



Pengenalan sketsa wajah menggunakan principal component analysis sebagai aplikasi forensik

Face sketch recognition using principal component analysis for forensics application

Endina Putri Purwandari^{*)}, Aan Erlansari, Andang Wijanarko, Erich Adinal Adrian

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, Indonesia 38371

Cara sitasi: E. P. Purwandari, A. Erlansari, A. Wijanarko, and E. A. Adrian, "Pengenalan sketsa wajah menggunakan principal component analysis sebagai aplikasi forensik," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 3, pp. 178-184, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.2020.13422](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13422), [Online].

Abstract - Recognition of human faces in forensics applications can be identified through the Sketch recognition method by matching sketches and photos. The system gives five criminal candidates who have similarities to the sketch given. This study aims to perform facial recognition on photographs and sketches using principal Component Analysis (PCA) as feature extraction and Euclidean distance as a calculation of the distance of test images to training images. The PCA method was used to recognize facial images from pencil sketch drawings. The system dataset is in the form of photos and sketches in the CUHK Face Sketch database consists of 93 photos and 93 sketches, and personal documentation consists of five photos and five sketches. The sketch matching application to training data produces an accuracy of 76.14 %, precision of 91.04 %, and recall of 80.26 %, while testing with sketch modifications produces accuracy and recall of 95 % and precision of 100 %.

Keywords – sketch; face; principal component analysis; digital image; forensics application

Abstrak - Pengenalan wajah manusia dalam aplikasi forensik dapat dikenali melalui metode Sketch recognition dengan memadankan antara sketsa dan foto. Sistem tersebut memberikan lima kandidat pelaku kejahatan yang memiliki kemiripan dengan sketsa yang diberikan. Penelitian ini mengkaji pengenalan wajah dengan membandingkan sketsa dengan foto wajah menggunakan Principal Component Analysis (PCA) sebagai ekstraksi ciri dan jarak Euclidean sebagai perhitungan jarak citra uji dengan citra latih. Metode PCA digunakan untuk mengenali citra wajah dari gambar sketsa pensil. Dataset sistem ini berupa foto dan sketsa pada basis data CUHK Face Sketch sebanyak 93 foto dan 93 sketsa, dan dokumentasi pribadi sebanyak lima foto dan lima

sketsa. Aplikasi pencocokan sketsa dengan data latih menghasilkan akurasi sebesar 76,14 %, presisi sebesar 91,04 %, recall sebesar 80,26 %, sedangkan pengujian dengan modifikasi sketsa menghasilkan akurasi dan recall sebesar 95 %, dan presisi sebesar 100 %.

Kata kunci – sketsa; wajah, principal component analysis; citra digital; aplikasi forensik

I. PENDAHULUAN

Sketsa wajah digambarkan oleh seniman dengan menangkap karakteristik wajah manusia. Walaupun memiliki perbedaan dari foto dalam gaya dan penampilannya, sketsa dapat menjadi media untuk mengenali seorang individu. Perbedaan antara sketsa dan citra wajah ada dalam dua aspek, yaitu tekstur dan bentuk. Penggambaran sketsa dengan pensil di atas kertas memiliki tekstur berbeda dibandingkan dengan kulit yang diambil dari foto [1].

Pengenalan sketsa wajah dalam aplikasi forensik dapat menjadi salah satu alat bantu untuk menangkap dan mencari tersangka atau orang dalam daftar pencarian, selain metode sidik jari, dactyloscopie, metode balistik, dan metode deteksi kebohongan. Pengenalan sketsa ini dapat memberikan kandidat pelaku kejahatan yang memiliki kemiripan dengan sketsa yang diberikan [2]. Sketsa ini memuat gambar dan ciri-ciri yang spesifik dari tersangka atau terhadap penjahat pelarian yang belum diketahui identitasnya namun ciri-cirinya telah diketahui oleh saksi. Secara umum sistem pengenalan citra wajah dibagi menjadi dua jenis, yaitu berbasis fitur dan berbasis piksel citra. Sistem berbasis fitur melakukan ekstraksi dari komponen citra wajah seperti mata, hidung, dan mulut serta menghubungkan ciri-ciri tersebut secara geometris. Sistem piksel citra menggunakan informasi piksel dan direpresentasikan dengan metode tertentu untuk klasifikasi identitas citra [3].

Analisis dan pemodelan citra wajah merupakan bidang riset yang aktif dalam era *big data* saat ini. Beragam metode telah digunakan dalam penelitian citra wajah, di antaranya metode klasifier *parallel spatial*

^{*)} Penulis korespondensi (Endina Putri Purwandari)
Email: endinaputri@unib.ac.id

pyramid Convolutional Neural Network (CNN) untuk verifikasi kekerabatan berbasis citra wajah [4] dan identifikasi citra wajah dengan *Hidden Markov Model* (HMM) [5]. Aplikasi pengenalan citra sketsa wajah manusia juga telah dikembangkan dengan beberapa metode lain, di antaranya *Structure Co-occurrence Texture* (SCOOT) untuk evaluasi struktur spasial dan ko-okurensi tekstur [6], klasifier *Bayesian* [1], dan *Eigenface* [7]. Selain metode tersebut di atas, pengenalan foto wajah dapat dilakukan dengan metode PCA dan jaringan saraf [8], dan PCA dengan analisis multivariat dan jaringan saraf [9].

Di sisi lain, sketsa yang dilukis dengan pensil di atas kertas (*viewed sketches*) memiliki tekstur yang berbeda dibandingkan dengan kulit manusia yang diambil pada foto, terlebih dengan adanya tekstur bayangan untuk menyampaikan informasi bayangan 3D [7]. Berbeda dengan [1], [4]-[9] yang menggunakan data citra foto sebagai masukan, penelitian ini mengkaji aplikasi pengenalan wajah menggunakan dokumen hasil sketsa wajah (*viewed sketches*) sebagai masukan sistem dan dibandingkan dengan basis data foto wajah. Berbeda dengan [10] yang menggunakan LFDA, ekstraksi ciri dari sketsa dan foto wajah dalam kajian ini dilakukan dengan metode PCA. Pencocokan antara sketsa dan foto dilakukan dengan jaran Euclidean untuk menghitung jarak ciri keduanya. Aplikasi ini diharapkan dapat membantu pihak terkait untuk mencocokkan data sketsa dengan foto wajah dalam identifikasi seorang pelaku kriminalitas.

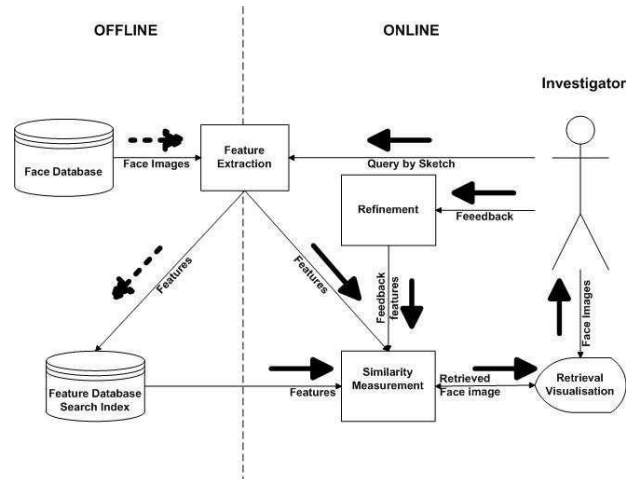
II. METODE PENELITIAN

A. Sketsa wajah sebagai aplikasi forensik

Sketsa wajah dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu *viewed sketches* yang dilukis dengan tangan saat melihat foto, *forensics sketches* yang dilukis oleh seniman forensik berdasarkan deskripsi dari saksi mata, dan *composite sketches* yang dibuat menggunakan perangkat lunak dengan operator yang memilih komponen wajah [2]. Proses pengenalan dalam kajian ini menggunakan dua pendekatan, yaitu *offline* dan *online* (Gambar 1) [11]. Dalam pendekatan *offline*, aplikasi melakukan ekstraksi fitur warna, bentuk, tekstur, dan informasi spasial dari masukan citra wajah dan menyimpannya dalam basis data fitur. Pada pendekatan *online*, setiap penyelidik dapat mencari dan mencocokkan masukan sketsa dengan citra wajah dan citra sketsa secara langsung. Sistem langsung mengekstraksi fitur yang sama pada kueri sketsa dan membandingkannya menggunakan algoritma pencarian kesamaan pada fitur gambar dan fitur sketsa.

B. Dataset citra

Data citra sketsa dan foto yang digunakan pada sistem ini terdiri dari citra database Chinese University of Hong Kong (CUHK) dan citra dokumentasi pribadi. Citra basis data sketsa wajah diunduh di laman CUHK [12]. Citra dari CUHK tersebut berjumlah 176 citra,



Gambar 1. Sistem pengenalan sketsa wajah [11]

yaitu terdiri dari 88 foto dan 88 sketsa wajah. Citra dokumentasi pribadi diambil menggunakan kamera Nikon D5200 dan foto tersebut dilukis sketsa dengan menggunakan pensil oleh seniman lukis yang berjumlah 10 citra, yaitu terdiri dari 5 foto dan 5 sketsa wajah.

C. Principal Component Analysis

PCA yang digunakan dalam kajian ini melakukan transformasi linear untuk menentukan sistem koordinat yang baru dari sebuah dataset. Teknik PCA ini mereduksi atau mengurangi informasi data yang besar dari sebuah citra wajah tanpa menghilangkan informasi yang ada pada sebuah citra wajah. Dalam algoritma PCA melakukan penguraian citra wajah ke dalam kumpulan fitur karakteristik (*Eigenface*). Citra dua dimensi dapat diubah menjadi satu dimensi dengan menggabungkan setiap baris atau kolom ke dalam vektor seperti dinyatakan dalam Persamaan 1 [13], [14]. Parameter M menyatakan vektor berukuran N dimana M adalah baris x kolom dari citra dan P_N menyatakan nilai piksel citra.

$$x_i = [p_1 \dots p_N]^T, i = 1, \dots, M \quad (1)$$

PCA melakukan perhitungan nilai rata-rata (m) dari sebuah citra menggunakan Persamaan 2. Parameter x_i menyatakan data ke- i dan n adalah jumlah data. Penghitungan nilai rata-rata ini bertujuan untuk memperoleh nilai rata-rata terpusat (*mean centered*) dengan mengurangi rata-rata citra dari setiap vektor citra yang dinyatakan dengan w_i dalam Persamaan 3.

$$m = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (2)$$

$$w_i = x_i - m \quad (3)$$

Persamaan 4 digunakan untuk menemukan sejumlah M vektor orthonormal pada w_i dengan e_i merupakan sejumlah proyeksi terbesar untuk setiap x_i . Nilai λ_i

dimaksimalkan dengan batasan ortonormalitas $e_i^T e_k^T = \delta_{ik}$.

$$\lambda_i = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (e_i^T w_n)^2 \quad (4)$$

Pencarian mencari nilai vektor *eigen* dan nilai *eigen* dari matriks kovarian dilakukan dengan Persamaan 5. Parameter *W* menyatakan matriks dekomposisi dari vektor kolom *w_i* dengan ukuran *C* sebesar *N* x *N*. Nilai vektor *e_i* dan skalar λ_i dapat diperoleh dengan memecahkan nilai *eigen* dan vektor *eigen* untuk *M* x *M* matriks *W^TW*. Parameter μ_i dan *d_i* merupakan vektor *eigen* dan nilai *eigen* dari *W^TW* seperti dinyatakan dalam Persamaan 6.

$$C = W W^T \quad (5)$$

$$W^T W d_i = \mu_i d_i \quad (6)$$

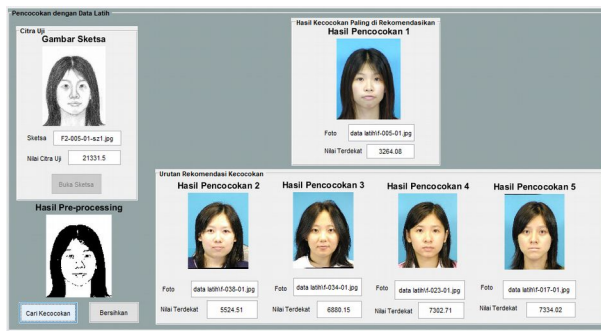
D. Jarak Euclidean

Tahap pengukuran similaritas pada Gambar 1 dilakukan untuk membandingkan fitur yang diekstraksi dari kueri sketsa dengan gambar wajah dalam basis data [15]. Fungsi pengukuran ini adalah untuk menentukan kesamaan atau ketidaksamaan dua vektor fitur. Tingkat kesamaan dinyatakan dengan skor atau peringkat. Semakin kecil nilai peringkat, maka semakin dekat kesamaan vektor tersebut [3]. Penghitungan jarak Euclidean dilakukan menggunakan Persamaan 7. Parameter *d_{Eucl}* menyatakan jarak Euclidean, *P_i* adalah pola citra latih, *Q_i* adalah pola citra uji, dan *N* adalah jumlah data latih.

$$d_{Eucl} = \sqrt{\sum_{k=1}^N (P_i - Q_i)^2} \quad (7)$$

E. Pengujian sistem

Dalam kajian ini, pengukuran akurasi, presisi, dan *recall* (sensitivitas) hasil pengenalan wajah pada foto dan sketsa dinyatakan dalam matriks konfusi. Akurasi ini menyatakan perbandingan antara pengenalan benar dari sketsa terhadap keseluruhan jumlah data sketsa dalam sistem (Persamaan 8). Penghitungan presisi digunakan untuk mengetahui efektivitas sistem dalam mengenali citra sketsa dan menyatakan rasio jumlah sketsa wajah yang berhasil dikenali secara tepat pada urutan pertama dan sketsa yang berhasil dikenali pada urutan kedua sampai kelima dibagi dengan jumlah data wajah yang tepat dalam basis data (Persamaan 9). Sensitivitas digunakan untuk mengetahui tingkat pengenalan citra sketsa yang positif (Persamaan 10). *TP* menyatakan jumlah data positif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem. *TN* menyatakan jumlah data negatif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem. *FN* menyatakan jumlah data negatif, namun terklasifikasi



Gambar 2. Halaman pencocokan sketsa dengan data latih

salah oleh sistem. *FP* menyatakan jumlah data positif namun terklasifikasi salah oleh sistem.

$$akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (7)$$

$$presisi = \frac{TP}{FP + TP} \quad (8)$$

$$sensitivitas = \frac{TP}{FN + TP} \quad (9)$$




















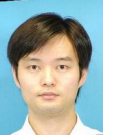
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem dimulai dengan pengguna memasukkan sebuah citra masukan berupa sketsa. Pada tahap awal, sistem melakukan prapemrosesan terhadap citra uji dengan mengubah citra dari citra RGB menjadi citra keabuan. Setelah itu, pada sketsa dan citra wajah dilakukan proses *thresholding* dan perubahan ukuran citra dari matriks dua dimensi menjadi satu dimensi. Ekstraksi fitur pada citra uji dan citra latih dilakukan menggunakan PCA yang menghasilkan nilai ciri wajah pada setiap gambar dalam bentuk *eigenface*. Tahap terakhir adalah menghitung jarak antara kedua hasil ekstraksi citra (citra latih dan citra uji) dengan metode jarak Euclidean. Sistem menampilkan citra dari data latih yang memiliki nilai pengenalan yang terdekat dengan sketsa.

A. Hasil pengujian sketsa wajah dengan data latih

Pengujian aplikasi dilakukan dengan memasukkan data sketsa sebagai masukan sistem. Aplikasi melakukan prapengolahan dari data masukan tersebut. Sistem mengenali sketsa wajah dengan menemukan kembali lima foto individu yang terdekat dengan citra masukan dan nilai kedekatannya. Antarmuka aplikasi pengenalan wajah pada foto dan sketsa ditunjukkan dalam Gambar 2. Halaman pengenalan sketsa dengan data latih mempunyai tiga buah tombol, yaitu tombol *Buka Sketsa* untuk mengambil berkas citra yang menjadi masukan sistem, tombol *Cari Kecocokan* untuk menjalankan proses pencarian lima foto hasil terdekat terhadap data latih, dan tombol *Bersihkan* untuk membersihkan tempat peletakan citra dan panel informasi agar dapat melakukan proses baru.

Tabel 1. Contoh hasil pengujian pengenalan sketsa wajah dengan data latih

No	Citra masukan	Citra keluaran	Hasil	No	Citra masukan	Citra keluaran	Hasil	No	Citra masukan	Citra keluaran	Hasil
1.			TP	9.			TP	17.			TP
2.			TP	10.			FN	18.			TP
3.			TP	11.			TP	19.			TP
4.			FN	12.			TP	20.			TN
5.			FP	13.			TP	21.			TN
6.			TP	14.			TP	22.			TP
7.			TP	15.			TP	23.			TP
8.			TP	16.			TP	24.			TP

Pengujian data latih dari sketsa wajah dilakukan terhadap 88 citra sketsa wajah individu yang berbeda. [Tabel 1](#) menunjukkan beberapa contoh hasil dari pengenalan menggunakan data latih sebanyak 24 dari total 88 data citra. Hasil pengujian terhadap seluruh data latih dinyatakan dalam [Tabel 2](#). Dengan menggunakan Persamaan 7 sampai Persamaan 9, pengujian citra latih menghasilkan nilai akurasi sebesar 76,14 %, presisi 91,04 %, dan sensitivitas sebesar 80,26 %.

Pada pengujian, hasil perhitungan yang dikatakan berhasil apabila kolom keterangan menunjukkan bahwa sketsa memiliki kecocokan dengan foto input. Sistem dianggap berhasil mengenali sketsa masukan jika dapat menemukan kembali foto wajah di antara urutan foto pertama hingga kelima. Penentuan kemiripan juga

Tabel 2. Hasil pengujian terhadap 88 data latih

Prediksi	Kondisi Riil		Total
	Positif	Negatif	
Positif	61	6	67
Negatif	15	6	21
Total	76	12	88

melibatkan pengguna dalam pengambilan keputusan. Sistem pengenalan citra sketsa wajah ini menggunakan nilai PCA dari citra yang dilatih dan diuji. Keadaan dalam sketsa dan foto yang berbeda, seperti kedalaman warna pada citra, menimbulkan adanya perbedaan dalam menentukan ciri wajah menggunakan metode PCA seperti halnya dalam [9], [10]. Ketidakberhasilan pada

sistem ini disebabkan karena pada tahap prapengolahan terdapat beberapa foto yang berbeda dengan sketsa sehingga pada penentuan jarak terdekat masih belum mendekati dengan nilai ekstraksi foto yang asli.

B. Pengenalan sketsa modifikasi dan data sketsa secara langsung

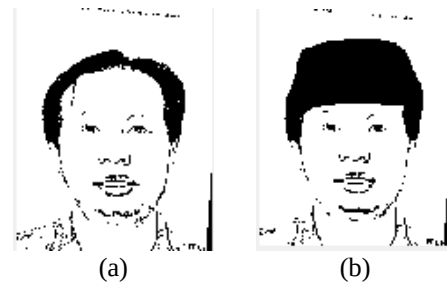
Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kemampuan sistem dalam mengenali kembali citra dengan masukan citra sketsa yang telah dimodifikasi. Bentuk-bentuk modifikasi yang dilakukan meliputi perubahan bentuk wajah, misalnya mata, hidung, dan bibir, penambahan kumis, perubahan bentuk rambut, penambahan kacamata, dan penambahan topi seperti ditunjukkan pada contoh di Gambar 3.

Pengujian sketsa wajah dilakukan secara langsung untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengenali sketsa tanpa. Gambar 4 menunjukkan antarmuka halaman pengenalan sketsa dan foto secara langsung dengan empat buah tombol, yaitu tombol Buka Sketsa, Buka Foto, Hitung Kecocokan, dan Bersihkan. Tombol Buka Sketsa digunakan untuk membuka berkas lokasi citra disimpan. Tombol Buka Foto memiliki fungsi untuk menampilkan foto pada tempat peletakkan citra. Tombol hitung kecocokan memiliki fungsi untuk menjalankan proses penghitungan kecocokan terhadap sketsa dan foto yang telah dimasukkan. Tombol Bersihkan memiliki fungsi untuk membersihkan tempat peletakan citra dan panel informasi agar dapat melakukan proses baru.

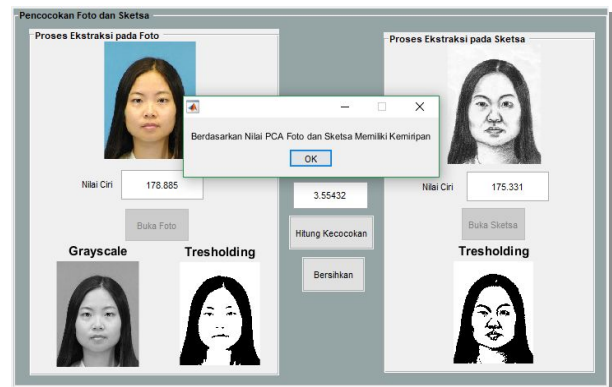
Hasil pengenalan wajah dengan sketsa uji dinyatakan dalam Tabel 3. Akurasi sistem mencapai 95 %, presisi 100 %, dan sensitivitas 95 %. Citra hasil pengenalan memiliki nilai *TP* yang tinggi karena sketsa dan foto yang telah diproses berdasarkan nilai ekstraksi ciri PCA, seperti proses yang dilakukan pada pencocokan dengan data latih, memiliki nilai jarak terbesar 6,63785. Nilai ambang yang digunakan untuk menentukan kecocokan adalah nilai 7,0 sebagai penetapan batas jarak kesamaan antara data citra foto dan sketsa.

Seperti halnya [9], hasil penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi citra sketsa yang berbeda dengan foto wajah, terutama pada data fitur warna, tekstur, dan proyeksi gambar. Walaupun demikian, identifikasi citra sketsa ini mempunyai akurasi yang lebih tinggi daripada aplikasi verifikasi kekerabatan dari foto wajah dengan CNN sebesar 66 % dalam [4], identifikasi dari foto wajah dengan HMM sebesar 77,7 % dalam [5], dan pengenalan foto wajah menggunakan PCA dan jaringan saraf sebesar 82,81 % dalam [8]. Selain itu, akurasi pengenalan citra sketsa menggunakan PCA dalam aplikasi ini sebanding dengan [1] yang menggunakan klasifier Bayesien dengan akurasi sebesar 97 %, namun lebih tinggi daripada aplikasi dalam [10] yang menggunakan metode LFDA sebesar 55–57 %, dalam [6] yang menggunakan SCOOT sebesar 78,8 %, dan dalam [7] yang menggunakan *eigenface* sebesar 73,27%.

Hasil pengujian pengenalan sketsa dengan menggunakan sketsa uji sejumlah 20 buah untuk



Gambar 3. Contoh hasil pengujian dengan sketsa modifikasi: (a) sketsa asli, dan (b) sketsa termodifikasi



Gambar 4. Halaman pencocokan foto dan sketsa secara langsung

Tabel 3. Hasil pengujian terhadap 20 sketsa uji








































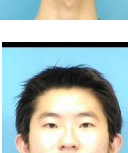
Prediksi	Kondisi Riil		Total
	Positif	Negatif	
Positif	19	0	19
Negatif	1	0	1
Total	20	0	20

dikenali secara langsung dinyatakan dalam Tabel 4. Sketsa uji masukan nomor 1 sampai 10 merupakan data citra latih yang dimodifikasi dengan penambahan fitur, nomor 11 sampai 15 merupakan data citra dari basis data CHUK yang tidak digunakan sebagai data latih, dan nomor 16 sampai 20 merupakan citra dari koleksi pribadi dengan subjek mahasiswa program studi Informatika Universitas Bengkulu. Foto koleksi pribadi diambil dengan kamera Nikon D5200 dan diolah menjadi sketsa oleh seniman dengan menggunakan pensil.

Sketsa pada nomor 5 belum berhasil dikenali kembali wajah individu oleh sistem. Hal ini disebabkan saat pengujian sketsa asli memiliki nilai PCA sebesar 8402,7 dan setelah sketsa tersebut dimodifikasi, maka nilai PCA berubah menjadi 5872,9. Selain itu, penentuan nilai PCA juga masih berdasarkan pada fitur warna dari citra. Ketika warna suatu citra diubah, maka nilai piksel dari citra tersebut juga berubah sehingga perhitungan kesamaan jarak antar data latih dan data uji menjadi berbeda karena modifikasi yang dibuat tersebut.

Penerapan metode PCA telah berhasil mengenali kembali citra sketsa dengan citra latih dan data di luar citra latih yang telah dimodifikasi. Berdasarkan hasil

Tabel 4. Hasil pengujian pengenalan sketsa wajah termodifikasi dan sketsa secara langsung

No	Citra masukan	Citra keluaran	Hasil	No	Citra masukan	Citra keluaran	Hasil	No	Citra masukan	Citra keluaran	Hasil
1.			TP	8.			TP	15.			TP
2.			TP	9.			TP	16.			TP
3.			TP	10.			TP	17.			TP
4.			TP	11.			TP	18.			TP
5.			FN	12.			TP	19.			TP
6.			TP	13.			TP	20.			TP
7.			TP	14.			TP				

eksperimen yang dilakukan, metode PCA memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Penelitian pengenalan sketsa wajah selanjutnya dapat berfokus untuk mengurangi jarak antara citra wajah dan sketsa forensik. Hal ini terkait dengan beberapa faktor, di antaranya analisis visual, kualitas sketsa, basis data citra wajah, dan teknologi pencocokan wajah. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi hasil pengenalan sketsa wajah juga perlu diperhatikan, seperti lingkungan pengambilan data citra, pencahayaan, posisi wajah atau pose, dan kualitas gambar sketsa [16]. Pengembangan pengenalan sketsa juga dapat menggunakan pendekatan lain, seperti

metode *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) dan dengan deskriptor lokal untuk fitur tekstur dengan *Modified Local Binary Patterns* (MLBP) dengan pendeskripsian yang lebih menyeluruh dan spesifik daripada PCA seperti dalam [17].

V. KESIMPULAN

Sistem pengenalan sketsa wajah dengan PCA ini berhasil mengenali kembali citra sketsa dengan masukan citra latih dan citra uji, yaitu berupa citra latih termodifikasi dan sketsa lukis tangan, dengan akurasi

yang tinggi, yaitu 76,14 % untuk pengujian dengan 88 citra sketsa latih dan 95 % pada pengujian dengan 20 citra sketsa uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Tang and X. Wang, "Face sketch synthesis and recognition," in *9th IEEE International Conference on Computer Vision*, Nice, France, Oct. 2003, pp.687-694. doi: [10.1109/ICCV.2003.1238414](https://doi.org/10.1109/ICCV.2003.1238414)
- [2] S. Nagpal, V. Mayank, and R. Singh, "Sketch recognition: what lies ahead?," *Image and Vision Computing*, vol. 55, no. 1, pp. 9-13, 2016. doi: [10.1016/j.imavis.2016.03.019](https://doi.org/10.1016/j.imavis.2016.03.019)
- [3] E. P. Purwandari, *Konsep dan Teori Pengolahan Citra Digital*. Universitas Bengkulu, Bengkulu: UNIB Press, 2018.
- [4] R. F. Rachmadi and I. K. E. Purnama, "Parallel spatial pyramid convolutional neural network untuk verifikasi kekerabatan berbasis citra wajah," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 6, no. 4, pp. 152-157, 2018. doi: [10.14710/jtsiskom.6.4.2018.152-157](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.6.4.2018.152-157)
- [5] A. R. Syakhala, D. Puspitaningrum, and E.P. Purwandari, "Perbandingan metode principal component analysis (PCA) dengan metode hidden markov model (HMM) dalam pengenalan identitas seseorang melalui wajah," *Rekursif: Jurnal Informatika*, vol. 3, no. 2, pp. 68-81, 2015.
- [6] F. Deng-Ping et al., "Face sketch synthesis style similarity: a new structure co-occurrence texture measure," *arXiv:1804.02975*, 2018.
- [7] S. Pratama and J. Adler, "Pengenalan wajah untuk pencarian data buronan melalui gambar sketsa," *Skripsi*, Universitas Komputer Indonesia, Bandung, Indonesia, 2016.
- [8] D. E. Pratiwi and Harjoko, A., "Implementasi pengenalan wajah menggunakan PCA (principal component analysis)," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentations System)*, vol. 3, no. 2, pp. 175-184, 2013.
- [9] R. V. Priya and S. V. Santhi, "PCA based face sketch synthesis using Eigen transformation," *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 5, no. 3, pp. 346-350, 2016.
- [10] U. T. Tayade, S. Biday, and L. Ragha, "Forensic sketch-photo matching using LFDA," *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 242-246, 2013.
- [11] S. E. Lahlali, A. Sadiq, and S. Mbarki, "Face sketch recognition system: a content based image retrieval approach," in *4th IEEE International Colloquium on Information Science and Technology (CIST)*, Tangier, Morocco, Oct. 2016, pp. 428-433. doi: [10.1109/CIST.2016.7805085](https://doi.org/10.1109/CIST.2016.7805085)
- [12] Chinese University of Hong Kong, "CUHK face sketch database (CUFS)," 2011. [Online]. Available: <http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/cufsf/>
- [13] R. Vidal, Y. Ma, and S. Sastry, "Generalized principal component analysis (GPCA)," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 27, no. 12, pp. 1945-1959, 2005. doi: [10.1109/TPAMI.2005.244](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2005.244)
- [14] K. I. Kim, K. Jung, and H. J. Kim, "Face recognition using kernel principle component analysis," *IEEE Signal Processing Letter*, vol. 9, no. 2, pp. 40-42, 2002. doi: [10.1109/97.991133](https://doi.org/10.1109/97.991133)
- [15] A. Selim and R. M. Haralick, "Probabilistic vs. geometric similarity measures for image retrieval," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Hilton Head Island, USA, Jun. 2000, pp. 357-362, doi: [10.1109/CVPR.2000.854847](https://doi.org/10.1109/CVPR.2000.854847)
- [16] A. Barbadekar and P. Kulkarni, "A survey of face recognition from sketches," *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, vol. 6, no. 3, pp. 150-158, 2016.
- [17] A. Tharwar, H. Mahdi, A. El-Hennawy, and A. E. Hassanien, "Face sketch recognition using local invariant features," in *th International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*, Fukuoka, Japan, Nov. 2015, pp. 117-122. doi: [10.1109/SOCPAR.2015.7492793](https://doi.org/10.1109/SOCPAR.2015.7492793)