

Algoritma *Principal Component Analysis* (PCA) dan Metode Bounding Box pada Pengenalan Citra Wajah

Habibu Riski^{1*}, Danang Wahyu Utomo²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang

¹Jln. Imam Bonjol No. 207, Kota Semarang, 50131, Indonesia

^{2,3}Jln. Informatika, Kota Tegal, 52142, Indonesia

email: 111202012807@mhs.dinus.ac.id, danang.wu@dsn.dinus.ac.id

Abstract - The current facial recognition system utilizes the Principal Component Algorithm (PCA) and the Bounding Box method to recognize facial locations based on brightness levels. The problem that was found in the experiment was that unclear or illuminated light factors could cause inaccuracies in facial area recognition. PCA is an algorithm capable of performing dimensional reduction to recognize the face area. The recognition process involves image pre-processing, PCA analysis to produce vectors, and application of a Bounding Box to focus on critical areas. This research contributes to the development of reliable and efficient facial recognition systems, potentially applied in security and access management. The experiment used the Grimace dataset using the .jpg format, with tests on normal brightness and -50 decreases in brightness level. At the decrease in -50, the result shows that the smallest distance value is 3540.1, and the greatest distance is 6849.4 with the average value being 5810.110. face recognition results can recognize face images with the original image.

Abstrak – Sistem pengenalan wajah saat ini memanfaatkan Algoritma Principal Component (PCA) dan metode Bounding Box untuk mengenali lokasi wajah berdasarkan level kecerahan (*brightness*). Permasalahan yang ditemukan pada eksperimen adalah faktor cahaya yang tidak jelas atau kurang terang dapat menyebabkan ketidaktepatan dalam pengenalan area wajah. PCA adalah algoritma yang mampu melakukan reduksi dimensi untuk mengenali area wajah. Sementara *Bounding Box* sendiri membatasi area citra yang yang ditentukan seperti area wajah. Proses pengenalan melibatkan pra-pemrosesan citra, analisis PCA untuk menghasilkan vector, dan penerapan Bounding Box untuk fokus pada area kritis. Penelitian ini menawarkan kontribusi pada pengembangan sistem pengenalan wajah yang handal dan efisien, berpotensi diterapkan dalam keamanan dan manajemen akses. Eksperimen menggunakan dataset Grimace dengan menggunakan format .jpg, dengan ujicoba pada kecerahan normal dan penurunan kecerahan -50. Pada penurunan level kecerahan wajah sampai -50 menunjukkan nilai jarak terkecil adalah 3540.1, nilai terbesar 6849.4 dengan nilai rata-rata adalah 5810,110. Hasil pengenalan wajah mampu mengenali citra wajah dengan citra asli. Faktor pencahayaan terbukti mempengaruhi kinerja pengenalan wajah, dan uji coba kedua mengevaluasi ketahanan algoritma PCA terhadap variasi pencahayaan. Hasilnya memberikan nilai jarak yang signifikan berbeda dengan nilai jarak yang dihasilkan citra asli.

*) penulis korespondensi: Habibu Riski
Email: 111202012807@mhs.dinus.ac.id

Kata Kunci – pengenalan wajah, *image processing*, *principle component analysis*, *bounding box*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu dan teknologi terhadap biometrik banyak diusulkan khususnya biometrik pada manusia. Pada penelitian yang dilakukan oleh Minaee S telah Menyusun survey terkait penelitian yang melibatkan biometrik manusia yang meliputi pengenalan wajah, sidik jari, iris mata, telapak tangan dan gaya berjalan [1]. Pada penelitian lainnya juga disampaikan bahwa karakteristik tubuh manusia dapat dikenali karena memiliki ciri biologis seperti sidik jari, retina, pola suara dan pola wajah yang dapat diidentifikasi [2].

Pengenalan wajah menjadi salah satu penelitian yang banyak dilakukan dalam bidang keilmuan ilmu komputer dan pengembangan rekayasa perangkat lunak khususnya dalam bidang pengolahan citra digital. Peminatan studi dan algoritma pengenalan wajah telah banyak diusulkan dalam aplikasi seperti identifikasi kejahatan, akses bangunan, system kehadiran dan otomatisasi kendaraan [3]. Peneliti lainnya juga melakukan review terhadap penelitian terdahulu, saat ini dan masa depan terkait pengenalan wajah. Metode, algoritma, alat telah banyak diusulkan untuk menangani permasalahan dalam pengenalan wajah dalam keramaian dan implementasinya pada dataset 2D dan 3D [4].

Deteksi wajah merupakan tahap yang penting dalam identifikasi atau pengenalan wajah. Menurut Nur Widya Pratiwi [5], deteksi merupakan pencarian pola atau fitur pada wajah sehingga dapat diidentifikasi atau dikenali. Ada banyak faktor yang menjadi penentu dalam deteksi wajah seperti kualitas citra, posisi wajah, bentuk, dan ekspresi. Yu Y menyatakan bahwa tantangan dalam pengenalan wajah adalah pose wajah, penuaan, dan ekspresi [6]. Dibutuhkan adanya metode atau teknik untuk menandai wajah dalam pengaruh faktor apapun seperti faktor cahaya, pose, ilusi, penuaan dan ekspresi.

Beberapa algoritma, teknik maupun metode telah banyak digunakan dalam eksperimen pengenalan wajah seperti algoritma PCA [7], [8], viola jones [9], wavelet[2], CNN[10], [11], *haar cascade* [11], [12]. Beberapa contoh tersebut memiliki hasil pengenalan wajah yang sesuai, tingkat akurasi tinggi dan mampu mendeteksi wajah sesuai dengan citra data latih.

Algoritma *principle component analysis* (PCA) adalah salah satu algoritma dengan teknik linier yang mampu mereduksi dimensi citra melalui vektor [13]. Algoritma PCA dapat melakukan perubahan dari suatu ruang dengan dimensi tinggi ke dimensi yang sederhana. Pada kasus lain, PCA mampu dijadikan sebagai ekstraksi fitur[14].

Menurut Jamhari, salah satu tantangan dalam penggunaan PCA adalah adanya faktor pencahayaan pada citra yang dapat mempengaruhi tingkat pengenalan wajah[13]. *Bounding box* merupakan teknik yang mampu menandai wajah pada citra dalam bentuk gambar maupun frame (video)[10]. Kapse [15] menyatakan bahwa Teknik *bounding box* mampu menyesuaikan kotak pembatas wajah secara dinamis. Adanya Teknik *bounding box* memberikan pembatasan area wajah yang dapat dijadikan sebagai citra yang ditandai untuk dicocokkan dengan citra pada database atau data latih.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [13], bahwa tantangan atau masalah utama dalam algoritma PCA adalah faktor pencahayaan. Faktor cahaya yang tidak jelas atau kurang terang dapat menyebabkan ketidaktepatan dalam pengenalan area wajah. Beberapa eksperimen yang telah dilakukan menghasilkan kegagalan dalam pengenalan wajah oleh system. Pencahayaan yang redup menjadi faktor utama dalam kegagalan pengenalan area wajah. Pada eksperimen ini, kami mengusulkan algoritma PCA dan teknik *bounding box* untuk mengenali area wajah. Algoritma PCA digunakan sebagai reduksi dimensionalitas citra. Sedangkan *bounding box* digunakan untuk membatasi area wajah yang ditandai sebagai ketepatan dalam mengenali area wajah. Uji eksperimen dilakukan menggunakan dataset citra *grimace* dengan format .jpg. Secara tampilan, dataset *grimace* dipengaruhi oleh faktor pencahayaan. Sehingga beberapa sampel wajah terlihat gelap atau kurang jelas. Pada uji dataset citra *grimace* dilakukan pengaturan dengan penurunan pencahayaan sebesar -50.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Permasalahan dalam pengenalan wajah meliputi: variasi pose, bentuk, ekspresi, pencahayaan, aksesoris dan riasan pada wajah[16]. Algoritma, teknik atau metode telah banyak diusulkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Algoritma PCA adalah salah satu algoritma dengan Teknik linear yang mampu menyelesaikan permasalahan pengenalan wajah dalam variasi pose, bentuk dan perubahan ekspresi. Adanya perbedaan ekspresi wajah dalam 1(satu) individu menjadi fokus utama dalam penggunaan algoritma PCA. Saraswati [7] dalam eksperimen uji system pengenalan wajah menghasilkan nilai minimum kedekatan antar citra adalah 0.832% dengan nilai minimum terbesar 0.973%. Algoritma PCA diimplementasikan dalam system pengenalan wajah untuk system absensi mahasiswa dalam *e-learning*. Ren Y [17] menggunakan *outsourcing protocol* pada penggunaan PCA dalam pengenalan wajah. Format penelitian adalah dengan melakukan enkripsi dan deskripsi untuk privasi data dari *cloud*. Implementasi PCA tidak hanya fokus pada sisi pengenalan wajah, namun juga mampu diterapkan pada protokol keamanan seperti yang dilakukan Ren Y pada *cloud*. Zhao M [18] mengusulkan dua dimensi PCA untuk meningkatkan ekstraksi fitur pengenalan wajah. Dua dimensi PCA diusulkan untuk meningkatkan sisi baris dan kolom dalam ekstraksi fitur. Pemberian bobot pada *principal component* juga diterapkan agar pengenalan wajah lebih efisien. Adanya pengaturan dalam matriks juga menjadi pengaruh dalam peningkatan akurasi pengenalan wajah menggunakan ekstraksi fitur.

Teknik *bounding box* atau kotak pembatas merupakan Teknik yang digunakan untuk menandai dan membatasi area wajah. Luo D [19] mengusulkan penggunaan kotak pembatas guna memberikan pembatas untuk memberikan deteksi pada

gambar. Penggunaan deteksi bertingkat atau *deep cascaded* ditujukan untuk evaluasi tingkat pembatas pada fitur atau lokasi wajah yang bias. Jika, masih terdapat bias, maka kotak pembatas diperlukan Kembali untuk mendapatkan tingkat deteksi yang lebih akurat. Tujuannya agar penempatan kotak pembatas lebih akurat dan menghilangkan pengenalan wajah palsu. Penggunaan kotak pembatas juga dilakukan oleh Luo S [20] yaitu kalibrasi kotak pembatas untuk menangani permasalahan tingkat deteksi tinggi namun akurasi penempatan rendah pada dataset. Teknik ini mampu meningkatkan kerja deteksi wajah, terutama dalam situasi *real-time*. Penerapan kotak pembatas juga dapat dilakukan secara dinamis [15]. Adanya permasalahan faktor cahaya citra yang tidak sama, perbedaan pose, bentuk wajah dilengkapi dengan aksesoris dan riasan serta bentuk ekspresi seperti sedih, senang, senyum menjadi pertanyaan bagaimana teknik dapat mengenali wajah dengan faktor – faktor tersebut. Kotak pembatas dinamis mampu menyesuaikan deteksi wajah dalam fitur atau faktor yang berbeda. Kapse [15] mengusulkan tiga metodologi dalam kotak pembatas dinamis: ROI, penyalarsan wajah, ROI dengan referensi mata. Hasilnya, memberikan peningkatan akurasi pengenalan wajah.

Berdasarkan studi literatur diatas, adanya pengaturan algoritma PCA dari sisi reduksi dimensi, fitur ekstraksi, atau resolusi citra dapat mengenali wajah dengan akurasi yang tinggi. Penggunaan Teknik *bounding box*, juga membantu dalam deteksi lokasi citra wajah dari seluruh gambar dataset. Adanya pembatasan berupa kotak dalam citra wajah memudahkan penempatan fitur karakteristik wajah meskipun dalam variasi pose, bentuk dan ekspresi wajah yang berbeda bahkan dengan pencahayaan yang tidak sama.

III. METODE PENELITIAN

A. Dataset





Gbr. 1 Dataset Grimace

Pada penelitian ini menggunakan dataset *grimace* sebagai citra data uji pengenalan wajah. Dataset *grimace* merupakan kumpulan citra wajah dengan format .jpg, ukuran citra adalah 180x200 piksel terdiri dari 360 citra dimana terdapat 18 individu dengan 20 pose, bentuk dan ekspresi wajah yang berbeda. Selain itu, citra juga dipengaruhi oleh faktor pencahayaan yang tidak sama.

Pada Gbr. 1, citra tersebut dijadikan citra data uji dipilih secara acak dengan masing – masing 1(satu) individu berbeda pada 360 jumlah keseluruhan citra wajah (data latih).

B. Principle Component Analysis

PCA sebagai algoritma pengenalan wajah dengan teknik statistik yang mampu mereduksi dimensi dataset. Pada penelitian ini, implementasi PCA menggunakan Matlab R2021a dengan urutan sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah data latih (n)
 $n = 360$
2. Deklarasi nilai eigen
 $eigL = 50$
3. Atur dimensi citra yaitu MxN
 $M = 90; N = 100$
4. Inisialisasi citra matriks MxN
 $X = zeros(n, (M \times N))$ (1)
5. Ubah citra ke dalam *principle component*
 $T = zeros(n, eigL)$ (2)
6. Ubah citra dari RGB ke grayscale dengan fungsi *rgb2gray()*
7. Resize citra menjadi 1 dimensi vector
 $X = reshape(I, [1, M \times N])$ (3)
 Dimana I adalah citra input dari data latih.
8. Hitung rata – rata dari citra X
 $m = mean(X)$ (4)
9. Hitung pengurangan citra X dengan nilai rata – rata citra m
 $X = X(i) - m$ (5)
10. Hitung nilai covarian Q
 $Q = (X' * X) / (n - 1)$
11. Hitung nilai eigen dan nilai eigen vector, penghitungan nilai dapat menggunakan fungsi *eig()* dari nilai Q.
 $[evc, evl] = eig(Q)$
 evc : *eigen vector*
 evl : *eigen value*
12. Ekstrak semua nilai eigen yang diperoleh secara diagonal
 $Ev = diag(evl)$

Berikut penjelasan dari persamaan diatas:

- 1) Persamaan (1) mengembalikan nilai array 0 berdasarkan ukuran matriks MxN
- 2) Persamaan (2) mengembalikan nilai berdasarkan ukuran nilai eigen eigL
- 3) Persamaan (3) digunakan untuk mengubah ukuran dimensi array menjadi 1 dimensi vektor
- 4) Persamaan (4) fungsi untuk menghitung rata rata dari citra

- 5) Persamaan (5) fungsi pengurangan antara citra X dengan rata – rata dari semua citra X

C. Teknik Bounding Box

Implementasi *bounding box* ditampilkan dalam bentuk kotak yang menandai objek yang ditentukan.



Gbr. 2 Citra terdeteksi Kotak Pembatas

Pada Gbr. 2, sampel citra wajah terdeteksi digambarkan dengan kotak warna kuning yang menyesuaikan area wajah dari citra uji yaitu 1.jpg.

Selanjutnya, hasil dari citra terdeteksi kotak pembatas akan dilakukan *cropping* yaitu pemotongan dan pengaturan ukuran dimensi citra ulang.

Pada penelitian ini, penggunaan *bounding box* menggunakan fungsi bawaan dari Matlab yaitu *vision.CascadeObjectDetector()* kemudian untuk pemotongan citra dan pengaturan ukuran dimensi citra menggunakan fungsi *imcrop* dan *imresize*.

D. Eksperimen

Alur eksperimen dimulai dengan persiapan dataset yaitu *grimace* dengan penentuan jumlah data latih dan data uji. Data latih berjumlah 360 citra wajah dan data uji berjumlah 18 citra wajah acak dengan kondisi pencahayaan yang beragam.

Ujicoba pertama, pengaturan awal atau *preprocessing* dilakukan sama seperti pada tahap PCA (sub bab B). Pengujian dilakukan dengan cara yaitu, setiap citra data uji dieksekusi 1 kali dalam eksekusi program pengenalan wajah. Jadi, terdapat 18 kali eksekusi program untuk mendapatkan hasil deteksi citra data uji dengan citra data latih.

Ujicoba kedua, dilakukan dengan format dan pengaturan yang sama pada ujicoba pertama. Hanya saja, pada citra data uji, menggunakan citra data uji dengan pengaturan Tingkat kecerahan (*brightness*) dengan penurunan -50 dari kecerahan normal. Pengaturan ini dilakukan untuk menguji apakah algoritma PCA dan teknik *bounding box* yang diusulkan mampu mengenali citra wajah dan mencocokkan citra yang tepat dengan citra data latih.

Evaluasi hasil ujicoba pertama dan kedua dilakukan penghitungan jarak menggunakan *Euclidean distance* yaitu teknik pengukuran kemiripan berdasarkan nilai jarak yang dihasilkan [21]. Berdasarkan 2(dua) ujicoba tersebut dilakukan perbandingan antara hasil ujicoba pertama dengan citra asli dengan ujicoba kedua dengan pengaturan penurunan *brightness*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil evaluasi pengenalan wajah dengan algoritma PCA dan teknik *bounding box* diukur menggunakan formula pengukuran jarak antar objek yaitu *Euclidean distance*. Hasil dari pengukuran jarak citra wajah ditampilkan pada Tabel I.

Pada ujicoba I, eksperimen menggunakan citra data uji dengan *brightness* normal (citra asli). Dari semua citra yang diujikan, masing - masing citra menghasilkan nilai 0. Artinya, ada kemiripan antara citra data uji dengan citra data latih baik dari sisi fitur, bentuk maupun ekspresi wajah. Adanya perbedaan level *brightness* dari citra data uji membuat algoritma PCA dengan Teknik *bounding box* memiliki ketahanan yang kuat.

Pada ujicoba II, eksperimen menggunakan pengaturan citra data uji yaitu adanya pengaturan level *brightness* dari normal menjadi -50. Adanya perbedaan tingkat kecerahan citra data uji menjadikan hasil jarak yang berbeda pada ujicoba I. Pada Tabel I, hasil pengukuran jarak menunjukkan bahwa nilai masing – masing citra uji diatas 0, dengan rata – rata 5810,117. Dapat ditarik kesimpulan dari ujicoba I dan ujicoba II jarak yang dihasilkan tinggi yaitu 5810,117. Nilai tinggi pada *Euclidean distance* dapat menyebabkan adanya perbedaan fitur, baik bentuk maupun ekspresi wajah. Adanya Teknik *bounding box* mampu menandai individu yang sama meskipun dengan fitur, bentuk dan ekspresi yang berbeda.

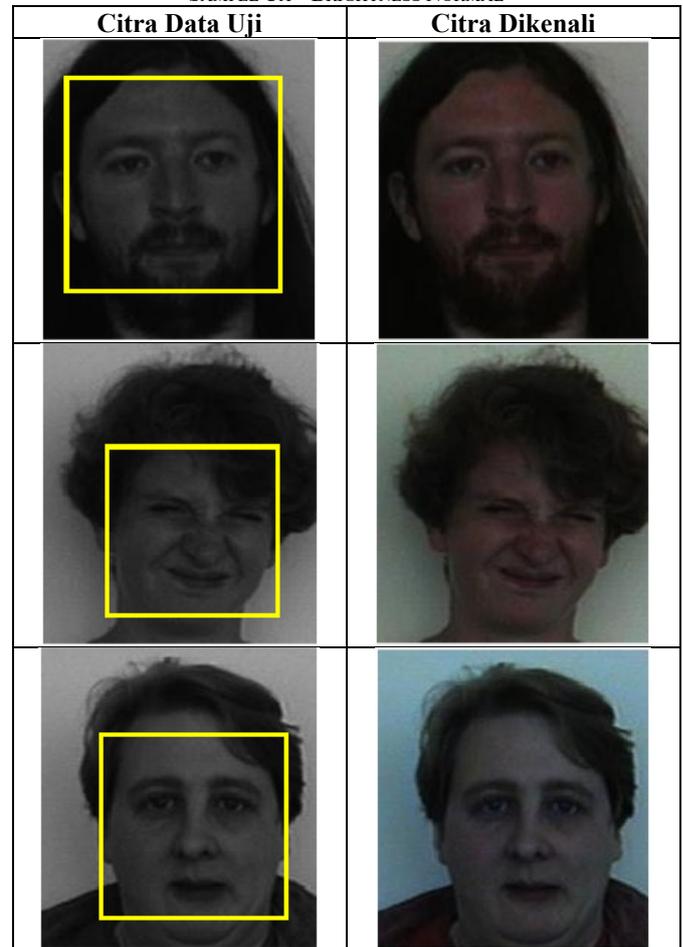
TABEL I
HASIL UJI

Citra Data Uji	Brightness Normal	Brightness -50
1.jpg	0	3540.1
2.jpg	0	5315.5
3.jpg	0	5855
4.jpg	0	6555.7
5.jpg	0	6849.4
6.jpg	0	6273
7.jpg	0	4875.5
8.jpg	0	6179.7
9.jpg	0	6052.9
10.jpg	0	5667.6
11.jpg	0	5858.1
12.jpg	0	5712.3
13.jpg	0	5870.2
14.jpg	0	5317
15.jpg	0	6536
16.jpg	0	5944.1
17.jpg	0	6121.7
18.jpg	0	6058.3
Rata – rata	0	5810,110

Hasil ujicoba diperkuat dengan adanya tampilan citra wajah yang ditunjukkan pada Tabel II. Tabel tersebut menunjukkan hasil dari pengenalan citra input atau citra data uji yang dipilih secara acak dengan citra dikenali. Terdiri dari 3(tiga) sampel yang diambil untuk mendukung keputusan pada analisis ujicoba I. Sampel uji menunjukkan bahwa citra asli memberikan hasil pengenalan wajah yang signifikan yaitu ditandai dengan “citra dikenali” memiliki karakteristik yang sama seperti fitur bentuk, dan ekspresi wajah. Dari ketiga sampel yang digunakan, semua citra uji menampilkan

kemiripan wajah antara citra data uji dengan citra dikenali. Hal ini membuktikan bahwa semakin rendah nilai *Euclidean distance* atau mendekati 0, maka semakin dekat atau semakin mirip fitur objek yang dikenali.

TABEL II
SAMPEL UJI – BRIGHTNESS NORMAL



Hasil percobaan selanjutnya yaitu sampel uji dengan penurunan level *brightness* pada citra data uji. Pada Tabel III, sampel uji menampilkan adanya perbedaan karakteristik wajah antara citra data uji dengan citra dikenali. Sebagai contoh, pada citra 1.jpg dan citra 2.jpg memiliki ekspresi wajah yang berbeda. Tingginya nilai jarak yang dihasilkan pada citra tersebut terbukti memberikan hasil citra dikenali berbeda ekspresi dengan citra data uji.

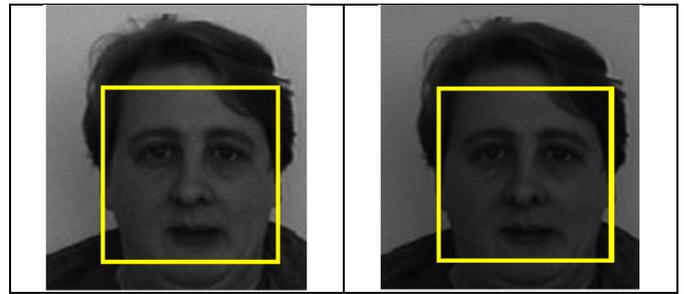
TABEL III
SAMPel UJI – BRIGHTNESS -50

Citra Data Uji	Citra Dikenali
	
	
	

Dari ujicoba yang dilakukan, teknik *bounding box* terbukti *robust* yaitu memiliki ketahanan yang kuat dalam menandai fitur wajah pada citra uji. Penurunan level *brightness* sebesar -50 tidak menandai objek yang salah atau wajah palsu.

TABEL IV
PERBANDINGAN KOTAK PEMBATA

Sampel Ujicoba I	Sampel Ujicoba II
	
	



Pada Tabel IV, menampilkan kotak pembatas menandai fitur wajah citra terdeteksi. Berdasarkan sampel uji citra yang digunakan, menunjukkan bahwa antara citra 1.jpg, 3.jpg dan 8.jpg ditandai dengan kotak pembatas sesuai dengan wajah yang dikenali. Penurunan level *brightness* -50 menjadikan ukuran kotak pembatas lebih kecil dibandingkan ukuran pada citra asli. Adanya penurunan level *brightness* menjadikan perbedaan nilai karakteristik dari citra wajah. Hal ini menjadi salah satu faktor ukuran kotak pembatas menjadi lebih kecil dibandingkan citra asli.

V. KESIMPULAN

Algoritma PCA yang diusulkan mampu mengenali citra wajah dengan sempurna. Pada ujicoba I, nilai jarak yang dihasilkan untuk semua citra uji adalah 0. Antara citra data uji dengan citra data latih. Berdasarkan hasil sampel uji juga menunjukkan bahwa dari citra uji yang digunakan menampilkan kemiripan citra input dengan citra dikenali. Untuk citra asli, algoritma PCA mampu mengenali citra wajah tanpa adanya kesalahan deteksi.

Implementasi *bounding box* pada algoritma PCA membantu dalam menandai wajah berdasarkan fitur wajah yang tepat sesuai data latih yang diberikan. Adanya penurunan level *brightness*, algoritma PCA dengan kotak pembatas mampu menandai fitur wajah yang dideteksi. Tidak terjadi kesalahan deteksi dalam eksperimen yang dilakukan. Algoritma PCA mampu menandai area wajah yang sama seperti hasilnya menggunakan citra asli. Meskipun ada perbedaan karakteristik wajah seperti ekspresi, namun Teknik yang diusulkan mampu mengenali individu yang sama.

Faktor pencahayaan terbukti memberikan pengaruh dalam mengenali area wajah dan ketepatan wajah. Ujicoba 2 (dua) merupakan eksperimen yang digunakan untuk menguji ketahanan dari algoritma PCA. Hasilnya memberikan nilai jarak yang signifikan berbeda dengan nilai jarak yang dihasilkan citra asli. Pada ujicoba 2, nilai jarak terkecil adalah 3540.1 dan nilai terbesar adalah 6849.4 dengan nilai rata-rata adalah 5810,110. Dari nilai jarak yang dihasilkan, membuktikan bahwa jarak terlalu besar antara citra uji dengan citra yang dikenali. Tingginya nilai jarak yang dihasilkan dapat menyebabkan pengenalan area wajah yang berbeda. Pada penelitian selanjutnya, perlu dipertimbangkan kombinasi Teknik atau metode lain untuk menghindari tingginya nilai jarak yang dihasilkan. Selain itu, kegagalan pengenalan wajah juga disebabkan adanya faktor resolusi citra yang digunakan. Perlu adanya pengaturan Teknik *bounding box* untuk menjaga ketahanan algoritma PCA pada faktor resolusi citra.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Minaee, A. Abdolrashidi, H. Su, M. Bennamoun, and D. Zhang, "Biometrics recognition using deep learning: a survey," *Artif Intell Rev*, vol. 56, no. 8, pp. 8647–8695, Aug. 2023, doi: 10.1007/s10462-022-10237-x.
- [2] A. L. Akbar, C. Faticah, and A. Saikhu, "FACE RECOGNITION USING DEEP NEURAL NETWORKS WITH THE COMBINATION OF DISCRETE WAVELET TRANSFORM, STATIONARY WAVELET TRANSFORM, AND DISCRETE COSINE TRANSFORM METHODS," *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 18, no. 2, p. 158, Jul. 2020, doi: 10.12962/j24068535.v18i2.a1000.
- [3] Y. Kortli, M. Jridi, A. Al Falou, and M. Atri, "Face Recognition Systems: A Survey," *Sensors*, vol. 20, no. 2, p. 342, Jan. 2020, doi: 10.3390/s20020342.
- [4] I. Adjabi, A. Ouahabi, A. Benzaoui, and A. Taleb-Ahmed, "Past, Present, and Future of Face Recognition: A Review," *Electronics (Basel)*, vol. 9, no. 8, p. 1188, Jul. 2020, doi: 10.3390/electronics9081188.
- [5] N. W. Pratiwi, F. Fauziah, S. Andryana, and A. Gunaryati, "Deteksi Wajah Menggunakan Hidden Markov Model (HMM) Berbasis Matlab," *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, vol. 3, no. 1, p. 44, Aug. 2018, doi: 10.30998/string.v3i1.2538.
- [6] Y. Yu, Q. Wang, and M. Jiang, "Discriminative common feature subspace learning for age-invariant face recognition," *IET Biom*, vol. 9, no. 4, pp. 136–142, Jul. 2020, doi: 10.1049/iet-bmt.2019.0104.
- [7] F. Sarasati, "Implementasi Metode Principal Component Analysis untuk Sistem Pengenalan Wajah," *Jurnal Infortech*, vol. 3, no. 2, pp. 152–156, Dec. 2021, doi: 10.31294/infortech.v3i2.11786.
- [8] G. E. Rani, S. M. M. P. Suresh, M. Abhiram, K. J. Surya, and B. Y. A. N. Kumar, "Face Recognition Using Principal Component Analysis," in *2022 2nd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)*, IEEE, Apr. 2022, pp. 932–936. doi: 10.1109/ICACITE53722.2022.9823434.
- [9] M. F. Hidayattullah, Y. Hapsari, M. Humam, and M. Nishom, "Automatic Face Mask Detector menggunakan Algoritma Viola and Jones," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 7, no. 1, pp. 32–36, Jun. 2022, doi: 10.30591/jpit.v7i1.3563.
- [10] Sunario Megawan and Wulan Sri Lestari, "Deteksi Spoofing Wajah Menggunakan Faster R-CNN dengan Arsitektur Resnet50 pada Video," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 3, pp. 261–267, Aug. 2020, doi: 10.22146/v9i3.231.
- [11] Lia Farokhah, "Perbandingan Metode Deteksi Wajah Menggunakan OpenCV Haar Cascade, OpenCV Single Shot Multibox Detector (SSD) dan DLib CNN," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 3, pp. 609–614, Jun. 2021, doi: 10.29207/resti.v5i3.3125.
- [12] H. Z. Ilimadina, D. Apriliani, and D. S. Wibowo, "Deteksi Pengendara Mengantuk dengan Kombinasi Haar Cascade Classifier dan Support Vector Machine," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, Jan. 2022, doi: 10.30591/jpit.v7i1.3346.
- [13] A. JAMHARI, "Perancangan Sistem Pengenalan Wajah Secara Real-Time pada CCTV dengan Metode Eigenface:," *Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications (INISTA)*, vol. 2, no. 2, pp. 20–32, May 2020, doi: 10.20895/inista.v2i2.117.
- [14] Sparsh, R. Aggarwal, S. Bhardwaj, and K. Sharma, "Face Recognition System Using Image Enhancement With PCA and LDA," in *2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, IEEE, Mar. 2022, pp. 1322–1327. doi: 10.1109/ICCMC53470.2022.9753787.
- [15] M. N. Kapse and S. Kumar, "Eye-referenced dynamic bounding box for face recognition using light convolutional neural network," *Intelligent Decision Technologies*, vol. 16, no. 2, pp. 369–377, Jun. 2022, doi: 10.3233/IDT-210127.
- [16] M. Taskiran, N. Kahraman, and C. E. Erdem, "Face recognition: Past, present and future (a review)," *Digit Signal Process*, vol. 106, p. 102809, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.dsp.2020.102809.
- [17] Y. Ren, X. Xu, G. Feng, and X. Zhang, "Non-Interactive and secure outsourcing of PCA-Based face recognition," *Comput Secur*, vol. 110, p. 102416, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.cose.2021.102416.
- [18] M. Zhao, Z. Jia, Y. Cai, X. Chen, and D. Gong, "Advanced variations of two-dimensional principal component analysis for face recognition," *Neurocomputing*, vol. 452, pp. 653–664, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2020.08.083.
- [19] D. Luo, G. Wen, D. Li, Y. Hu, and E. Huan, "Deep-learning-based face detection using iterative bounding-box regression," *Multimed Tools Appl*, vol. 77, no. 19, pp. 24663–24680, Oct. 2018, doi: 10.1007/s11042-018-5658-5.
- [20] S. Luo, X. Li, and X. Zhang, "Bounding-box deep calibration for high performance face detection," *IET Computer Vision*, vol. 16, no. 8, pp. 747–758, Dec. 2022, doi: 10.1049/cvi2.12122.
- [21] F. Amalya and S. Harlena, "Klasifikasi Buah Berkhasiat Obat Dengan Algoritme Euclidean Distance Menggunakan Ekstraksi Ciri Bentuk dan Tekstur," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 7, no. 2, pp. 67–73, May 2022, doi: 10.30591/jpit.v7i2.3688.