



Sistem pengenalan wajah dengan algoritme PCA-GA untuk keamanan pintu rumah pintar menggunakan Raspberry Pi

Face recognition system with PCA-GA algorithm for smart home door security using Raspberry Pi

Subiyanto^{*)}, Dina Priliyana, Moh. Eki Riyadani, Nur Iksan, Hari Wibawanto

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Kampus Sekaran Gunungpati Semarang, Indonesia 50229

Cara sitasi: S. Subiyanto, D. Priliyana, M. E. Riyadani, N. Iksan, and H. Wibawanto, "Sistem pengenalan wajah berbasis algoritme cerdas untuk keamanan pintu rumah pintar menggunakan Raspberry Pi," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 3, pp. 210-216, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.2020.13590](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13590), [Online].

Abstract – Genetic algorithm (GA) can improve the classification of the face recognition process in the principal component analysis (PCA). However, the accuracy of this algorithm for the smart home security system has not been further analyzed. This paper presents the accuracy of face recognition using PCA-GA for the smart home security system on Raspberry Pi. PCA was used as the face recognition algorithm, while GA to improve the classification performance of face image search. The PCA-GA algorithm was implemented on the Raspberry Pi. If an authorized person accesses the door of the house, the relay circuit will unlock the door. The accuracy of the system was compared to other face recognition algorithms, namely LBPH-GA and PCA. The results show that PCA-GA face recognition has an accuracy of 90 %, while PCA and LBPH-GA have 80 % and 90 %, respectively.

Keywords – face recognition; genetic algorithm; principal component analysis; Raspberry Pi; smart home system

Abstrak – Algoritme genetika (GA) dapat meningkatkan proses klasifikasi pengenalan wajah pada algoritme principal component analysis (PCA). Namun, akurasi penerapan algoritme tersebut untuk sistem keamanan rumah pintar belum dianalisis lebih lanjut. Artikel ini mengkaji tingkat akurasi pengenalan wajah menggunakan PCA-GA untuk sistem keamanan rumah pintar pada Raspberry Pi. PCA digunakan sebagai algoritme pengenalan wajah. GA digunakan untuk meningkatkan kinerja klasifikasi pencarian citra wajah. Algoritme PCA-GA diimplementasikan di Raspberry Pi 3 model B untuk pemrosesan citra. Sensor ultrasonik dan modul kamera dipasang di Raspberry Pi. Cara kerja dari sistem adalah jika yang berwenang mengakses pintu rumah, maka relay akan membuka pintu. Evaluasi kinerja digunakan untuk mengukur

akurasi dari algoritme PCA-GA dibandingkan algoritme pengenalan wajah yang lain, yaitu LBPH-GA dan PCA. Hasil menunjukkan bahwa metode pengenalan wajah menggunakan PCA-GA memiliki tingkat akurasi yang besar, yaitu 90 %, dibandingkan algoritme PCA dan LBPH-GA dengan akurasi 80 % dan 90 %.

Kata kunci – algoritme genetika; pengenalan wajah; principal component analysis; Raspberry Pi; sistem rumah pintar

I. PENDAHULUAN

Rumah pintar menawarkan fleksibilitas bagi penghuninya [1]. Arsitektur rumah pintar ditentukan dari cara perangkat berinteraksi satu sama lain. Informasi dari sensor disimpan, diproses, dan pengguna dapat berinteraksi dengan perangkat atau sebaliknya [2]. Perangkat seperti keamanan rumah pintar ini sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari [3]. Salah satu aspek keamanan rumah pintar adalah kunci pintu rumah agar dapat membuka dan mengunci secara otomatis [4].

Beragam teknologi sistem keamanan telah banyak dikembangkan, di antaranya menggunakan sinar infra merah [5], Bluetooth [6], RFID [7], dan teknologi biometrik [8]. Teknik biometrik merupakan atribut intrinsik manusia yang tidak mudah digandakan. Oleh karena itu, teknik biometrik ini semakin mendapat perhatian untuk diimplementasikan di sistem keamanan [9]. Contoh implementasi dari metode biometrik adalah dengan sidik jari [10], iris mata [11], DNA [12], gestur tangan [13], tulisan tangan [14], dan pengenalan wajah [15]. Dari beberapa sistem biometrik tersebut, yang paling sedikit interaksi untuk identifikasi adalah metode pengenalan wajah [16].

Biaya pada metode pengenalan wajah untuk sistem keamanan rumah pintar dapat diminimalkan dengan menggunakan Raspberry Pi. Daya pikat dari Raspberry Pi berasal dari kombinasi ukuran komputer yang kecil seukuran kartu kredit dan harga yang terjangkau dibandingkan dengan komputer Linux yang lain. Raspberry Pi dapat digunakan untuk mengembangkan

^{*)} Penulis korespondensi (Subiyanto)
Email: subiyanto@mail.unnes.ac.id

arsitektur biometrik dengan menghubungkan pada kamera [17].

Dalam pengenalan wajah, algoritme *principal component analysis* (PCA) biasa digunakan untuk mereduksi dimensi citra [18]. PCA telah digunakan sebagai algoritme pengenalan wajah [19]–[24]. Dari beberapa kajian sebelumnya, algoritme PCA merupakan algoritme yang optimal dalam mereduksi dimensi tetapi tidak pada bidang pengklasifikasian. Namun, Zhi dan Liu [9] juga berpendapat bahwa algoritme PCA merupakan algoritme yang tidak optimal dalam melakukan pengklasifikasian dalam bidang pengenalan wajah.

Di sisi lain, *genetic algorithm* (GA) merupakan algoritme yang optimal dalam pengklasifikasian [25]. Selain itu, Al-Arashi et al. [26] menggunakan GA untuk meningkatkan kinerja klasifikasi di PCA, terutama dalam bidang pengenalan wajah. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode tersebut mempunyai akurasi lebih tinggi dengan waktu pengklasifikasian lebih cepat daripada PCA konvensional. Namun, kajian-kajian tersebut di atas belum banyak diterapkan untuk sistem keamanan pintu rumah yang diimplementasikan di Raspberry Pi.

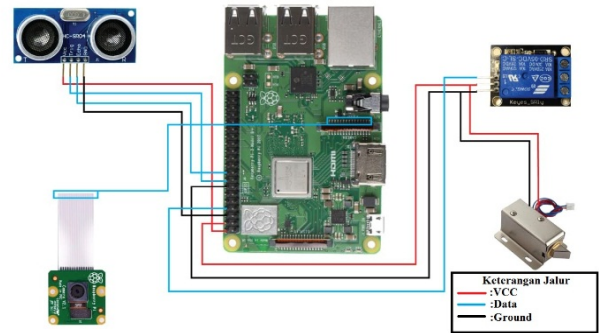
Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode pengenalan wajah berbasis PCA-GA pada keamanan pintu rumah pintar menggunakan Raspberry Pi dan mengukur akurasi dari algoritme tersebut. Sistem menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan manusia. Jika keberadaan manusia terdeteksi, kamera modul Raspberry Pi aktif dan mengambil citra wajah. Citra wajah digunakan sebagai pengenalan wajah. Citra wajah dibagi menjadi dua, yaitu citra latih dan citra uji. Citra latih dan uji diklasifikasikan dengan algoritme PCA-GA. Algoritme GA pada algoritme PCA digunakan sebagai penentu citra latih terbaik untuk dilakukan pengklasifikasian dengan citra uji. Waktu klasifikasi berkurang karena tidak semua citra latih digunakan. Operasi pada GA berupa inisialisasi populasi, seleksi, *crossover*, dan mutasi. Sistem akan membuka kunci pintu jika citra dikenali sebagai pemilik rumah.

II. METODE PENELITIAN

Pada bagian metode penelitian ini dijelaskan tahapan desain perangkat keras dan perangkat lunak, desain sistem, desain algoritme, implementasi, dan evaluasi kinerja.

A. Desain perangkat keras dan perangkat lunak

Diagram blok sistem pengenalan wajah ditunjukkan pada Gambar 1. Sensor ultrasonik digunakan sebagai pendeteksi keberadaan manusia dan kemudian untuk mengaktifkan modul kamera Raspberry Pi. Modul kamera Raspberry Pi digunakan untuk mengambil citra wajah yang digunakan sebagai deteksi dan pengenalan citra wajah. Sensor ultrasonik dan modul kamera dipasang di Raspberry Pi. Konfigurasi sistem dan



Gambar 1. Diagram blok pengenalan wajah menggunakan Raspberry Pi

Tabel 1. Konfigurasi dan spesifikasi sistem

No.	Nama	Konfigurasi / Spesifikasi
1.	Raspberry pi 3 model B	Quad Core 1.2GHz, 1GB RAM, 40-pin extended GPIO [27]
2.	OS	Noobs (Raspbian)
3.	Bahasa Pemrograman	Python 3.7.3
4.	Pustaka	Numpy
5.	Pustaka citra	Open CV 3.1.0

spesifikasi yang digunakan dalam kajian ini disajikan pada Tabel 1.

Raspberry Pi digunakan sebagai pemroses sinyal. Pengenalan wajah dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dan pustaka OpenCV dari citra. Algoritme yang digunakan adalah algoritme PCA-GA. Rangkaian relay berfungsi sebagai penggerak solenoid pada pintu. Jika seseorang yang berwenang mengakses pintu, maka solenoid terbuka. Sebaliknya, jika yang tidak berwenang mengakses pintu, maka solenoid tetap terkunci. Antarmuka komponen dan Raspberry Pi dinyatakan pada Tabel 2.

B. Desain sistem

Kerangka kerja dari sistem keamanan pintu ditunjukkan dalam Gambar 2. Pertama, sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan manusia. Jika keberadaan manusia terdeteksi, maka kamera aktif dan mengambil citra wajah. Pengambilan citra wajah menggunakan algoritme *haar cascade classification* [28]. Metode ini efektif untuk mendeteksi wajah seperti dinyatakan dalam [29]. Contoh dari deteksi wajah menggunakan *haar cascade classification* terlihat pada Gambar 3. Kotak biru menunjukkan hasil awal variasi ukuran citra wajah yang diambil. Setelah wajah terdeteksi, maka langkah selanjutnya yaitu pengenalan wajah menggunakan algoritme PCA-GA.

Langkah pertama untuk melakukan pengenalan wajah adalah menentukan citra latih. Penentuan citra latih dilakukan dengan menghitung nilai *principal component* dari setiap citra yang ada pada basis data

Tabel 2. Antarmuka komponen sistem dan Raspberry Pi

No	Komponen	Pinout (komponen)	Pinout (Rasberry Pi)	Tipe (Raspberry Pi)
1	Sensor ultrasonik	VCC, Trigger, Echo, Ground	Pinout 2, pinout 16, pinout 18, pinout 6	5V, GPIO 23, GPIO 24, Ground
2	Modul kamera Raspberry Pi	Port CSI	Port CSI	Input/ouput kamera
3	Relay	VCC, P in, Ground	pinout 4, Pinout 8, pinout 14	5V, GPIO 14, Ground

menggunakan algoritme PCA. Hasil *principal component* setiap citra pada basis data digunakan sebagai penentu citra latih yang digunakan. Dengan menggunakan GA, nilai *principal component* citra yang saling berdekatan atau sama terklasifikasi sehingga hanya salah satu dari citra yang memiliki *principal component* yang sama atau berdekatan tersebut saja yang digunakan sebagai citra latih.

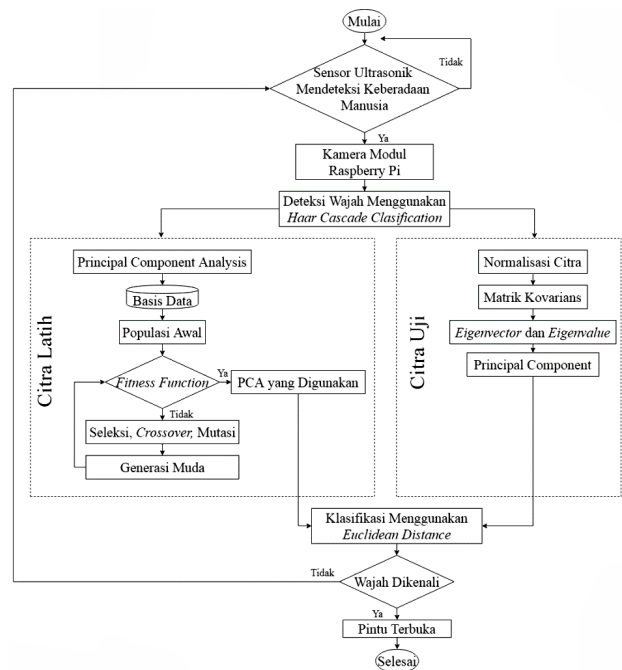
Setelah menentukan citra latih yang digunakan, langkah selanjutnya adalah melakukan citra uji. Citra uji diambil dari kamera secara langsung. Citra uji diproses menggunakan algoritme PCA untuk menghitung *principal component* dari citra uji. Hasil *principal component* citra uji diklasifikasikan dengan seluruh citra latih menggunakan jarak Euclidean. Apabila saat klasifikasi, hasil pengujian merupakan salah satu yang cocok dengan citra latih yang tersimpan di basis data, maka pintu terbuka dan kembali menutup lagi setelah 5 detik.

C. Desain algoritme

Proses dalam pengenalan wajah dibagi menjadi dua, yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. Proses pelatihan menggunakan algoritme PCA-GA dan proses pengujian menggunakan PCA. Penggunaan GA pada proses pelatihan dilakukan untuk mengurangi distribusi citra yang disimpan di basis data sehingga pada proses klasifikasi tidak semua citra pada basis data dilakukan pengklasifikasian. Proses pelatihan maupun proses pengujian langkah-langkah pada algoritme PCA pada sistem keamanan rumah pintar adalah sama. PCA digunakan juga untuk mereduksi citra dimensi seperti dalam [30]. GA digunakan untuk menemukan citra latih terbaik dari citra latih yang ada.

D. Implementasi

Kajian ini menggunakan data yang diambil dari modul kamera Raspberry Pi. Contoh dari data yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk sistem keamanan

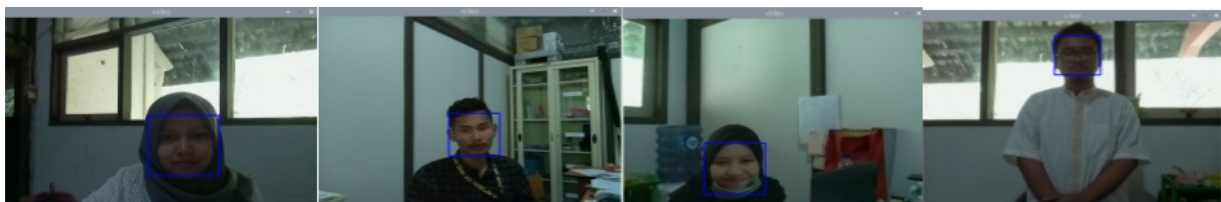


Gambar 2. Kerangka kerja sistem keamanan pintu rumah pintar menggunakan pengenalan wajah

pintu rumah adalah Python pada Raspberry Pi. OpenCV digunakan untuk mendukung pemrosesan citra. Setup dan aplikasi sistem keamanan pintu rumah menggunakan pengenalan wajah seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Kotak berisi Raspberry Pi, catu daya, relay, dan modul LM2596. Kamera modul Raspberry Pi dan sensor ultrasonik ditempatkan di depan kotak. Purwarupa sistem diletakkan di depan pintu dan terhubung dengan solenoid dimana solenoid akan terbuka jika orang yang berwenang mengakses pintu.

E. Evaluasi kinerja

Percobaan dilakukan di laboratorium untuk menemukan klasifikasi terbaik dalam citra pelatihan. Pada percobaan digunakan dataset citra wajah dari 8



Gambar 3. Contoh deteksi citra wajah menggunakan metode *haar cascade classification*

koresponden, dengan setiap koresponden memiliki 30 citra wajah. Hasil dari percobaan ini adalah menentukan citra wajah terbaik yang digunakan sebagai data pelatihan.

Untuk memvalidasi akurasi dari sistem keamanan pintu menggunakan pengenalan wajah dilakukan percobaan dengan sampel sebanyak 10 koresponden, yaitu 5 merupakan koresponden yang tersimpan dalam basis data dan sisanya merupakan koresponden yang tidak dikenal. Akurasi pengujian dihitung dengan Persamaan 1. Selain akurasi, kinerja lain yang dihitung adalah presisi, sensitivitas, spesifisitas, dan skor F1 yang masing-masing dinyatakan dalam Persamaan 2-5. Kinerja algoritme PCA-GA ini dibandingkan dengan *local binary pattern histogram* yang digabungkan dengan algoritme genetika (LBPH-GA) dan dengan PCA konvensional.

$$akurasi = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (1)$$

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$sensitivitas = TPR = recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$Spesifisitas = TNR = \frac{TN}{TN+FP} \quad (4)$$

$$Skor F1 = 2 \frac{(recall * presisi)}{(recall + presisi)} \quad (5)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

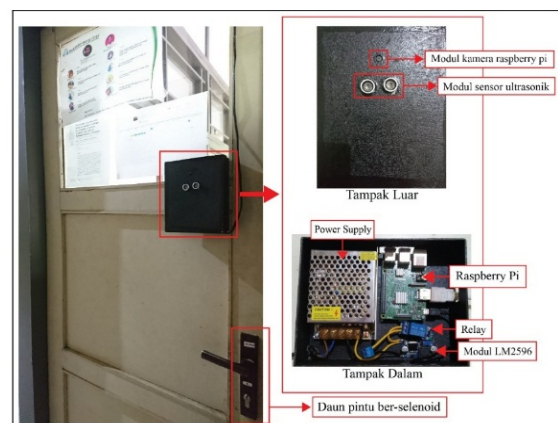
Dalam percobaan, dataset citra wajah dibagi menjadi 8 sub-dataset yang terdiri dari 30 citra. Semua sub-dataset yang berada di basis data merupakan citra yang digunakan sebagai citra latih. Namun, tidak semua citra latih digunakan pada sistem. Penggunaan algoritme genetika dilakukan untuk menemukan pendistribusian citra latih yang optimal pada algoritme PCA.

Algoritme pembandingan yang digunakan adalah LBPH-GA dan PCA konvensional dengan distribusi citra latih ditunjukkan pada Tabel 3. Pendistribusian citra latih pada algoritme PCA-GA paling sedikit dibandingkan dengan algoritme LBPH-GA dan PCA, yaitu sebanyak 116 citra untuk algoritme PCA-GA, 122 citra untuk algoritme LBPH-GA, dan 240 citra untuk algoritme PCA. Pendistribusian citra pada iterasi 1-100 ditunjukkan pada Gambar 6.

Kinerja algoritme dalam pengenalan wajah dinyatakan dalam Tabel 3. Jumlah citra uji yang digunakan untuk setiap algoritme berjumlah 10 citra, yaitu 5 citra yang ada pada basis data dan 5 citra tidak dalam basis data. Dari 10 citra uji yang digunakan dilakukan pengenalan dan mendapatkan nilai hasil perhitungan presisi, sensitivitas, spesifisitas, dan skor F1. Kinerja ketiga algoritme tersebut diperoleh dari hasil implementasi pengujian citra yang ada dalam basis data. Algoritme PCA mempunyai akurasi yang paling



Gambar 4. Citra yang digunakan pada proses pelatihan



Gambar 5. Setup dan aplikasi keamanan pintu rumah pintar menggunakan pengenalan wajah

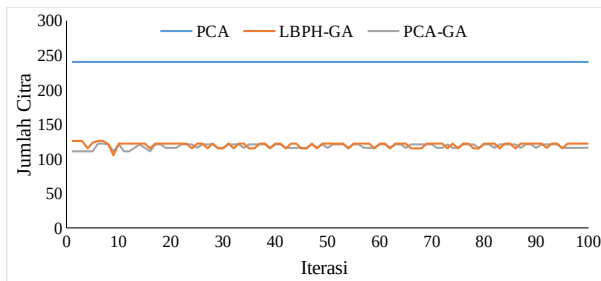
rendah dibandingkan dengan algoritme PCA-GA dan LBPH-GA, dengan akurasi 80 % untuk algoritme PCA dan masing-masing 90 % untuk algoritme PCA-GA dan LBPH-GA. Hal ini terjadi karena pada waktu pelatihan terjadi pengurangan citra dalam basis data pada algoritme PCA-GA dan LBPH-GA [26]. Hal tersebut membuat akurasi klasifikasi algoritme PCA-GA dan LBPH-GA lebih tinggi daripada PCA.

Hasil implementasi pengujian 10 citra menggunakan algoritme PCA-GA ditunjukkan dalam Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9. Gambar 7 mempresentasikan citra yang ada di basis data dengan hasil pengujian benar. Gambar 8 menunjukkan pengenalan citra yang tidak ada di basis data dengan hasil pengujian benar, sedangkan Gambar 9 mempresentasikan citra yang tidak ada di basis data dan diidentifikasi sebagai citra yang ada di basis data.

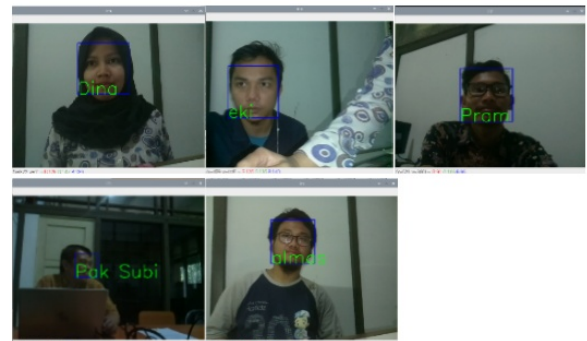
Dalam [31] dinyatakan bahwa proses pelatihan mempengaruhi tingkat akurasi, yaitu semakin lama pelatihan, maka diharapkan proses klasifikasi akan lebih akurat. Hal tersebut selaras dengan [32] yang menyatakan bahwa LBPH memiliki tingkat akurasi

Tabel 3. Perbandingan metode PCA-GA dengan PCA dan LBPH-GA

Model Algoritme	Distribusi Citra	Waktu Pelatihan (detik)	TP	TN	FP	FN	Presi (%)	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Skor F1 (%)	Akurasi (%)
PCA	240	-	3	5	0	2	100	60	100	75	80
LBPH-GA	122	490,57	5	4	1	0	83,33	100	80	90,90	90
PCA-GA	116	465,05	5	4	1	0	83,33	100	80	90,90	90



Gambar 6. Pendistribusian citra yang digunakan pada algoritme PCA, LBPH-GA, dan PCA-GA



Gambar 7. Citra yang ada di basis data dengan hasil pengujian benar

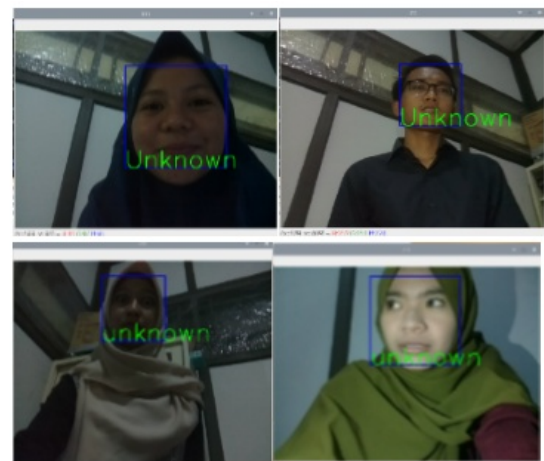
lebih tinggi dibandingkan PCA. Namun, dalam kajian ini tingkat akurasi PCA-GA sama dengan tingkat akurasi LBPH-GA. Hal ini menunjukkan bahwa algoritme GA dapat digunakan untuk mengoptimalkan pendistribusian citra latih, baik pada algoritme PCA maupun LBPH. Hasil ini sesuai dengan [26] yang menyatakan bahwa GA dapat mengoptimalkan distribusi citra.

Selain itu, waktu yang dibutuhkan sistem untuk proses pelatihan citra adalah 465,05 detik untuk algoritme PCA-GA dan 490,57 detik untuk algoritme LBPH-GA. Dengan demikian, waktu pelatihan citra pada algoritme PCA-GA relatif lebih cepat daripada algoritme LBPH-GA.

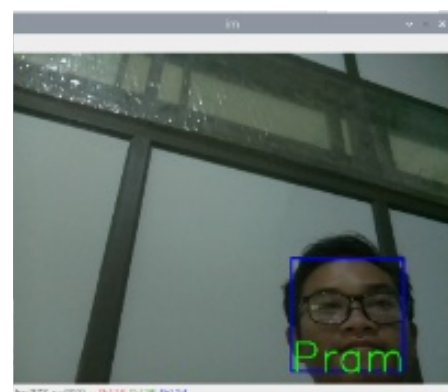
Kajian ini menggunakan algoritme PCA-GA untuk metode pengenalan wajah yang digunakan sebagai sistem keamanan pintu rumah pintar. Hasil percobaan menunjukkan tingkat akurasi dari algoritme PCA-GA mengungguli PCA pada sistem keamanan pintu rumah menggunakan Raspberry Pi. Percobaan yang dilakukan memiliki hasil yang sama dengan yang dilakukan oleh Al-Arashi et al. [26] bahwa algoritme PCA-GA mengungguli PCA dalam hal akurasi. Namun, kajian tersebut belum diimplementasikan untuk sistem keamanan.

IV. KESIMPULAN

Algoritme PCA-GA dapat diimplementasikan pada sistem keamanan rumah menggunakan Raspberry Pi dengan akurasi mencapai 90% dengan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pelatihan selama 465,05 detik terhadap 116 citra latih. Sistem mempunyai presisi, sensitivitas, spesifisitas dan skor F1 berturut-turut sebesar 83,33 %, 100 %, 80 %, dan 90,90 %.



Gambar 8. Citra yang tidak ada di basis data dengan hasil pengujian benar



Gambar 9. Citra yang tidak ada di basis data dengan hasil pengujian salah

UCAPAN TERIMA KASIH

Pekerjaan ini didukung oleh UEESRG (UNNES Electrical Engineering Research Group), Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang yang telah memfasilitasi penelitian ini. Penelitian ini juga didukung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Negeri Semarang di bawah hibah 32.11.4/UN37/PPK.4.5/2018 dan dana penelitian hibah sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. G. Hanssen and S. J. Darby, “‘Home is where the smart is’? evaluating smart home research and approaches against the concept of home,” *Energy Research & Social Science*, vol. 37, pp. 94–101, 2018. doi: [10.1016/j.erss.2017.09.037](https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.037)
- [2] D. Mocrii, Y. Chen, and P. Musilek, “IoT-based smart homes: a review of system architecture, software, communications, privacy and security,” *Internet of Things*, vol. 1, no. 2, pp. 81–98, 2018. doi: [10.1016/j.iot.2018.08.009](https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.009)
- [3] K. Lian, S. Hsiao, and W. Sung, “Smart home safety handwriting pattern recognition with innovative technology,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 40, pp. 1123–1142, 2014. doi: [10.1016/j.compeleceng.2014.02.010](https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2014.02.010)
- [4] T. S. Gunawan, M. H. H. Gani, F. D. A. Rahman, and M. Kartiwi, “Development of face recognition on Raspberry Pi for security enhancement of smart home system,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 5, no. 4, pp. 317–325, 2017. doi: [10.11591/ije.v5i4.361](https://doi.org/10.11591/ije.v5i4.361)
- [5] K. Dhondge, K. Ayinala, B. Choi, and S. Song, “Infrared optical wireless communication for smart door locks using smartphones,” in *2016 12th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks*, Hefei, China, Dec. 2016, pp. 251–257. doi: [10.1109/MSN.2016.047](https://doi.org/10.1109/MSN.2016.047)
- [6] M. S. Hadis, E. Palantei, A. A. Ilham, and A. Hendra, “Design of smart lock system for doors with special features using bluetooth technology,” in *2018 International Conference on Information and Communications Technology*, Yogyakarta, Indonesia, Mar. 2018, pp. 396–400. doi: [10.1109/ICOIACT.2018.8350767](https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350767)
- [7] L. Kamelia, M. R. Effendi, and D. F. Pratama, “Integrated smart house security system using sensors and RFID (door and lighting automation),” in *4th International Conference on Wireless and Telematics*, Nusa Dua, Indonesia, Jul. 2018, pp. 1–5. doi: [10.1109/ICWT.2018.8527803](https://doi.org/10.1109/ICWT.2018.8527803)
- [8] H. Ai and X. Cheng, “Research on embedded access control security system and face recognition system,” *Measurement*, vol. 123, pp. 309–322, 2018. doi: [10.1016/j.measurement.2018.04.005](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.005)
- [9] H. Zhi and S. Liu, “Face recognition based on genetic algorithm,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 58, pp. 495–502, 2019. doi: [10.1016/j.jvcir.2018.12.012](https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2018.12.012)
- [10] N. Meenakshi, M. Monish, K. J. Dikshit, and S. Bharath, “Arduino based smart fingerprint authentication system,” in *1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology*, Chennai, India, Apr. 2019, pp. 1–7. doi: [10.1109/ICIICT1.2019.8741459](https://doi.org/10.1109/ICIICT1.2019.8741459)
- [11] R. Shelke and S. B. Bagal, “Iris recognition system: a novel approach for biometric authentication,” in *3th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation*, Pune, India, Aug. 2017, pp. 1–5. doi: [10.1109/ICCUBEA.2017.8463819](https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2017.8463819)
- [12] M. Wang, E. J. Mcintee, G. Cheng, Y. Shi, P. W. Villalta, and S. S. Hecht, “Identification of DNA adducts of acetaldehyde,” *Chemical Research in Toxicol*, vol. 13, no. 11, pp. 1149–1157, 2000. doi: [10.1021/tx000118t](https://doi.org/10.1021/tx000118t)
- [13] D. Dinh, J. T. Kim, and T. Kim, “Hand gesture recognition and interface via a depth imaging sensor for smart home appliances,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 576–582, 2014. doi: [10.1016/j.egypro.2014.12.419](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.419)
- [14] J. F. Ajao, D. O. Olawuyi, and O. O. Odejobi, “Yoruba handwritten character recognition using freeman chain code and k-nearest neighbor classifier,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 6, no. 4, pp. 129–134, 2018. doi: [10.14710/jtsiskom.6.4.2018.129-134](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.6.4.2018.129-134)
- [15] R. Subban, D. Mankame, S. Nayeem, P. Pasupathi, and S. Muthukumar, “Genetic algorithm based human face recognition,” in *International Conference on Advances in Communication, Network, and Computing*, Chennai, India, Feb. 2014, pp. 417–426.
- [16] T. O. Majekodunmi and F. E. Idachaba, “A review of the fingerprint, speaker recognition, face recognition and iris recognition based biometric identification technologies,” in *Proceedings of The World Congress on Engineering 2011*, London, UK, Jul. 2011, pp. 1–7.
- [17] D. Shah and V. Bharadi, “IoT based biometrics implementation on Raspberry Pi,” in *International Conference on Communication, Computing and Virtualization*, Mumbai, India, Feb. 2016, pp. 328–336. doi: [10.1016/j.procs.2016.03.043](https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.043)
- [18] C. Zhou, L. Wang, Q. Zhang, and X. Wei, “Face recognition based on PCA and logistic regression analysis,” *Optik*, vol. 125, pp. 5916–5919, 2014. doi: [10.1016/j.jpleo.2014.07.080](https://doi.org/10.1016/j.jpleo.2014.07.080)
- [19] L. Chengyuan, Z. Ting, D. Dongsheng, and L. Chongshan, “Design and application of compound kernel-PCA algorithm in face recognition,” in *35th Chinese Control Conference*, Chengdu, China, Jul. 2016, pp. 4122–4126. doi: [10.1109/ChiCC.2016.7553997](https://doi.org/10.1109/ChiCC.2016.7553997)
- [20] S. S. Meher and P. Maben, “Face recognition and facial expression identification using PCA,” in *2014 IEEE International Advance Computing Conference*, Gurgaon, India, Feb. 2014, pp. 1093–1098. doi: [10.1109/IAdCC.2014.6779478](https://doi.org/10.1109/IAdCC.2014.6779478)

- [21] E. I. Abbas, M. E. Safi, and K. S.Rijab, "Face recognition rate using different classifier methods based on PCA," in *2017 International Conference on Current Research in Computer Science and Information Technology*, Slemani, Iraq, Apr. 2017, pp. 37–40. doi: [10.1109/CRCST.2017.7965559](https://doi.org/10.1109/CRCST.2017.7965559)
- [22] B. S. D. Mangala and N. B. Prajwala, "Facial expression recognition by calculating euclidian distance for eigen faces using PCA," in *International Conference on Communication and Signal Processing*, India, April. 3-5, 2018, pp. 244–248.
- [23] A. L. Ramadhani, P. Musa, and E. P. Wibowo, "Human face recognition application using PCA and eigenface approach," in *2017 Second International Conference on Informatics and Computing*, Jayapura, Indonesia, Nov. 2017, pp. 1-5. doi: [10.1109/IAC.2017.8280652](https://doi.org/10.1109/IAC.2017.8280652)
- [24] C. Li, J. Liu, A. Wang, and K. Li, "Matrix reduction based on generalized PCA method in face recognition," in *2014 International Conference on Digital Home*, Guangzhou, China, Nov. 2014, pp. 35–38. doi: [10.1109/ICDH.2014.14](https://doi.org/10.1109/ICDH.2014.14)
- [25] O. Somantri and S. Wiyono, "Peningkatan akurasi klasifikasi tingkat penguasaan materi bahan ajar menggunakan jaringan syaraf tiruan dan algoritma genetika," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 5, no. 4, pp. 147–152, 2017. doi: [10.14710/jtsiskom.5.4.2017.147-152](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.5.4.2017.147-152)
- [26] W. H. Al-arashi, H. Ibrahim, and S. A. Suandi, "Optimizing principal component analysis performance for face recognition using genetic algorithm," *Neurocomputing*, vol. 128, pp. 415–420, 2014. doi: [10.1016/j.neucom.2013.08.022](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.08.022)
- [27] "Raspberry Pi 3 model B," raspberrypi.org. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [28] K. Yelne, "Face recognition using Raspberry Pi," Github, 2019. [Online]. Available: <https://github.com/kunalyelne/Face-Recognition-using-Raspberry-Pi/tree/master/>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [29] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2001*, Kauai, USA, Dec, 2001, pp. 1–9. doi: [10.1109/CVPR.2001.990517](https://doi.org/10.1109/CVPR.2001.990517)
- [30] S. C. Ng, "Principal component analysis to reduce dimension on digital image," *Procedia Computer Science*, vol. 111, pp. 113–119, 2017. doi: [10.1016/j.procs.2017.06.017](https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.017)
- [31] A. Desiani, "Kajian pengenalan wajah dengan menggunakan metode face-ARG dan jaringan syaraf tiruan backpropagation," *Media Informatika.*, vol. 5, no. 2, pp. 99–111, 2007.
- [32] H. Simaremare and A. Kurniawan, "Perbandingan akurasi pengenalan wajah menggunakan metode LBPH dan eigenface dalam mengenali tiga wajah sekaligus secara real-time," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri.*, vol. 14, no. 1, pp. 66–71, 2016.