
SISTIM PENGENALAN WAJAH MANAHASISWA BERBASIS SMARTPHONE ANDROID DENGAN METODE EIGENFACE (STUDI KASUS: STMIK PPKIA PRADNYA PARAMITA MALANG)

Feriyal Septiawan Susanto, Mahmud Yunus dan Linda Suvi Rahmawati
STMIK PPKIA Pradnya Paramita (STIMATA)
Jl. Laksda Adi Sucipto 249A, Malang, Jawa Timur
{feriyalsusanto, myoenoes}@gmail.com, linda@stimata.ac.id

ABSTRAK

Memasuki Revolusi Industri 4.0, maka segala hal yang berhubungan dengan teknologi pembelajaran konvensional bisa dialihkan ke pembelajaran digital. Salah satunya adalah sistim presensi. Pembelajaran digital yang akan dijadikan penelitian disini adalah mengubah metode konvensional penggunaan kertas untuk presensi ke metode digital yaitu Sistim Presensi Berbasis Android. Metode yang digunakan adalah metode Eigenface. Metode Eigenface berfungsi untuk menghitung eigenvalue dan eigenvector yang akan digunakan sebagai fitur dalam melakukan pengenalan. Metode euclidean distance digunakan untuk mencari jarak dengan data fitur yang telah didapat, dan jarak terkecil adalah hasilnya. Eigenface adalah suatu metode pengenalan wajah yang berdasarkan pada algoritma Principal Component Analysis (PCA). Data penelitian yang digunakan adalah citra digital dari wajah 20 responden mahasiswa dengan masing-masing 5 citra wajah dengan 5 perlakuan yang berbeda. Hasil pengujian tingkat keakuratan pengenalan wajah dengan metode Eigenface yang diimplementasikan pada perangkat smartphone android dalam penelitian ini, menunjukkan hasil akurasi berdasarkan posisi wajah sebesar 70%; berdasarkan tingkat pencahayaan sebesar 90%; berdasarkan mimik muka sebesar 80% dan akurasi berdasarkan atribut Kacamata pada wajah sebesar 90%. Rata-rata tingkat akurasi pengenalan wajah menggunakan metode Eigenface sebesar 80%. Performa akurasi yang cukup baik tersebut membuktikan bahwa menggunakan metode yang diusulkan dalam penelitian ini dapat menjadi metode alternatif untuk pengenalan wajah secara digital.

Kata Kunci : *Android, Eigenface, Pengenalan Wajah, Principal Component Analysis*

PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada era dimana terjadi perpaduan teknologi yang mengakibatkan dimensi fisik, biologis, dan digital membentuk suatu perpaduan yang sulit untuk dibedakan [1]. Hidup dalam era perkembangan teknologi informasi saat ini, memberikan kemudahan dalam berbagai bidang. Sejalan dengan hal itu diperlukan sumber daya manusia (SDM) yang mampu mendayagunakan kemampuannya di segala bidang, khususnya di bidang teknologi informasi [2], menegaskan bahwa teknologi digital adalah hal yang paling memengaruhi sistim pendidikan di dunia saat ini. Hal ini disebabkan karena aspek efektivitas, efisiensi dan daya tarik yang ditawarkan oleh pembelajaran berbasis teknologi digital.

Istilah Revolusi Industri diperkenalkan oleh Friedrich Engels dan Louis-Auguste Blanqui di pertengahan abad ke-19. Revolusi industri ini pun sedang

berjalan dari masa ke masa. Dekade terakhir ini sudah dapat disebut memasuki fase ke empat 4.0. Perubahan fase ke fase memberi perbedaan artikulatif pada sisi kegunaannya. Fase pertama (1.0) bertempuh pada penemuan mesin yang menitikberatkan (*stressing*) pada mekanisasi produksi. Fase kedua (2.0) sudah beranjak pada etape produksi massal yang terintegrasi dengan *quality control* dan standardisasi. Fase ketiga (3.0) memasuki tahapan keseragaman secara massal yang bertumpu pada integrasi komputerisasi. Fase keempat (4.0) telah menghadirkan digitalisasi dan otomatisasi perpaduan internet dengan manufaktur [3].

Era Revolusi Industri 4.0 telah mendorong segala hal yang berhubungan dengan teknologi konvensional bisa dialihkan ke sistim digital, salah satunya adalah sistim presensi dalam perkuliahan. Sistim presensi yang digunakan saat ini di STMIK PPKIA Pradnya Paramita Malang sebagai tempat objek penelitian masih

menggunakan metode konvensional, yaitu dengan kertas. Penggunaan kertas yang tidak efisien akan berdampak negatif bagi lingkungan, karena semakin sering penggunaan kertas maka semakin banyak pohon yang akan ditebang untuk menjadi bahan baku pembuatan kertas.

Usulan pembaharuan yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah bagaimana mengubah metode presensi mahasiswa yang dilakukan secara konvensional dengan penggunaan kertas ke metode presensi digital yang efisien dan akurat dengan bantuan perangkat *smartphone* berbasis sistem operasi *Android*. Sistem presensi mahasiswa yang diusulkan dalam penelitian ini adalah sistem presensi berdasarkan pengenalan wajah mahasiswa menggunakan metode *eigenface* yang diimplementasikan dalam sebuah perangkat *smartphone* dengan sistem operasi *Android*. Penggunaan perangkat *smartphone Android* dalam penelitian ini didasari pada fakta bahwa pertumbuhan pengguna perangkat *mobile* yang berkembang pesat dan mencapai 117,9 juta pengguna, dengan tingkat penetrasi mencapai 67% [4]. Peningkatan tersebut dikarenakan *smartphone* dapat menjadi alat bantu untuk melakukan aktifitas sehari – hari.

Metode *eigenface* yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menghitung *eigenvalue* dan *eigenvector* yang akan digunakan sebagai fitur dalam melakukan pengenalan wajah. Metode *euclidean distance* digunakan untuk mencari jarak dengan data fitur yang telah didapat, dan jarak terkecil adalah hasilnya [5]. *Eigenface* adalah suatu metode pengenalan wajah yang berdasarkan pada algoritma *Principal Component Analysis (PCA)* [6].

Algoritma *eigenface* yang digunakan adalah algoritma yang berasal dari *OpenCv*, dimana *OpenCv* tersebut adalah sebuah *library open source* yang bebas untuk digunakan dalam hal pengembangan sebuah sistem untuk pengenalan wajah. Metode ini akan digunakan sebagai sistem keamanan dalam melakukan presensi di dalam aplikasi, yaitu dengan validasi wajah pengguna yang akan dicocokkan dengan *database* untuk meminimalkan kecurangan dalam hal presensi. Agar tingkat validasi presensi

akurat penggunaan presensi ini hanya bisa dilakukan di *smartphone Android* milik dosen pengajar. Selain validasi wajah mahasiswa juga wajib mengisi *form* yang di dalamnya terdapat tanda tangan digital sebagai bukti bahwa mahasiswa yang bersangkutan masuk kelas perkuliahan pada saat itu. Jadi, dengan sistem presensi yang sedemikian rupa diharapkan mahasiswa tidak akan melakukan kecurangan dan meningkatkan kedisiplinan untuk datang ke perkuliahan.

Dengan beberapa poin masalah yang telah dijelaskan diatas, peneliti memiliki tujuan utama yaitu membuat aplikasi yang dapat mengenali citra wajah manusia dan mengusulkan metode alternatif sebagai pengganti metode konvensional presensi.

METODE PENELITIAN

A. Analisis Permasalahan

Permasalahan yang sering dihadapi dalam proses presensi metode konvensional ini adalah kecurangan yang sering dilakukan oleh mahasiswa terkait, yaitu dengan cara memalsukan tanda tangan. Selain dari sisi mahasiswa/i, masalah juga sering timbul dari sisi dosen. Dosen sering lupa dalam memverifikasi ulang presensi kelas, yaitu dengan cara memanggil nama-nama yang telah mengisi presensi.

B. Solusi yang Diusulkan

Berdasarkan celah kelemahan dari sistem presensi konvensional, dimana masih dapat dimanipulasi dengan cara menitipkan tanda tangan sebagai bukti kehadiran diperkuliahan ke teman atau mahasiswa lainnya, maka solusi yang dapat diusulkan adalah dengan cara membangun sebuah sistem yang dapat mencegah terjadinya kecurangan dalam pengisian presensi. Solusi yang ditawarkan berbentuk sebuah aplikasi *android* dengan memanfaatkan teknologi pemindaian wajah menggunakan metode *eigenface*.

C. Studi Literatur

Mempelajari penelitian yang sudah ada terlebih dahulu, artikel konferensi, artikel *website*, jurnal ilmiah, buku-buku dan

sumber referensi lain yang berkaitan dengan metode *eigenface* dan penelitian tentang presensi.

D. Tahap Perhitungan Metode *Eigenface*

Menurut penelitian dari [7] algoritma *eigenface* secara keseluruhan cukup sederhana. *Image* matriks (Γ) direpresentasikan ke dalam sebuah himpunan matriks ($\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M$). Cari nilai rata-rata (Ψ) dan gunakan untuk mengekstraksi *eigenvector* (v) dan *eigenvalue* (λ) dari himpunan matriks. Gunakan nilai *eigenvector* untuk mendapatkan nilai *eigenface* dari *image*. Apabila ada sebuah *image* baru atau *test face* (Γ_{new}) yang ingin dikenali, proses yang sama juga diberlakukan untuk *image* (Γ_{new}), untuk mengekstraksi *eigenvector* (v) dan *eigenvalue* (λ), kemudian cari nilai *eigenface* dari *image test face* (Γ_{new}). Setelah itu barulah *image* baru (Γ_{new}) memasuki tahapan pengenalan dengan menggunakan metode *euclidean distance*. Tahap perhitungan selengkapnya dapat dilihat seperti berikut ini. Tahapan perhitungan *eigenface* menurut [8] adalah sebagai berikut:

- Langkah pertama adalah menyiapkan data dengan membuat suatu himpunan S yang terdiri dari seluruh training image ($\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M$)
 $S = (\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M)$

- Langkah kedua adalah ambil nilai tengah atau mean (Ψ)

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n$$

- Langkah ketiga kemudian cari selisih (Φ) antara nilai *training image* (Γ_i) dengan nilai tengah (Ψ)

$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi$$

- Selanjutnya matriks kovarians C dengan cara berikut

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \phi_n \phi_n^T = AA^T$$

Sehingga diperoleh *eigenvector*, v_l, u_l

$$u_l = \sum_{k=1}^M v_{lk} \phi_k \quad l = 1, \dots, M$$

Tahapan pengenalan wajah:

- Mengubah wajah baru menjadi komponen *eigenface*. Pertama, gambar masukan dibandingkan dengan gambar rata-rata dan perbedaan mereka

dikalikan dengan masing-masing vektor *eigen* dari matriks L . Setiap nilai akan mewakili bobot dan akan disimpan pada vektor Ω .

$$\omega_k = u_k^T (\Gamma - \Psi)$$

$$\Omega^T = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M]$$

- Menentukan kelas wajah mana yang memberikan gambaran terbaik untuk citra masukan. Hal ini dilakukan dengan meminimalkan jarak *Euclidean*.

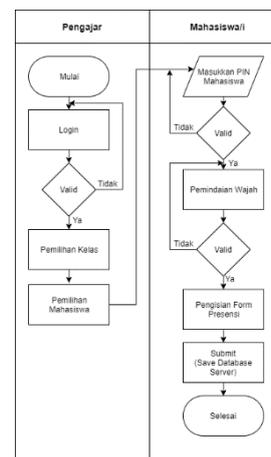
$$\epsilon_k = \|\Omega - \Omega_k\|^2$$

E. Data Penelitian

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa data info detail mahasiswa dan citra digital 20 orang mahasiswa STIMIK PPKIA Pradnya Paramita Malang yang terdiri dari 17 laki-laki dan 3 perempuan, dengan masing-masing responden menggunakan 5 citra wajah dari hasil 5 perlakuan yang berbeda sebagai *Training image set*.

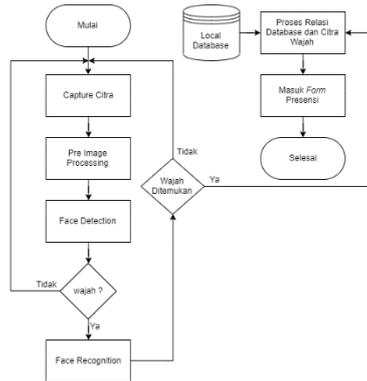
F. Penerapan Metode *Eigenface*

Konsep alur kerja aplikasi yang telah dirancang sebagai solusi permasalahan yang diusulkan dapat digambarkan pada gambar 1.



Gambar 10 Konsep Alur Kerja Aplikasi

Metode *eigenface* digunakan untuk memvalidasi pemindaian wajah dari mahasiswa/i yang sudah terdaftar dalam *database* dengan menggunakan *image training* yang ada pada *server*. Penerapan proses pemindaian wajah metode *eigenface* digambarkan pada gambar 2.



Gambar 11 Diagram Alur Pemindaian Wajah Metode Eigenface

Dengan detail alur sebagai berikut:

1. Proses *capture* citra dilakukan oleh kamera depan *smartphone* untuk mengambil citra wajah pengguna. Dalam proses ini disarankan untuk menggunakan kamera dengan minimal resolusi sebesar *2 MegaPixel* dan kamera dalam keadaan normal tidak terjadi kerusakan ataupun juga berdebu yang dapat menurunkan kualitas gambar pengambilan citra wajah. Sudut kemiringan pengambilan citra wajah yang mudah dikenali memiliki rentan $75^{\circ} - 105^{\circ}$ atau sejajar dengan kamera *smartphone*. Agar tingkat keakurasian pengenalan wajah lebih tinggi, foto yang diambil pastikan tidak terhalangi oleh objek dan mendapatkan cahaya yang cukup terang.



Gambar 12 Contoh Pengambilan Citra Wajah

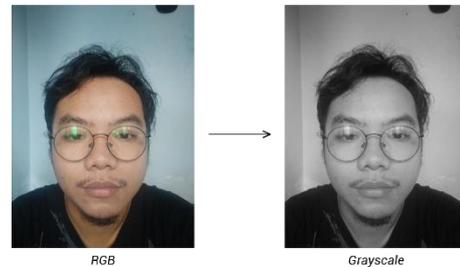
Pada gambar 3 citra wajah sebelah kiri adalah contoh pengambilan citra yang baik dan bisa diproses dengan akurat oleh aplikasi, wajah terlihat dengan jelas dan tidak ada gangguan pada citra tersebut. Sedangkan pada citra wajah sebelah kanan merupakan contoh

pengambilan citra yang kurang baik dikarenakan terdapat noise atau gangguan pada citra yaitu blur (buram), maka aplikasi akan sulit untuk mengenali wajah dan tidak disarankan untuk mengambil citra seperti contoh.

2. Selanjutnya pada proses pre image processing gambar citra wajah akan di rubah kedalam mode warna grayscale oleh library OpenCV. Pengubahan image berwarna ke grayscale menggunakan formula:

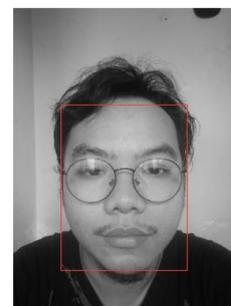
$$RGB[A] \text{ to Gray} = Y \leftarrow 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

Sehingga menghasilkan citra wajah seperti gambar 4.



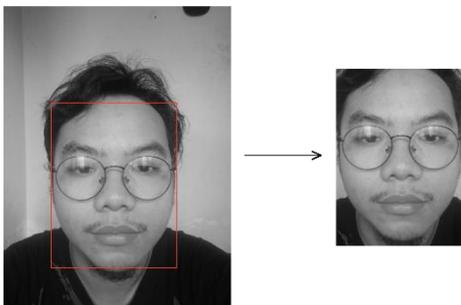
Gambar 13 Hasil Perubahan Citra RGB to Gray

3. Pada proses *face detection* akan dilakukan analisa terhadap *image* yang telah diambil untuk menentukan jumlah, lokasi, ukuran, posisi dan orientasi gambar. Jika *image* yang diambil merupakan wajah maka akan ditandai dengan kotak berwarna merah, namun jika bukan maka proses ini akan dihentikan dan mengulang dari proses awal.



Gambar 14 Hasil Citra Wajah Proses Face Detection

- Pada proses face recognition akan dilakukan proses cropping terlebih dahulu, yaitu citra wajah hanya akan diambil wajahnya saja berdasarkan hasil proses face detection, selanjutnya aplikasi akan memproses image sesuai dengan rumus eigenface yaitu dengan cara mentransformasi image menjadi sebuah vektor berukuran N dan ditempatkan ke dalam set untuk menentukan citra wajah merupakan wajah yang sudah dikenali oleh sistem. Sehingga menghasilkan citra wajah akhir seperti gambar 5.



Gambar 15 Hasil proses Cropping Image dan Face Recognition

- Jika wajah pada gambar dikenali maka akan dilakukan proses selanjutnya, jika tidak maka aplikasi akan mengakhiri proses dan mengembalikan ke proses capture citra.
- Selanjutnya aplikasi akan melakukan proses relasi ke database untuk mengambil data profile pengguna.
- Proses terakhir adalah mengisi form presensi dan mengirim data form ke server untuk disimpan kedalam database.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Eigenface

Fokus pengujian akurasi pengenalan wajah didasarkan pada 4 aspek, yaitu (1) posisi wajah yang berbeda dengan data citra training; (2) tingkat pencahayaan citra; (3) perubahan mimik muka; dan (4) pengenalan wajah berdasarkan atribut yang digunakan seperti kacamata. Hasil pengujian akurasi pengenalan wajah dari 20 responden yang telah dilakukan ditunjukkan pada gambar 7.

NIM	Nama	Posisi Wajah			
		Menoleh	Menggeleng	Mendongak	Rata-Rata
16510018	Feriyal Susanto	60%	100%	60%	73%
13510038	Febri Romadon	80%	80%	60%	73%
16510005	Bibib Harysusilo	80%	100%	100%	93%
16510014	Erza A. Hakim	40%	80%	60%	60%
16510019	Yoyok Hariono	80%	80%	80%	80%
16510020	Umar Hamdan	40%	80%	80%	67%
16510021	Achmad Uwais Alqorny	60%	100%	20%	60%
16510022	Bagas Prayogo Putro	60%	100%	40%	67%
16510023	Muhammad Miqdad M	40%	80%	100%	73%
16510026	Winda Pramesti	60%	80%	20%	53%
16510028	Anggun Nurani	60%	100%	80%	80%
16510029	Ahmad Mujadid	40%	100%	20%	53%
16510030	Bamas Angkasa	80%	100%	20%	67%
16510031	Adjie Sangsang Syah	60%	80%	40%	60%
16520014	Fatmala Aulia	60%	80%	40%	60%
16520015	Irfan Agung Kusuma	60%	100%	80%	80%
16520016	Roy Nasrul Akbar	60%	100%	80%	80%
16520018	A. Muflichin	80%	100%	80%	87%
16520020	Dedy Suryanto	60%	100%	20%	60%
18510009	Nurul Yahdi A	80%	80%	20%	60%
Rata-Rata		62%	91%	55%	70%

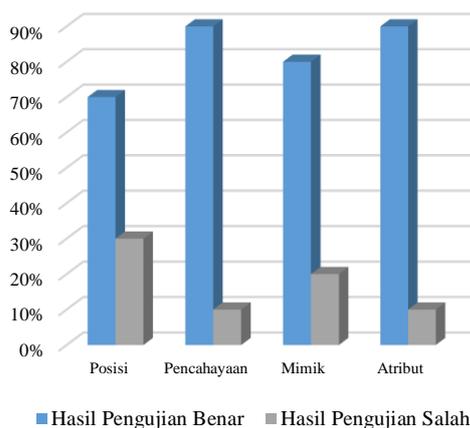
Jenis Pengujian (%)		Mimik Muka				Atribut	Rata-Rata
Tingkat Pencahayaan		Tersenyum	Tertawa	Sedih	Rata-Rata		
100%	100%	60%	100%	100%	87%	100%	90%
100%	80%	60%	80%	80%	73%	60%	77%
80%	20%	60%	80%	80%	53%	80%	77%
100%	100%	80%	80%	80%	87%	60%	77%
100%	100%	60%	100%	80%	87%	100%	92%
100%	20%	80%	80%	60%	60%	60%	72%
80%	100%	100%	80%	93%	100%	80%	83%
100%	40%	80%	80%	67%	80%	80%	78%
60%	40%	100%	80%	73%	80%	80%	72%
100%	20%	80%	100%	67%	100%	80%	80%
80%	40%	100%	80%	73%	80%	80%	78%
80%	20%	60%	80%	53%	100%	80%	72%
100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	87%
100%	40%	100%	100%	80%	100%	80%	85%
100%	80%	60%	100%	80%	80%	80%	80%
60%	40%	80%	100%	73%	80%	80%	73%
100%	40%	100%	80%	73%	80%	80%	83%
80%	100%	80%	80%	87%	100%	80%	88%
100%	100%	80%	100%	93%	100%	80%	88%
100%	20%	100%	100%	73%	100%	80%	83%
90%	58%	83%	89%	80%	90%	80%	80%

Gambar 16. Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Eigenface Mahasiswa

Adapun ringkasan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1 dan gambar 8.

Tabel 1. Tabel Ringkasan Hasil Pengujian

Jenis Pengujian	Tingkat Kebenaran	Tingkat Kesalahan
Pengenalan wajah berdasarkan posisi wajah	70%	30%
Pengenalan wajah berdasarkan tingkat pencahayaan	90%	10%
Pengenalan wajah berdasarkan mimik muka	80%	20%
Pengenalan wajah berdasarkan atribut kacamata pada wajah	90%	10%
Nilai validitas rata-rata	80%	20%



Gambar 17. Chart Ringkasan Hasil Pengujian

Pengujian sampel-sampel objek citra wajah didapatkan hasil pembahasan antara lain:

- Posisi wajah saat pengambilan citra wajah ditinjau dari posisi rotasi sangat berpengaruh terhadap akurasi pengenalan wajah. Rotasi posisi wajah terdapat 3 jenis kemungkinan, antara lain: menoleh ke kanan atau kiri, menggeleng ke kanan atau kiri dan mendongak ke atas atau ke bawah. Secara ideal posisi wajah yang mudah diidentifikasi dengan baik adalah wajah yang tegak lurus ke sensor kamera *smartphone* dan untuk toleransi posisi rotasi wajah adalah 15° kekanan atau kekiri dengan tingkat keakurasian yang cukup tinggi yaitu 70% dengan tingkat kesalahan sebesar 30% yang didapat karena rotasi wajah $<75^\circ$ dan $>105^\circ$.
- Tingkat pencahayaan saat pengambilan citra wajah ditinjau dari intensitas cahaya pada objek berkisar 50 – <5000 lux menggunakan *ambient light sensor* pada *smartphone Xiaomi Mi 8 Lite* yang di uji coba didalam ruangan dengan keadaan lampu yang dimatikan pada siang hari tidak mendung (>50 lux) dan pada siang hari diluar ruangan dengan terpapar sinar matahari langsung (<5000 lux) merupakan ukuran yang ideal untuk mempermudah identifikasi wajah dengan tingkat keakurasian yang tinggi yaitu 90% dengan tingkat kesalahan sebesar 10%.

- Mimik wajah saat pengambilan citra wajah dilakukan dengan 3 jenis kemungkinan, antara lain: tersenyum, tertawa (tampak gigi) dan sedih. Dari uji mimik ternyata tidak cukup signifikan memengaruhi aplikasi dalam mengenali wajah, ini dibuktikan dengan tingkat keakurasian yang tinggi yaitu 80% dengan tingkat kesalahan sebesar 20% yang didapat karena mimik wajah tersenyum sebagian besar tidak dapat dikenali oleh aplikasi.
- Atribut wajah yang dipakai saat pengambilan citra wajah hanya mempunyai 1 jenis kemungkinan, yaitu: kacamata. Dari atribut wajah yang dipakai ini dilakukan pengujian dengan objek yang berkacamata (melepas kacamatanya) dan tidak berkacamata (memakai kacamata). Dari uji atribut wajah ternyata tidak cukup signifikan memengaruhi aplikasi dalam mengenali wajah, ini dibuktikan dengan tingkat keakurasian yang tinggi yaitu 90% dengan tingkat kesalahan sebesar 10%.
- Waktu yang dibutuhkan aplikasi untuk mengidentifikasi wajah (pengenalan sampai identifikasi wajah) secara *real time* didapatkan sekitar 7 – 14 detik dengan *training image* sebanyak 5 wajah setiap objek dan tingkat keakurasian rata-rata mencapai 80% dengan tingkat kesalahan sebesar 20%.

PENUTUP

Berdasarkan analisis hasil pengujian pada sampel-sampel yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *eigenface* terhadap 100 *training image* dengan 20 objek yang masing-masing mempunyai 5 citra wajah berbeda-beda mampu digunakan dalam pengidentifikasian wajah dengan tingkat akurasi yang cukup memuaskan, yaitu:
 - 70% berdasarkan posisi wajah dengan pengujian 3 jenis kemungkinan.

- 90% berdasarkan pencahayaan dengan pengujian intensitas cahaya 50 – <5000 lux.
 - 80% berdasarkan mimik wajah dengan pengujian 3 jenis kemungkinan.
 - 90% berdasarkan atribut wajah dengan pengujian 1 jenis kemungkinan.
2. Tingkat akurasi hasil metode *eigenface* dipengaruhi dengan kuantitas dan kualitas *training image* yang digunakan.
 3. Tingkat kecepatan proses pengenalan wajah yang cukup memuaskan, yaitu 7 – 15 detik.
 4. Rata-rata tingkat akurasi keseluruhan pengujian menggunakan metode *eigenface* yang cukup memuaskan, yaitu 80%.
 5. Sistem yang dibangun telah dapat mengenali citra wajah dari beberapa subjek.

Dari hasil kesimpulan diatas, telah didapat bahwa rata-rata tingkat keakurasian metode *eigenface* dalam mengenali wajah seseorang sebesar 80%. Sehingga dengan angka yang cukup tinggi tersebut, aplikasi yang menggunakan metode *eigenface* dapat menjadi alternatif pengganti metode konvensional dalam hal presensi mahasiswa/i.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Schwab, 14 January 2016. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>.
- [2] C. Hoyles and J.-B. Lagrange, *Mathematics Education and Technology-Rethinking the Terrain*, New York: New ICMI Study Series, 2010.
- [3] H. Suwardana, "Revolusi Industri 4. 0 Berbasis Revolusi Mental," *JATI UNIK : Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, p. 111, 2018.
- [4] F. Sidik, "Bisnis.com," 1 February 2018. [Online]. Available: [https://ekonomi.bisnis.com/read/20180201/101/733037/pengguna-perangkat-](https://ekonomi.bisnis.com/read/20180201/101/733037/pengguna-perangkat-mobile-di-indonesia-semakin-tinggi-ini-datanya)
- [5] S. Bayu, A. Hendriawan and R. Susetyoko, "Penerapan Face Recognition Dengan Metode Eigenface Dalam Intelligent Home Security," Institut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS), Surabaya, 2011.
- [6] P. U. "Pengenalan Wajah Dengan Metode Eigenface," *Jurnal i-lib UGM*, 2010.
- [7] M. R. Muliawan, B. Irawan and Y. Brianorman, "Jurnal Coding," *IMPLEMENTASI PENGENALAN WAJAH DENGAN METODE EIGENFACE PADA SISTEM ABSENSI*, pp. 41-50, 2015.
- [8] D. Suprianto, R. N. Hasanah and P. B. Santosa, "Jurnal EECCIS," *Sistem Pengenalan Wajah Secara Real-Time dengan Adaboost, Eigenface PCA & MySQL*, pp. 179-184, 2014.