Volume 21 Nomor 02 (2026) 35-43
E – Link P-ISSN 1858-2109 E-ISSN 2656-5676
Jurnal Teknik Elektro dan Informatika

ANALISIS KETAHANAN EKSTRAKSI LANDMARK DAN PENGENALAN WAJAH BERBASIS DLIB RESNET TERHADAP VARIASI SUDUT, PENCAHAYAAN EKSTREM, DAN OKLUSI PARSIAL

Setya Ardhi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya
Jl. Ngagel Jaya Tengah 73-77, Surabaya 60227, Jawa Timur, Indonesia
E-mail **:** setyaardhi@stts.edu

ABSTRAK

Sistem pengenalan wajah (face recognition) otomatis berbasis komputasi cerdas sering kali mengalami penurunan akurasi drastis saat dihadapkan pada variasi kondisi lingkungan di dunia nyata, seperti sudut tampilan wajah yang condong, perubahan tingkat kecerahan cahaya, dan juga penutupan sebagian pada wajah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi secara empiris batas operasional dan ketahanan model deep learning Dlib ResNet (128-dimensi) yang dipadukan dengan shape predictor 68 titik facial landmark. Pengujian komprehensif dilakukan menggunakan kamera berfitur auto-exposure dengan tiga variabel uji utama: variasi sudut rotasi wajah horizontal (30, 45, dan 60 derajat), variasi intensitas pencahayaan (40 lux , 200 lux , 80 lux , hingga kondisi ekstrem 1 lux dan 0 lux), serta uji ablasi penutupan parsial fitur wajah (mata, hidung, mulut, dan rahang). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem memiliki batas toleransi sudut hingga 45 derajat dengan tingkat keberhasilan 100%, namun mengalami kegagalan total (0%) pada sudut 60 derajat. Pada aspek pencahayaan, fitur auto-exposure kamera memungkinkan pengenalan bertahan hingga tingkat pencahayaan serendah 1 lux , meskipun stabilitasnya menurun, dan gagal total pada 0 lux. Pada pengujian oklusi, sistem terbukti sangat sensitif terhadap area mata, di mana penutupan salah satu mata mengakibatkan kegagalan deteksi total terlepas dari jumlah landmark yang tersisa. Di sisi lain, sistem tetap bisa mengidentifikasi wajah meski mulut tertutup pada minimal 36 titik landmark dan hidung tertutup pada minimal 32 titik landmark. Penemuan ini memberikan batasan empiris yang sangat penting dalam merancang sistem kontrol akses yang menggunakan teknologi pengenalan wajah di tempat yang tidak memiliki pengawasan ketat (unconstrained environment).

Kata kunci : Face Recognition, Oklusi Wajah, Variasi Pencahayaan, Sudut Orientasi Wajah.

ABSTRACT

Automatic face recognition systems based on smart computing often experience a sharp drop in accuracy when faced with various real-world environmental conditions, such as tilted face angles, changes in light brightness, and partial face occlusion. This study aims to empirically characterize the operational limits and robustness of the Dlib ResNet deep learning model (128 dimensions) combined with a 68-point facial landmark shape predictor. Comprehensive testing was conducted using an auto-exposure camera with three main test variables: variations in horizontal face rotation angles (30, 45, and 60 degrees), changes in lighting intensity (40 lux, 200 lux, 80 lux, up to extreme conditions of 1 lux and 0 lux), as well as ablation tests for partial occlusion of facial features (eyes, nose, mouth, and jaw). The experiment results showed that the system can tolerate angles up to 45 degrees with a 100% success rate, but it completely fails (0%) at 60 degrees. In terms of lighting, the camera's auto-exposure feature allows recognition to work at light levels as low as 1 lux, though stability decreases, and it completely fails at 0 lux. In occlusion tests, the system proved to be very

Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026

sensitive around the eyes, as covering one eye led to total detection failure regardless of the number of remaining landmarks. On the other hand, the system could still recognize a face even with the mouth covered at a minimum of 36 landmarks and the nose covered at a minimum of 32 landmarks. These findings provide very important empirical limits for designing access control systems that use facial recognition technology in environments without strict supervision.

***Keywords**: Face Recognition, Facial Landmarks, Facial Occlusion, Illumination Variations, Pose Variations.*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan dari teknologi keamanan menyokong transformasi metode autentikasi identitasnya dimana awalnya pemakaian kunci fisik, kartu RFID sampai kode rahasia ke pemanfaatan karakter biologis manusia yang bisa dikenalnya tanpa adanya kontak langsung [1]. Teknologi identifikasi wajah *(face recognition)* kerap dipakai pada sarana autentikasi biometrik dikarenakan tahapan dari pemanfaatannya yang begitu praktis dan bisa mencirikan identitasnya manusia tanpa perlu ada sentuhan atau kontak langsungnya dengan perangkatnya [2].

Walau arsitektur CNN dan ResNet bisa meraih ketepatan pengidentifikasinya begitu tinggi pada kumpulan data terkontrolnya misalnya LFW dan CelebA tapi perolehan pengenalan di lingkungan nyatanya kerap turun yang dikarenakan transformasi keadaan pengambilan gambar nya[3]. Persoalan pokoknya ada di *in-the-wild* disitu keadaan lingkungannya tak bisa dikontrol semuanya. Tiga kendala operasional paling besarnya pada pengenalan citra wajah didalamnya ada:

1. Variasi Sudut Pandang (*Pose Variation*): Posisi wajahnya yang tak tegak lurus atau kena rotasi lateralnya (*yaw*) mengganti representasi fitur spasialnya dengan begitu drastis [4].
2. Fluktuasi Pencahayaan (*Illumination Variance*): Rentang pencahayaannya begitu dinamis mulai dari ruangan yang punya penerangan kuat sampai keadaannya yang sangat gelap (di bawah ambang batasnya fotometrik) mendatangkan distorsi nilai gradien pikselnya [5].
3. Oklusi Parsial (*Partial Occlusion*): Penutupannya di beberapa area wajah oleh obyek misalnya masker medis, kacamata, lalu tangan sampai dengan bayangan benda dimana itu bisa menghapus integritas titik antropometrinya wajah [6].

Banyak kajian sebelumnya memakai *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) dan *Support Vector Machine* (SVM) guna menemui wajahnya lalu menjalankan ResNet guna memeroleh representasi ciri wajahnya ke wujud *embedding* 128 dimensi [7], tapi pengujian seringkali masih dijalankan di keadaan terkontrolnya dengan posisi wajahnya di depannya kamera dan pencahayaannya melampaui 100 lux. Menjadikan ketahanan sistemnya di situasi yang lebih rumit belum terukurkan dengan baik apalagi dikala kuantitas *facial landmarks* yang terdeteksi merosot drastic, dikarenakan transformasi orientasi sampai tertutupnya elemen tertentu pada wajah menjadikan kajian ini diarahkan guna menelaah batas kemampuan model Dlib dalam mendeteksi 68 titik penanda wajah, dan mengenali identitasnya memakai ResNet mengacu pada variasi sudutnya, intensitas cahayanya sampai tingkat oklusi wajahnya. Sumbangsih pokok dari kajian ini yakni:

1. Mengkalkulasi batasan sudut kemiringannya rotasi horizontalnya ($30°, 45°, 60°$) yang masih bisa ditolelir sistemnya.
2. Menelaah ambang pencahayaannya yang minimum sampai 1 lux dan memberi evaluasi pada peran fitur *auto-exposure* kamera di keadaan yang minim cahayanya
3. Menelaah efek ditutupnya beberapa elemen pada matanya, pada hidungnya, kemudian pada mulutnya sampai dengan rahang atas hasil pengidentifikasian, sekaligus memilah kuantitas minimalnya landmark yang masih memberi ruang pada

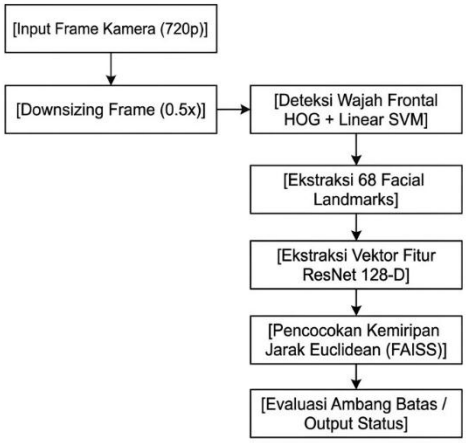
Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026

sistemnya untuk menganalisa wajahnya dengan tepat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Kerangka Kerja Sistem

Sistem yang dievaluasi pada kajian ini didalamnya ada alur kerja komputasi visinya yang terintegrasikan dimana dijabarkan pada diagram blok alur dibawah:



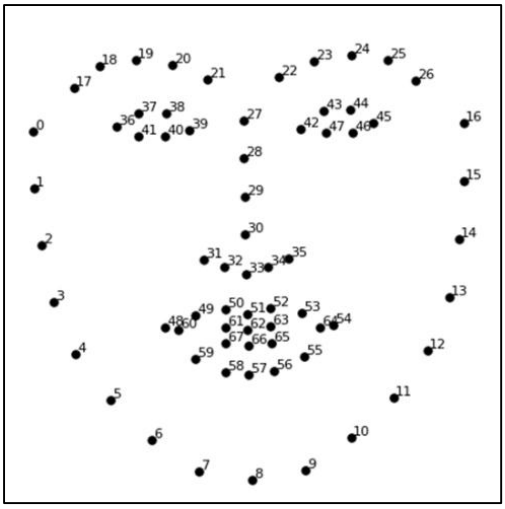
Gambar 1. Diagram Blok Alur Sistem Pengenalan Wajah

Kamera yang dipakai yakni webcam USB 720p yang didalamnya ada mekanisme penyesuaian eksposur otomatisnya. Resolusi input distandarisasikan di 1280×720 piksel.
Lalu dijalankan *downscaling* sampai angka 50% ($fx = 0.5, fy = 0.5$) supaya mengefisiensikan beban komputasi ekstraksi fitur tanpa meminimalisir data struktural wajahnya.

2.2 Deteksi Wajah dan Ekstraksi 68 Facial Landmarks

Tahap pertamanya memakai metode *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) bersama pengklasifikasian Linear Support Vector Machine (SVM) pada pustaka Dlib guna menemui posisi wajahnya mengacu pada pola transformasi intensitas pikselnya dan arah gradien lokalnya lalu *bounding box* yang didapat jadi acuan teruntuk shape predictor dengan basis ERT guna memilah koordinat 68 titik anatomi wajahnya selaras atas standarisasi facial landmarknya yang dijabarkan di Gambar 2 yang memberi representasi atas:

- Indeks 0–16: Garis rahangnya (*jawline*) – 17 titik
- Indeks 17–21: Alis kanannya – 5 titik
- Indeks 22–26: Alis kirinya – 5 titik
- Indeks 27–35: Batang dan ujung hidungnya – 9 titik
- Indeks 36–41: Kontur mata kanannya – 6 titik
- Indeks 42–47: Kontur mata kirinya – 6 titik
- Indeks 48–67: Bibir luar dan dalamnya – 20 titik



Gambar 2. Distribusi Spasial 68 Titik Facial Landmark Dlib

Di level registrasinya maka arah hadap wajah digolongkan memakai relasi jarak horizontalnya antar koordinat geometris relatif diantara hidung (P_{30}) dan kedua sudut mata luarnya (P_{36} dan P_{45}):

$$\Delta_{\text{mata}} = | X_{36} - X_{45} | \quad \text{.....(1)}$$

$$D_{\text{kiri}} = | X_{30} - X_{36} |, \; D_{\text{kanan}} = | X_{30} - X_{45} | \quad \text{....(2)}$$

Keadaan wajah digolongkan menghadapkan depan (*frontal*) bilamana $\Delta_{\text{mata}} > 20$ px dan $| D_{\text{kiri}} - D_{\text{kanan}} | < 15$ px.

Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026

Bila salah satu sisinya terdeviasi jarak > 10 px, wajahnya masuk golongan menghadap ke arah samping terkait.

2.3 Pembentukan Vektor Fitur dan Metrik Pencocokan

Pengenalan wajahnya dijalankan memakai model pra-latih ResNet-34 yang dimodifikasikan oleh King [8], dimana memetakan citra wajahnya yang sudah dinormalisasinya ke ruang metriknya dengan dimensinya 128 ($V \in R^{128}$). Level dari perbedaan diantara vektor ujinya (V_u) dan vektor referensinya (V_r) dikalkulasi memakai jarak Euclidean (L_2 norm):

$$D(V_u, V_r) = \sqrt{\sum_{i=1}^{128}(V_{u,i} - V_{r,i})^2} \quad \text{.....(3)}$$

Batas jarak antara wajah dipilih sebagai jarak Euclidean maksimum $D_{\max} = 0.5$. Nilai ini merujuk pada spesifikasi model Dlib ResNet [8] dimana nilai ini disempitkan dengan nilai nominal 0.6 guna menekan tingkat penerimaan salah (*False Acceptance Rate/FAR*) dalam akses keamanan. Untuk merepresentasikan derajat kedekatan fitur wajah per *frame* secara intuitif, nilai jarak Euclidean dinormalisasikan menjadi skor kemiripan (*similarity score* / S) dalam rentang 0-100% melalui formula:

$$\text{S}(\%) = \left(1 - \frac{D(V_u, V_r)}{D_{\max}}\right) \times 100\% \text{.....(4)}$$

Identifikasi seseorang dianggap benar jika skor kesamaan S ≥ 60% (ekuivalen dengan jarak D ≤ 0.20). Ambang batas 60 % ini ditetapkan berdasarkan hasil pengujian awal sebagai titik kompromi optimal (trade-off) untuk mentoleransi perubahan sudut dan fluktuasi pencahayaan tanpa menurunkan kemampuan sistem dalam menolak wajah yang tidak terdaftar. Berbeda dengan skor kesamaan ini kinerja seluruh sistem pada pengujian eksperimental (lihat Tabel 1 dan Tabel 2) diukur dengan akurasi, yaitu rasio percobaan verifikasi yang berhasil terhadap jumlah percobaan total.

2.4 Skenario Pengujian Ketahanan (Robustness Protocol)

Pengujian eksperimental melibatkan 6 subjek, terdiri dari 4 pengguna sah yang terdaftar dan 2 subjek yang tidak terdaftar sebagai penguji *Unknown*. Pada tahap registrasi, dari setiap subjek terdaftar diambil 3 citra wajah primer dengan orientasi depan, serong kanan, dan serong kiri. Citra ini lalu diperbanyak secara otomatis lewat augmentasi citra, yaitu variasi skala, translasi, kecerahan, derau, dan perspektif, untuk menambah data vektor fitur. Setiap skenario pengujian dijalankan 10 kali untuk memastikan hasil evaluasi konsisten terhadap parameter kritis kegagalan algoritma:

1. Uji variasi sudut orientasi wajah: Subjek memutar kepala ke samping pada sudut 30°, 45°, dan 60° dengan bantuan busur derajat di lantai pada jarak 50 cm. Pada setiap sudut, pengujian dilakukan 10 kali, 5 kali ke kiri dan 5 kali ke kanan. Pengujian dianggap berhasil jika sistem bisa mendeteksi wajah dan mengenali nama pengguna yang terdaftar dengan skor kemiripan S ≥ 60% dimana bisa terlihat pada gambar 4. Pengujian dianggap gagal jika wajah tidak terdeteksi atau teridentifikasi salah (Unknown) bisa dilihat pada gambar 5.
2. Uji Variasi Intensitas pada sistem Pencahayaan: Dijalankan di rentangan terkontrolnya memakai lux meter digital yang posisinya itu sejajar dengan bidang wajahnya. Pengujiannya dijalankan di level cahayanya yang terang ($390 - 410$ lux), ruangannya normal ($190 - 210$ lux), pencahayaannya yang rendah ($70 - 90$ lux), sampai keadaan yang ekstrem (1 lux dan 0 lux / *pitch black*).
3. Uji Oklusi Parsial dan Batas Landmark Minimum: Pengujian dilakukan dengan penutup parsial dan batas minimum; digunakan penghalang dengan cara memblokir area dari organ wajah (satu mata, hidung, mulut, atau rahang). Jumlah landmark yang tersisa dihitung secara otomatis dalam waktu nyata oleh program

Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026

diagnosis (dan bukan dihitung secara manual) dengan menghitung koordinat dari titik prediktor bentuk yang berada di luar area penghalang dalam lima kelompok fitur (rahang-17 titik, alis-10 titik, hidung-9 titik, mata-12 titik dan mulut-20 titik).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Sudut Kemiringan Wajah (Yaw Angle)

Mengacu pada data Tabel 1 dimana model deteksinya HOG dan ekstraksinya Dlib mencerminkan sebuah ketahanannya yang sempurna (100%) sampai sudut kemiringannya yang 45° . Kesuksesannya di sudut 45° ini didapat dikarenakan penerapan dari augmentasi datanya di level pendaftaran awalnya terdiri dari pose samping kiri dan kanan sampai transformasi sudut pandangnya yang menjadikan manifold representasi fitur 128-D tetap ada pada variasi posenya.

Tapi di kemiringannya yang 60°, sistemnya gagal total (0%). Analisa citranya menemui dimana di sudutnya yang 60° . Profil wajahnya ganti jadi *semi-profile* ekstrem: satu matanya tak lagi terlihat, lalu jarak antar matanya terkompresi perspektifnya dengan begitu parah sampai hidungnya menutup hampir semua kontur pipinya yang menjadikan klasifikator HOG frontalnya gagal menemui sebuah pola gradien simetrisnya, yang jadi asumsi dasar detektor wajah Dlib membuat proses inferensinya berhenti total sebelum ekstraksi vektor ResNet bisa dijalankan.

Tabel 1 menjabarkan perolehan uji kesuksesan dari deteksi dan pengenalannya wajah pada jarak optimalnya yang 50 cm kepada variasi sudut rotasi horizontal wajahnya.

Tabel 1. Hasil Uji coba Kemiringan Sudut Wajah Pada Jarak 50 cm

Percobaan ke	Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 60°
1	Sukses	Sukses	Gagal
2	Sukses	Sukses	Gagal
3	Sukses	Sukses	Gagal
4	Sukses	Sukses	Gagal
5	Sukses	Sukses	Gagal
6	Sukses	Sukses	Gagal
7	Sukses	Sukses	Gagal
8	Sukses	Sukses	Gagal
9	Sukses	Sukses	Gagal
10	Sukses	Sukses	Gagal
Akurasi	**100%**	**100%**	**0%**

Di gambar (3) tercermin sebuah skenario uji cobanya di variasi sudut kemiringannya.



Gambar 3. Skenario Uji Coba Kemiringan pada 3 sudut (**30°**, **45°**, **60°**)

Pengujiannya dijalankan caranya meletakkan busur derajatnya di bawah posisi subyeknya lalu subjeknya diminta mengarahkan pandangannya ke sebuah sisi. Arah pandangannya ditunjukan memakai garis bantu dari meteran supaya si subyeknya tahu akan arahnya yang harus dituju.

3.2 Karakteristik Performa pada Variasi Pencahayaan

Uji waktu responnya (latensi) dan kesuksesan dari pengenalannya atas intensitas cahayanya di jarak 50 cm dijabarkan di Tabel 2.

Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026

Tabel 2. Waktu Komputasi Pengenalan Terhadap Variasi Intensitas Cahaya (Jarak 50 cm)

Rentang Intensitas (Lux)	Waktu Rata-rata (detik)	Tingkat Keberhasilan (%)	Status Pengenalan
390 – 410 Lux	0,94	100%	Sangat Stabil
190 – 210 Lux	1,00	100%	Sangat Stabil
70 – 90 Lux	1,10	100%	Stabil
1 Lux	~2,10 – 3,50	Variatif (Turun)	Tidak Stabil (*Flaky*)
0 Lux	∞	0%	Gagal Total

Datanya di Gambar 4 memberi cerminan dimana pengenalan wajahnya tetap sukses di level kesuksesan 100% dikala cahayanya ada di kisaran 70 sampai 410 lux dengan waktu responsnya kisaran 0,94–1,10 detik, lalu keadaan terang memberi bantuan pada kameranya bisa membuat stabil fokus otomatisnya dan mengelola kecepatan rana lebih cepat menjadikan keterlambatan analisanya di tiap framenya ditekan.

Saat pencahayaannya ada di level begitu rendah kemudian kameranya masih bisa menangkap wujud wajah dikarenakan ada fitur *auto-exposure* mendongkrak nilai analog gain-nya dan durasi eksposurnya sampai pada batasan paling tinggi. Walau penyesuaiannya memicu gangguan visual berwujud sensor *noise* atau *grain* yang meminimalisir kualitas citranya dan mengganti representasi fitur ResNet menjadikan nilai jarak Euclidean gerak dan dekat ke ambangnya yang 0,5.

Identitas yang sudah tersimpannya kadang-kadang terbaca menjadi Unknown, lalu dikala keadaan yang gelap total yang mencapai sensornya, menjadikan citra hilang semua data visualnya dan metode HOG tak lagi bisa menemui sebuah pola gradien yang dibutuhkannya guna menelaah wajah.



Gambar 4. Skenario Uji Coba pengenalan terhadap intensitas cahaya pada jarak 50 cm

Perolehan uji yang ada di gambar 5 menemui dimana sistemnya masih bisa menelaah wajah di level pencahayaannya sampai 1 lux yang diarahkan ke webcam. Tapi di 0 lux sistemnya capkali gagal menelaah wajahnya dengan konsisten.

Dikala intensitas cahayanya sampai 1 lux maka sistemnya masih bisa kenal akan wajahnya meski identitasnya yang tersimpan acapkali terbaca menjadi Unknown menjadikan kestabilan pengenalannya merosot dengan tajam pada lingkungan dengan cahaya yang begitu minim.



Gambar 5. Skenario Uji Coba deteksi pada kecerahan 0 lux dan 1 lux

3.3 Sensitivitas Oklusi Parsial dan Ambang Batas Minimum Landmark

Uji coba penutupannya elemen-elemen wajah menemui dimana hal paling penting terkait dengan sumbangan dari tiap elemen wajahnya dalam model deteksi Dlib. Hasil ujinya ini

dijabarkan di Tabel 3 yang terungkap dimana sisi mata menjadi elemen yang paling kritis (*single point of failure*) dalam arsitektur deteksi Dlibnya diantaranya:

1. Oklusi Mata: Dikala salah satu matanya ditutup memakai kertas maka detektor Dlib gagal menelaah adanya wajah sama sekali (*0 landmark terdeteksi*). Itu bisa memberi bukti dimana algoritma klasifikasinya HOG+SVM Dlib begitu menggantungkan diri pada pasangan gradien gelap terang bilateral dari kedua matanya menjadi fitur penentu awal adanya wajah manusia.



Gambar 6. Skenario Uji Coba pada area Oklusi penutupan mata

2. Oklusi Mulut dan Hidung: Penutupan bagian mulut tidak memengaruhi pengenalan wajah karena sistem mampu mendeteksi wajah dengan 36 titik landmark yang terdeteksi karena terlihat bagian mata, dahi, dan hidung wajah. Dalam kasus penutupan hidung sistem mampu mendeteksi wajah dengan 32 titik landmark yang terdeteksi. Angka 36 dan 32 menunjukkan jumlah titik aktif dalam dua skenario percobaan fisik ini yang berarti sistem memiliki toleransi yang baik terhadap kehilangan beberapa fitur wajah.
3. Oklusi Rahang dan Alis: Penutupan sisi alis dan rahangnya di bawah relatif tidak memberi gangguan pada proses identifikasinya sebab sistemnya bisa kenal wajah dari arah depan walau 12 dari 17 titiknya pada rahang hilangnya, selama ciri-ciri utamanya di sisi tengah wajahnya masih terlihat begitu jelas.

Gambar 6 memberi cerminan dimana ditutupnya satu mata menjadikan semua proses deteksinya terhentikan dimana kuantitas titik wajahnya yang sukses dibaca sampai 0 dari total 68 titiknya atau kisaran 0%, itu diduga berkesinambungan atas hilangnya pola visual sekeliling matanya yang dipakai HOG-SVM supaya kenal akan karakter dari wajah dan menentukan lokasi objeknya pada citra menjadikan sistem tak berhasil memeroleh *bounding box* menjadi dasar pemrosesan setelahnya oleh shape predictor. Itu senada dengan kajiannya Zhang [9], dimana gangguan visualnya di area mata dan sisi atas wajahnya mendatangkan hambatan lebih besar bagi proses deteksinya daripada penutupan hidungnya atau mulutnya, sebab hilangnya informasi pada areanya itu meminimalisir ketersediaan ciri yang diperlukan algoritmanya guna membedakan wajah dari obyek lainnya.

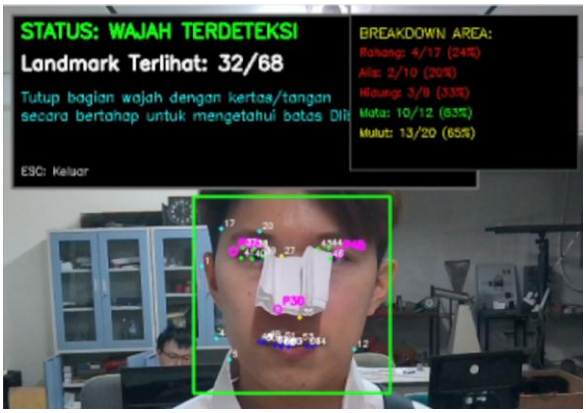
Tabel 3. Analisis Pengaruh Oklusi Organ Wajah Terhadap Landmark dan Status Deteksi Dengan Teramati Pada Kondisi Uji

Area Oklusi	Landmark Terdampak	Landmark Tersisa	Status Deteksi Wajah	Keterangan / Analisis
Salah Satu Mata	Indeks 36–47	0 / 68	**Gagal Total**	Detektor HOG gagal menemukan anchor simetri wajah.
Hidung	Indeks 27–35	32/68	**Berhasil**	Landmark hidung terelimina si; mata dan mulut memandu lokalisasi.
Mulut	Indeks 48–67	36/38	**Berhasil**	Landmark bibir hilang; fitur segitiga atas wajah mencukupi.
Alis & Rahang	Indeks 0–26	Sebagian	**Berhasil**	Sedikit dampak; hanya berkontribusi marjinal pada

Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026

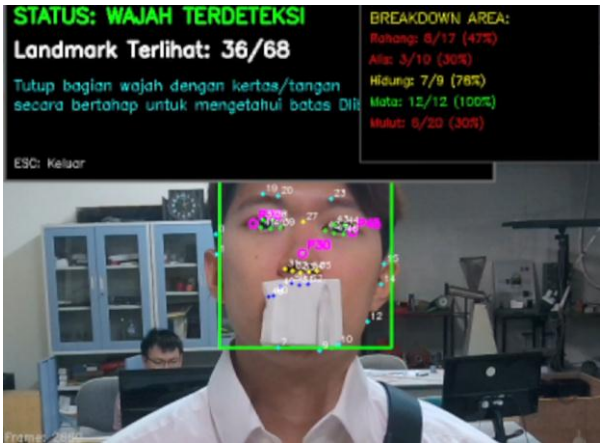
	klasifikasi frontal.

Gambar 7 mencatatkan dimana wajahnya tetap sukses ditemui walau hidungnya tertutup benda penghalangnya dengan 32 dari 68 titik landmark masih terbaca atau 47% dari semua titiknya yang ada. Hasilnya selaras atas keterlihatan area matanya yang mempertahankan 10 dari 12 titik (83%) lalu sisi mulutnya dengan 13 dari 20 titik (65%) menjadikan pola visual di dua areanya itu cukup mendorong HOG-SVM bisa memilah lokasi wajahnya dan menyusun bounding box. Hasil percobaannya ini selaras dengan kajiannya Zeng [10], dimana penutupan hidungnya acapkali lebih mudah ditolerir daripada gangguan pada matanya dikarenakan ciri di sekeliling matanya dan kontur wajahnya yang tersisa masih bisa dipakai guan proses identifikasinya



Gambar 7. Skenario Uji Coba pada area Oklusi penutupan hidung

Mengacu di Gambar 8 dimana pengujian oklusinya di area mulut yang memberi representasi penggunaan masker memeroleh status "wajah terdeteksi" dengan totalnya 36/68 landmark (53%).



Gambar 8. Skenario Uji Coba pada area Oklusi penutupan mulut

Walau landmark mulutnya tereduksi drastis jadi 6/20 (30%), sistem tetap sukses melokalisasi wajahnya dikarenakan area mata terdeteksikan dengan utuh 12/12 (100%) dan hidungnya 7/9 (78%). Posisi dari kontur matanya dan hidungnya yang solid tetap menahan fitur struktural segitiga wajahnya di sisi atas menjadikan detektor HOG-SVM tetap bisa menyusun sebuah *bounding box*. Hasilnya senada dengan Wang [11], dimana oklusinya area mulut dan wajahnya di sisi bawah punya level toleransinya tinggi pada sistem biometrik modern dikala informasi visual area mata dan dahi tak terganggu

4. KESIMPULAN

Kajian ini sukses mengkarakterisasikan ketahanan operasionalnya dan batas kritis dari algoritma pengenalan wajah Dlib ResNet yang digabungkannya dengan 68 *facial landmarks*. Atas perolehan pengevaluasian empirisnya bisa ditarik simpulan ini:

1. Toleransi sudut pada sistemnya punya batas operasional rotasi lateral horizontal stabil sampai sudut 45° (100% akurasi), namun terdegradasi performa totalnya (0%) saat sudutnya sampai 60° akibat hilangnya simetri kontur wajah pada sisi proyeksi kameranya.
2. Toleransinya pada pencahayaan dimana sistemnya dijalankan optimal pada rentangan 70–400 lux dengan latensi deteksinya kisaran 0,94–1,10 detik. Kamera dengan kecakapan *auto-exposure* bisa menelaah sampai pencahayaan minimumnya ke 1 lux walau stabilitas

vektor embedding turun begitu drastis dikarenakan terganggunya *noise sensor.*

3. Sistemnya punya ketergantungan pada fitur antropometrinya yakni muncul asimetri ketergantungan begitu tajam antar fitur wajahnya. Area mata terbuktikan menjadi sebuah fitur absolut yang harus tercerminkan dimana ditutupnya satu mata menjadikan kegagalan sistemnya dengan mutlak. Di lain sisinya sistem mencerminkan toleransi tinggi kepada oklusi hidung dan mulutnya di mana sistem berhasil mengenali wajah dengan perolehan masing-masing sebesar 32 landmark teramati pada pengujian penutupan hidung dan 36 landmark teramati pada penutupan mulut.

Perolehan kajian ini memberi rekomendasi dimana penerapan sistem pengenalan wajahnya di area nyata wajib dibarengi dengan pencahayaan buatan inframerah (*active IR illumination*), bisa ditujukan untuk lingkungan gelap dan memposisikan kamera setinggi bidang pandang lurus pengguna guna memberi kepastian sudut kemiringan wajahnya tidak melewati 45°.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. M. A. Halim, et al.,"Face recognition-based door locking system with two-factor authentication using OpenCV", Prosiding the 6th International Conference on Informatics and Computing 2021 (ICIC 2021), 3-4 November, Jakarta, Indonesia, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIC54025.2021.9632928

[2] N. Dalal dan B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection", Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005), 20-25 Juni, San Diego, USA, pp. 886-893, doi: 10.1109/CVPR.2005.177.

[3] C. Cortes dan V. Vapnik, "Support-vector networks", Machine Learning 20 (3), 273-297 (1995), doi: 10.1007/BF00994018.

[4] V. Kazemi dan J. Sullivan, "One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2014), 23-28 Juni, Columbus, USA, pp. 1867-1874.

[5] K. He, X. Zhang, S. Ren, dan J. Sun, "Deep residual learning for image recognition", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016), 27-30 Juni, Las Vegas, USA, pp. 770-778

[6] F. Schroff, D. Kalenichenko, dan J. Philbin, "FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2015), 7-12 Juni, Boston, USA, pp. 815-823

[7] D. E. King, "Dlib-ml: A machine learning toolkit", Journal of Machine Learning Research 10, 1755-1758 (2009)

[8] D. E. King, "High quality face recognition with deep metric learning", update 2017, URI http://blog.dlib.net/2017/02/high-quality-face-recognition-with-deep.html [diakses 17 Juni 2025]

[9] Z. Zhang, X. Ji, X. Cui, and J. Ma, "A survey on occluded face recognition", Proceedings of the 9th International Conference on Networks, Communication and Computing (ICNCC 2020), 18-20 Desember, Tokyo, Jepang, pp. 40-49, doi: 10.1145/3447654.3447661

[10] D. Zeng, R. Veldhuis, and L. Spreeuwers, "A survey of face recognition techniques under occlusion", ACM Computing Surveys 54 (7), 1-36 (2021)

[11] Z. Wang, B. Huang, G. Wang, P. Yi, and K. Jiang, "Masked face recognition dataset and application", IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science 5 (2), 298-304 (2023), doi: 10.1109/TBIOM.2023.3242085

Diterima Redaksi : 20 Oktober 2026 | Selesai Revisi : 5 November 2026 | Diterbitkan Online : 9 November 2026