika status pelanggaran tidak aktif: sistem akan mereset status notifikasi wajah kembali ke 'belum terkirim'. Reset ini penting untuk mempersiapkan sistem menghadapi kejadian pelanggaran berikutnya, agar mekanisme notifikasi dapat berjalan dengan benar. Setelah reset, sistem kembali membaca frame selanjutnya.

Jika status pelanggaran aktif: sistem melanjutkan ke tahap pengecekan status notifikasi wajah.

3.4.4 Pengecekan Status Notifikasi Wajah

Ketika status pelanggaran aktif, sistem memeriksa apakah notifikasi wajah untuk kejadian pelanggaran yang sedang terjadi sudah pernah dikirimkan sebelumnya. Pengecekan ini menghasilkan dua percabangan:

Jika notifikasi sudah terkirim: sistem hanya melakukan monitoring visual, yaitu menampilkan bounding box dan label wajah pada frame video tanpa mengirim notifikasi ulang. Ini memastikan bahwa untuk satu kejadian pelanggaran yang sama, petugas hanya menerima satu laporan.

Jika notifikasi belum pernah dikirim: sistem melanjutkan ke tahap deteksi wajah untuk mengidentifikasi pelaku.

3.4.5 Deteksi Wajah dengan Haar Cascade Classifier

Ketika sistem perlu mengidentifikasi pelaku dan notifikasi belum dikirim, sistem terlebih dahulu melakukan proses deteksi wajah. Tahap

ini dimulai dengan mengambil area tubuh orang berdasarkan koordinat bounding box yang dihasilkan oleh YOLOv8, kemudian memotong area tersebut dari frame utama sebagai Region of Interest (ROI).

ROI yang diperoleh kemudian dikonversi ke format grayscale. Konversi ke grayscale dilakukan karena Haar Cascade Classifier bekerja lebih cepat dan lebih efisien pada citra grayscale dibandingkan citra berwarna, sekaligus mengurangi noise warna yang tidak relevan untuk proses deteksi wajah.

Sistem kemudian menjalankan Haar Cascade Classifier pada ROI grayscale untuk mencari pola wajah. Haar Cascade bekerja dengan menganalisis pola-pola fitur rectangular pada gambar, termasuk pola yang merepresentasikan mata, hidung, dan kontur kepala. Proses deteksi ini menghasilkan dua kemungkinan:

Jika tidak ada wajah yang terdeteksi dalam ROI: sistem memberi label 'Unknown' pada frame dan langsung kembali membaca frame berikutnya. Proses ini akan terus berulang selama status pelanggaran masih aktif namun wajah belum berhasil terdeteksi.

Jika wajah berhasil terdeteksi: sistem mendapatkan koordinat posisi wajah dalam ROI dan melanjutkan ke tahap pengenalan wajah.

3.4.6 Ekstraksi Encoding dan Pencocokan Wajah

Ketika wajah berhasil terdeteksi oleh Haar Cascade, sistem mengambil koordinat area wajah tersebut dan melakukan crop pada area wajah dari frame video. Area wajah hasil crop kemudian dikonversi kembali ke format RGB, sesuai dengan kebutuhan library face_recognition.

Sistem kemudian mengekstraksi encoding wajah dari area wajah yang sudah di-crop menggunakan fungsi face_encodings() dari library face_recognition. Encoding yang dihasilkan adalah representasi numerik berupa vektor 128 dimensi yang merepresentasikan karakteristik unik wajah pada frame saat itu.

Encoding wajah real-time ini kemudian dibandingkan dengan seluruh encoding wajah yang tersimpan dalam database known_face_encodings menggunakan fungsi compare_faces() dan face_distance(). Proses perbandingan ini menghasilkan nilai jarak

(distance) antara encoding wajah real-time dan setiap encoding dalam database. Semakin kecil nilai jarak, semakin mirip kedua wajah tersebut. Sistem memilih encoding dengan nilai jarak terkecil sebagai kandidat pencocokan, kemudian memeriksa apakah nilai jarak tersebut berada di bawah nilai ambang batas (threshold) yang telah ditentukan.

Hasil perbandingan ini menghasilkan dua kemungkinan percabangan terakhir:

Jika wajah tidak cocok dengan database (nilai jarak di atas threshold): sistem memberi label 'Unknown' pada wajah yang terdeteksi dan menampilkannya pada frame video. Tidak ada notifikasi yang dikirim dalam kondisi ini, karena identitas pelaku tidak dapat dipastikan.

Jika wajah cocok dengan salah satu data dalam database: sistem mengambil nama pengguna yang sesuai dari list known_face_names dan melanjutkan ke tahap identifikasi dan notifikasi.

3.5 Identifikasi dan Notifikasi

Ketika wajah pelaku berhasil dikenali dan dicocokkan dengan database, sistem memasuki tahap identifikasi dan notifikasi. Tahap ini merupakan output akhir dari keseluruhan pipeline pemrosesan sistem.

3.5.1 Penampilan Identitas pada Video

Nama pengguna yang berhasil diidentifikasi ditampilkan secara visual di atas area wajah pada frame video monitoring. Tampilan ini memudahkan operator yang memantau layar untuk mengetahui secara langsung siapa pelaku yang sedang terdeteksi oleh sistem.

3.5.2 Pengambilan Foto Bukti

Sistem secara otomatis mengambil foto wajah pelaku dari frame saat itu sebagai bukti kejadian. Selain foto wajah, sistem juga menyimpan frame utama lengkap yang menunjukkan keseluruhan konteks kejadian pembuangan sampah. Kedua foto ini akan disertakan dalam notifikasi yang dikirim ke Telegram sebagai bukti visual yang dapat digunakan sebagai dasar penindakan.

3.5.3 Pengambilan Data Identitas dari CSV

Menggunakan nama yang diperoleh dari hasil pencocokan wajah, sistem mengakses file CSV untuk mengambil data identitas lengkap pelaku. Data yang diambil mencakup nama

lengkap, alamat tempat tinggal, dan umur. Data identitas ini diambil secara otomatis dengan mencocokkan nama sebagai kunci pencarian pada file CSV.

3.5.4 Pengiriman Notifikasi ke Telegram

Seluruh informasi yang telah dikumpulkan, yaitu nama pelaku, alamat, umur, foto wajah, dan foto frame bukti kejadian, kemudian dikirimkan ke Telegram melalui Telegram Bot API. Notifikasi yang dikirim disusun dalam format yang informatif dan mudah dibaca oleh petugas, mencakup informasi identitas pelaku secara lengkap beserta foto bukti yang mendukung.

Setelah notifikasi berhasil terkirim, sistem mengubah nilai variabel status notifikasi wajah menjadi 'sudah terkirim'. Perubahan status ini bersifat kritis karena menjadi penjaga agar sistem tidak mengirim notifikasi yang sama berulang kali selama satu kejadian pelanggaran yang sama masih berlangsung. Dengan demikian, meskipun wajah pelaku masih terus terdeteksi pada frame-frame video berikutnya, sistem hanya melakukan monitoring visual tanpa pengiriman notifikasi ulang. Mekanisme ini membuat sistem lebih efisien, hemat bandwidth, dan mencegah terjadinya spam pesan pada Telegram petugas.

3.6 Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja sistem secara kuantitatif. Pengujian mencakup tiga aspek utama yang sesuai dengan alur kerja sistem, yaitu akurasi deteksi wajah, akurasi pengenalan wajah, dan respon notifikasi.

3.6.1 Akurasi Deteksi Wajah

Pengujian akurasi deteksi wajah mengukur kemampuan komponen Haar Cascade Classifier dalam menemukan dan melokalisasi wajah pada Region of Interest (ROI) yang diperoleh dari hasil deteksi YOLOv8. Pengujian dilakukan dengan memberikan sejumlah skenario gambar uji yang telah diketahui ground truth-nya, kemudian membandingkan hasil deteksi sistem dengan ground truth tersebut. Metrik yang digunakan meliputi jumlah True Positive, False Positive, dan False Negative, yang kemudian dihitung menjadi nilai precision dan recall.

3.6.2 Akurasi Pengenalan Wajah

Pengujian akurasi pengenalan wajah mengukur kemampuan sistem dalam mengidentifikasi identitas pelaku secara benar menggunakan mekanisme face recognition dan encoding. Pengujian dilakukan dengan memberikan wajah dari individu-individu yang terdaftar maupun yang tidak terdaftar dalam database, kemudian menilai apakah sistem dapat mengenali dan membedakan keduanya dengan benar.

Evaluasi menggunakan confusion matrix sebagai alat analisis utama. Dari confusion matrix diturunkan empat metrik evaluasi utama:

Accuracy: proporsi keseluruhan prediksi yang benar dari total seluruh prediksi yang dilakukan sistem.

Precision: proporsi identifikasi benar dari seluruh identifikasi yang dilakukan sistem, mengukur ketepatan sistem.

Recall: proporsi individu terdaftar yang berhasil dikenali dari seluruh individu terdaftar yang diuji, mengukur kelengkapan sistem.

F1-Score: rata-rata harmonik dari precision dan recall sebagai ukuran keseimbangan antara keduanya.

Pengujian dilakukan dalam beberapa skenario kondisi yang berbeda untuk menguji ketahanan sistem, antara lain kondisi pencahayaan normal, pencahayaan rendah, penggunaan aksesoris wajah, serta variasi jarak dan sudut kamera.

3.6.3 Respon Notifikasi

Pengujian respon notifikasi dilakukan untuk memverifikasi bahwa sistem dapat mengirimkan notifikasi ke Telegram secara tepat waktu dan hanya satu kali untuk setiap kejadian pelanggaran. Aspek-aspek yang diuji meliputi kecepatan pengiriman notifikasi sejak wajah berhasil dikenali, kelengkapan informasi yang termuat dalam notifikasi (nama, alamat, umur, foto wajah, foto bukti), serta keandalan mekanisme status notifikasi dalam mencegah pengiriman notifikasi berulang untuk kejadian yang sama.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya dianalisis berdasarkan data pengujian dan pengamatan selama sistem dijalankan guna mengevaluasi tingkat akurasi, keandalan, serta

kesesuaian sistem terhadap tujuan penelitian. Pembahasan pada bab ini disusun secara sistematis berdasarkan skenario pengujian yang telah ditentukan, sehingga dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa sistem yang dikembangkan.

4.1 Hasil Deteksi dan Pengenalan Wajah

Proses deteksi wajah dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan keberadaan objek wajah pada citra atau video uji, kemudian dilanjutkan dengan proses pengenalan wajah untuk mencocokkan wajah yang terdeteksi dengan data wajah yang telah tersimpan pada basis data.

Tabel 1 Hasil Pengujian

No	Hasil Identifikasi	Wajah	Nama Terdeteksi	Status
1			Rian	Dikenali (TP)
2			Rian	Dikenali (TP)
3			Rian	Dikenali (TP)

4			Rian	Dikenali (TP)
5			Rian	Dikenali (TP)
6			Rian	Dikenali (TP)
7			Rian	Dikenali (TP)
8			Andre	Dikenali tetapi orang yang berbeda (FN)
9			Farah	Dikenali tetapi orang yang berbeda (FN)



Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada **Tabel 1**, sistem mampu melakukan deteksi dan pengenalan wajah sesuai dengan skenario pengujian yang telah ditentukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar wajah yang diuji dapat dikenali dengan benar oleh sistem, baik untuk wajah yang terdaftar maupun wajah yang tidak terdaftar. Namun demikian, pada beberapa kondisi tertentu masih ditemukan kesalahan pengenalan yang dipengaruhi oleh faktor pencahayaan, posisi wajah, dan jarak kamera terhadap objek. Secara umum, hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjalankan fungsi deteksi dan pengenalan wajah.

4.2 Hasil Confusion Matrix Face Recognition

Setelah pengujian selesai, langkah selanjutnya adalah menganalisis hasilnya dengan menggunakan confusion matrix. Tabel confusion matrix memungkinkan kita untuk menilai kinerja alat pengklasifikasian data. True Positive (TP) Wajah terdaftar didatabase dan dikenali dengan benar, False Positive (FP) Wajah tidak terdaftar tetapi diprediksi sebagai wajah terdaftar, True Negative (TN) Wajah tidak terdaftar dan diprediksi sebagai Unknown, dan False Negative (FN) Wajah terdaftar tetapi tidak dikenali oleh sistem. Itu adalah empat matriks utama yang dievaluasi dalam **Tabel 2**.

Tabel 2 Confusion Matrix

No	Aktual/Prediksi	Dikenali (Known)	Tidak Dikenali (Unknown)
1	Wajah Terdaftar (Known)	7 (TP)	3 (FN)
2	Wajah Tidak Terdaftar (Unknown)	0 (FP)	0 (TN)

Berdasarkan **Tabel 4.2** confusion matrix dari model memprediksi 10 data. Tabel tersebut memungkinkan kita untuk menghitung nilai precision, recall, dan accuracy kelas buang sampah, serta rata-rata kelas.

Menghitung precision dengan persamaan:

$$\text{precision} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\%$$

$$\text{Maka precision} = \frac{7}{7+0} \times 100\% = 100\%$$

Menghitung recall dengan persamaan: Recall =

$$\frac{TP}{TP+FN}$$

$$\text{Maka Recall} = \frac{7}{7+3} \times 100\% = 70\%$$

Menghitung Accuracy dengan persamaan:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

$$\text{Maka Accuracy} = \frac{7+0}{7+0+0+3} \times 100\% = 70\%$$

Menghitung F1-Score dengan persamaan: F1-

$$\text{Score} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

$$\text{Maka F1-Score} = \frac{2 \times 1 \times 0,7}{1 + 0,7} \times 100\% = 82,35\%$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Confusion Matrix

Jumlah Data	Precision	Recall	Accuracy	F1-Score
10	100%	70%	70%	82,35%

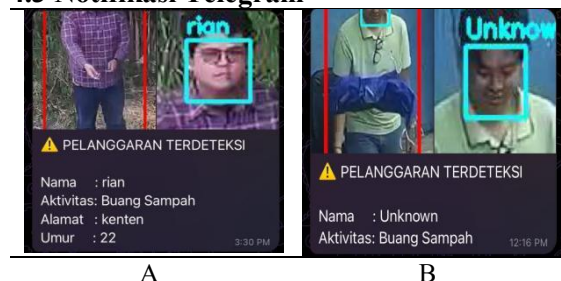
Berdasarkan hasil perhitungan confusion matrix pada **Tabel 4.3**, sistem Face Recognition diuji menggunakan 10 data wajah dan memperoleh nilai precision sebesar 100%, recall sebesar 70%, accuracy sebesar 70%, serta F1-Score sebesar 82,35%. Nilai precision yang mencapai 100% menunjukkan bahwa seluruh wajah yang berhasil dikenali oleh sistem merupakan wajah yang benar-benar terdaftar pada database, sehingga tidak ditemukan kesalahan identifikasi terhadap wajah yang tidak terdaftar (False Positive = 0). Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menghindari pengenalan wajah yang salah.

Meskipun demikian, nilai recall sebesar 70% menunjukkan bahwa sistem hanya berhasil mengenali 7 dari 10 wajah yang seharusnya dapat dikenali. Terdapat 3 data wajah terdaftar yang gagal dikenali oleh sistem (False Negative

= 3). Kegagalan pengenalan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kondisi pencahayaan yang kurang optimal, perubahan posisi atau sudut wajah, ekspresi wajah yang berbeda, serta jarak antara objek dengan kamera saat proses pengambilan citra berlangsung.

Nilai accuracy sebesar 70% menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan prediksi yang benar pada 7 dari 10 data pengujian. Sementara itu, nilai F1-Score sebesar 82,35% menunjukkan bahwa sistem memiliki keseimbangan yang cukup baik antara precision dan recall. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem Face Recognition telah mampu melakukan proses identifikasi wajah dengan baik dan memiliki tingkat kesalahan identifikasi yang rendah. Namun, untuk meningkatkan kemampuan pengenalan wajah secara lebih konsisten, diperlukan pengembangan lebih lanjut terutama pada proses deteksi wajah dan pengolahan citra agar sistem lebih robust terhadap variasi kondisi lingkungan saat pengujian.

4.3 Notifikasi Telegram



Gambar 4.1 Notifikasi Telegram (A) dikenali dan (B) tidak dikenali

Berdasarkan **Gambar 4.1**, sistem yang dikembangkan telah berhasil mengirimkan notifikasi secara otomatis melalui aplikasi Telegram setelah proses deteksi aktivitas pembuangan sampah dan pengenalan wajah dilakukan. Pada **Gambar 4.1(A)**, sistem berhasil mengenali identitas pelaku yang wajahnya telah terdaftar pada basis data. Informasi yang dikirimkan melalui Telegram meliputi nama pelaku, waktu kejadian, serta bukti berupa gambar hasil tangkapan kamera. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara modul deteksi aktivitas, pengenalan wajah, dan sistem notifikasi telah berjalan dengan baik.

Sementara itu, pada **Gambar 4.1(B)**, sistem mendeteksi adanya aktivitas yang memenuhi

kriteria pengawasan, namun wajah pelaku tidak berhasil dikenali atau tidak terdapat dalam basis data. Pada kondisi tersebut, sistem tetap mengirimkan notifikasi ke Telegram dengan status unknown atau tidak dikenali beserta gambar hasil deteksi. Mekanisme ini memungkinkan petugas atau pengguna sistem untuk tetap memperoleh informasi terkait kejadian yang terjadi meskipun identitas pelaku belum dapat ditentukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan Telegram sebagai media notifikasi mampu memberikan informasi secara real-time kepada pengguna sehingga proses pemantauan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efektif. Dengan adanya fitur notifikasi otomatis ini, sistem tidak hanya mampu mendeteksi aktivitas pembuangan sampah dan mengenali pelaku, tetapi juga dapat menyampaikan hasil deteksi secara langsung kepada pihak yang berkepentingan untuk mendukung proses pengawasan lingkungan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pengenalan pelaku pembuangan sampah menggunakan metode Face Recognition, dapat disimpulkan bahwa:

- Sistem berhasil mengintegrasikan deteksi objek menggunakan YOLOv8, deteksi wajah menggunakan Haar Cascade, serta pengenalan wajah menggunakan library face recognition untuk mengidentifikasi pelaku pembuangan sampah secara real-time.
- Sistem mampu mengenali wajah yang terdaftar pada database berbasis data KTP dan menampilkan identitas pelaku secara otomatis pada proses pemantauan.
- Hasil evaluasi menggunakan confusion matrix menunjukkan nilai precision sebesar 100%, recall sebesar 70%, accuracy sebesar 70%, dan F1-score sebesar 82,35%. Nilai precision yang tinggi menunjukkan bahwa sistem mampu menghindari kesalahan identifikasi terhadap wajah yang tidak terdaftar pada database.
- Sistem berhasil mengirimkan notifikasi melalui Telegram yang berisi informasi identitas pelaku dan bukti gambar secara otomatis sehingga dapat mendukung

proses pengawasan lingkungan secara lebih cepat dan efektif.

- e) Keterbatasan sistem masih terdapat pada kemampuan pengenalan wajah pada kondisi pencahayaan yang kurang baik, variasi sudut wajah, dan jarak kamera terhadap objek. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode deteksi dan pengenalan wajah berbasis deep learning yang lebih robust serta menambah jumlah dataset untuk meningkatkan akurasi sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)," 2023.
- [2] Dinas Lingkungan Hidup Kota Palembang, "Laporan Pengelolaan Sampah Kota Palembang," 2024.
- [3] Pemerintah Kota Palembang, "Laporan Kegiatan Pembersihan Sungai Sekanak," 2023.
- [4] M. Bahit et al., "Validation of Haar Cascade Classification Method in Face Detection," *Journal of Information Technology and Engineering (JITE)*, 2023.
- [5] Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- [6] Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S., "ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 44, no. 10, pp. 5962–5979, 2022.
- [7] Wang, M., & Deng, W., "Deep Face Recognition: A Survey," *Neurocomputing*, vol. 429, pp. 215–244, 2021.
- [8] Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. *Proceedings of CVPR*.
- [9] Hashim, S., & McCullagh, P., "Face Detection by Using Haar Cascade Classifier," *Wasit Journal of Computer and Mathematics Science*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [10] Nidom, M. S., "Haar Cascade Classifier and Adaboost Algorithm for Face Detection with the Viola-Jones Method," *Transactions on Informatics and Data Science*, vol. 2, no. 1, pp. 15–26, 2025.
- [11] Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2024). Ultralytics YOLOv8. Ultralytics. Available: <https://docs.ultralytics.com>
- [12] Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J., Ultralytics YOLOv8 Documentation, Ultralytics, 2024.
- [13] Yisihak, H. M., & Li, L., "Advanced Face Detection with YOLOv8: Implementation and Integration into AI Modules," *Open Access Library Journal*, vol. 11, pp. 1–19, 2024.
- [14] A. Géron, *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*, 3rd ed., Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2022.
- [15] R. Rinanto et al., "Deteksi dan Pengenalan Wajah Real-Time Menggunakan Metode Haar Cascade dan CNN," *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 2025.
- [16] Chicco, D., Tötsch, N., & Jurman, G., "The Matthews Correlation Coefficient (MCC) is More Reliable Than Balanced Accuracy, Bookmaker Informedness, and Markedness in Two-Class Confusion Matrix Evaluation," *BioData Mining*, vol. 14, no. 13, 2021.
- [17] Obi, J. C., "A Comparative Study of Several Classification Metrics and Their Performances on Data," *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 308–314, 2023.