

## PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) DAN K-NEAREST NEIGHBOR (KNN) DALAM DETEKSI MASKER PADA WAJAH

Andi Danang Krismawan<sup>1\*</sup> dan Eko Hari Rachmawanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Animasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro

<sup>1,2</sup>Jl. Imam Bonjol 207 Semarang 50131.

\*Email: andidanang@dsn.dinus.ac.id

### Abstrak

Penggunaan masker mengakibatkan wajah seseorang sulit dikenali oleh sistem keamanan pada saat penggunaan fitur Face Recognition. Deteksi penggunaan masker akan berguna bagi satgas Covid-19 yang memantau masyarakat untuk selalu patuh dalam aturan penggunaan masker. Dalam penelitian ini, deteksi penggunaan masker pada wajah menggunakan Metode Principal Component Analysis (PCA) dan K-Nearest Neighbor (KNN). Data yang digunakan berupa citra wajah yang menggunakan masker dan tidak bermasker. Kemudian dilakukan tahap preprocessing dengan melakukan cropping, penghapusan latar belakang citra, segmentasi dengan menggunakan metode thresholding, ekstraksi ciri dan terakhir mengklasifikasinya menggunakan KNN. Berdasarkan hasil pengujian sistem, didapatkan akurasi sebesar 90% dengan jumlah citra sebanyak 180 citra latih dan 20 citra uji.

**Kata kunci:** Deteksi Masker, Principal Component Analysis (PCA), K-Nearest Neighbor (KNN)

## 1. PENDAHULUAN

*Image Processing* (Parveen and Thuraisingham, 2006; Chen and Jenkins, 2017; F. Kak, Mahmood Mustafa and Valente, 2018; Serpen and Aghaei, 2018; Yang *et al.*, 2018) merupakan salah satu bidang yang masih ramai dikembangkan di era modern ini karena dapat diterapkan pada berbagai teknologi penunjang kegiatan manusia. Salah satu bidang *Image Processing* adalah sistem biometrika. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Khanday *et al.*, 2018), teknik biometrika yang diterapkan pada system pengenalan wajah menghasilkan akurasi yang cukup tinggi. Salah satu permasalahan seperti Pandemi Covid-19 yang mulai mewabah di Indonesia sejak Maret tahun 2020 merupakan penyakit yang proses penularannya melalui droplet, yang dimana dapat terjadi ketika seseorang berada dalam jarak yang cukup dengan dengan seseorang yang terinfeksi atau melakukan kontak fisik. Di masa pandemik ini, Kementerian Kesehatan RI mewajibkan penggunaan masker sesuai dengan protokol kesehatan dan *physical distancing* untuk menghambat pertumbuhan Covid-19 yang semakin meningkat. Penggunaan masker diharuskan menutup mulut dan hidung (Sutarti, Putra and Sugiharti, 2019). Dengan adanya himbuan memakai masker dalam waktu yang lama, sistem deteksi pengenalan wajah di area umum pun terganggu dan menjadi sulit dikenali. Dengan adanya permasalahan tersebut, proses pengenalan wajah yang dilakukan system menjadi terhambat karena penggunaan masker yang dipakai oleh setiap orang (Nagaraj, Banala and Krishna Prasad, 2021; Suresh, Palangappa and Bhuvan, 2021). Hal tersebut menyulitkan system keamanan dan masalah lainnya.

Metode *Principal Component Analysis* (PCA), atau yang biasa disebut dengan *eigenface*, merupakan algoritma yang digunakan untuk mengidentifikasi objek berdasarkan bentuknya. PCA juga merupakan algoritma pengurangan dimensi yang dapat menghasilkan fitur wajah (unique face) (Kamencay *et al.*, 2013; Dabhade *et al.*, 2017; Rakshit *et al.*, 2019; Sutarti, Putra and Sugiharti, 2019; Dinariyah and Alamsyah, 2021), yaitu fitur wajah. PCA mengambil vektor fitur (vektor eigen) untuk melihat vektor fitur mana yang cocok dengan informasi lebih baik atau lebih baik (Rakshit *et al.*, 2019). Menurut (Rakshit *et al.*, 2019; Sutarti, Putra and Sugiharti, 2019), PCA adalah metode matematika yang digunakan untuk merepresentasikan objek, mengekstrak fitur objek, dan mengubahnya untuk menyederhanakan objek menggunakan nilai fitur linier dan vektor fitur. Analisis komponen utama (PCA) adalah salah satu teknik reduksi dimensi yang paling banyak digunakan. Langkah-langkah pra-

pemrosesan untuk berbagai aplikasi ilmiah dan analisis data. Contoh terbaru termasuk klasifikasi data, pengenalan wajah, analisis video, merancang sistem rekomendasi, dan memahami dinamika jejaring sosial (Dabhade *et al.*, 2017). Keuntungan menggunakan metode PCA adalah algoritma ini memberikan kesempatan untuk memvisualisasikan data dalam referensi objek yang dijelaskan oleh beberapa variabel pohon (tree variabel). Di sisi lain, metode *short-running K-Nearest Neighbor* (KNN) paling cocok untuk klasifikasi objek berbasis citra (Rajeshkumar *et al.*, 2019; Sutarti, Putra and Sugiharti, 2019; Wirdiani *et al.*, 2019; Sugiharti, Putra and Subhan, 2020). KKN adalah teknik atau metode yang digunakan untuk membandingkan data yang akan dievaluasi pada jarak terdekat dengan data yang diperoleh sebelumnya. Metode ini memungkinkan pengenalan wajah dengan melakukan pemrosesan citra digital dengan membandingkan karakteristik yang telah ditentukan (Dino and Abdulrazzaq, 2019; Rajeshkumar *et al.*, 2019; Ahmed *et al.*, 2021). Pengolahan KNN pengenalan wajah menggunakan wajah unik yang dihasilkan oleh metode PCA sebagai pengolahan ekstraksi fitur. Alasan menggunakan PCA sebagai metode ekstraksi citra adalah karena akurasi PCA yang tinggi. PCA juga mencoba untuk mengekstrak fitur karakter dari gambar wajah. Setelah berhasil mengekstrak fitur dari citra, metode KNN digunakan untuk mengklasifikasikan citra bentuk wajah dan mengidentifikasi apakah citra tersebut merupakan wajah dengan masker atau tanpa masker.

## 2. METODE

### 2.1. *Principal Component Analysis* (PCA)

Dalam pengenalan pola, metode PCA merupakan metode yang umum digunakan. Metode *principal component analysis* (PCA), atau biasa disebut dengan *eigenface*, merupakan metode yang digunakan untuk melihat bentuk suatu objek (Rakshit *et al.*, 2019). PCA juga merupakan algoritma pengurangan dimensi yang dapat menghasilkan fitur wajah (*unique face*) atau fitur wajah. PCA memilih vektor fitur (eigenvectors) untuk menentukan vektor fitur mana yang lebih cocok dengan informasi. Menurut Dinariyah, I. dan Alamsyah (2021), PCA banyak digunakan untuk memvisualisasikan jarak genetik dan hubungan antar populasi dalam citra. Solusi menggunakan PCA dilakukan dengan melakukan dekomposisi nilai tunggal dari matriks data. Hal ini biasanya dilakukan setelah normalisasi data awal. Komponen atau vektor utama yang diperoleh dari proses PCA digunakan sebagai informasi tentang deformasi maksimum wajah yang disimpan dalam database.

### 2.2. *K-Nearest Neighbor* (KNN)

KNN merupakan metode yang umum digunakan dalam proses klasifikasi. KNN juga digunakan dalam proses regresi objek miring dan objek yang mereferensikan data tertentu (Parveen and Thuraisingham, 2006; Dabhade *et al.*, 2017; Rajeshkumar *et al.*, 2019). Klasifikasi KNN merupakan algoritma pembelajaran berbasis kasus yang efektif untuk menyelesaikan berbagai masalah. Algoritma KNN bertujuan untuk melabeli setiap kelas dalam data latih dengan mencari nilai k terdekat dalam contoh yang diberikan. Setelah data diberi label pada setiap kelas, jumlah kelas terjauh atau terdekat menjadi milik kelas dengan data Anda. Proses pencocokan data tidak menggunakan model untuk klasifikasi dan hanya mengandalkan memori. Konsep dasar klasifikasi KNN adalah mencari jarak terdekat dari data yang akan diuji atau dievaluasi menggunakan K junction terbaru pada data latih. Jumlah maksimum kelas dengan kedekatan terbaru termasuk dalam kelas atau kategori dengan evaluasi data atau objek.

### 2.3. *Confusion Matrix*

*Confusion matrix* adalah salah satu dari banyak metode lain yang digunakan sebagai tolok ukur kinerja untuk metode klasifikasi. Pengujian ini menggunakan matriks yang diperoleh dari perbandingan prediksi dengan kelas aslinya (data latih) pada data yang diuji (Rakshit *et al.*, 2019). Hasil pengujian berupa tanda positif dan negatif, hasil pengujian pada kolom dan baris positif adalah hasil pengujian yang sebenarnya, dan hasil pengujian negatif adalah hasil pengujian yang salah. Menggunakan *Confusion Matrix*, hasil tes diperiksa untuk presisi, nilai presisi, dan tingkat ingatan. Akurasi adalah

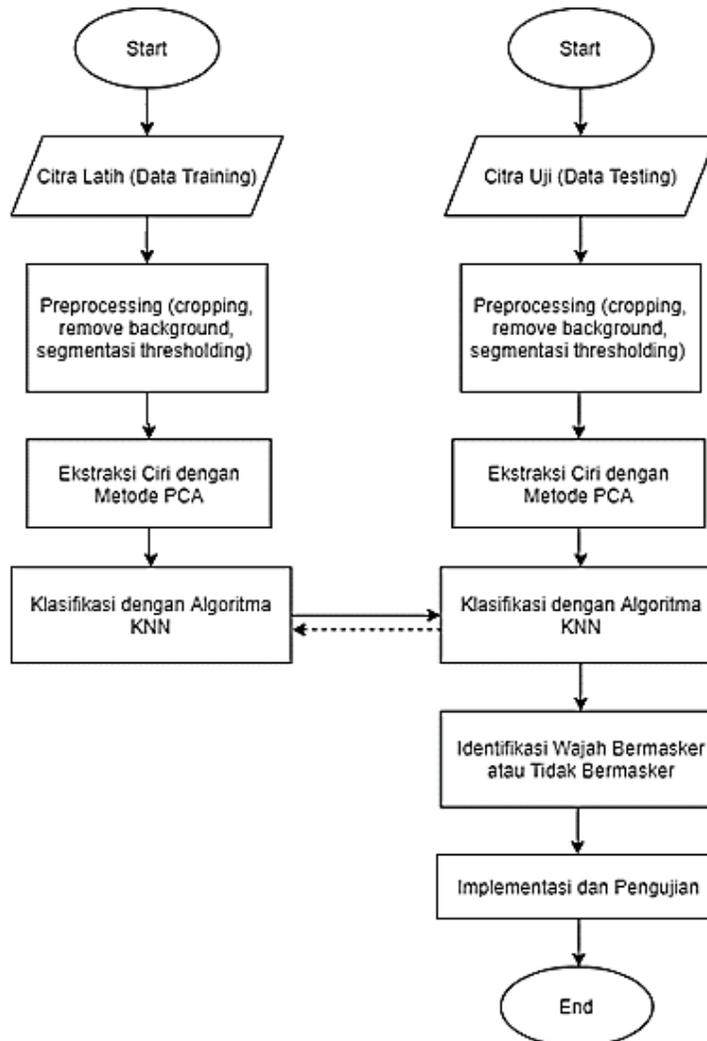
tingkat seberapa dekat suatu nilai prediksi dengan nilai sebenarnya [15]. Untuk menentukan keakuratan tes:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (3)$$

## 2.4. Tahapan Penelitian



**Gambar 1. Tahapan Pengenalan Citra Wajah**

Berdasarkan Gambar 1, tahapan pengenalan citra wajah sebagai berikut :

1. Citra Latih yaitu citra yang digunakan sebagai data *training*. Berjumlah sebanyak 80 citra wajah yang menggunakan masker dan tidak menggunakan masker.
2. Citra Uji yaitu citra yang digunakan sebagai data *testing*. Berjumlah sebanyak 20 citra wajah yang menggunakan masker dan tidak menggunakan masker.
3. *Preprocessing*, yaitu langkah awal sebelum dilakukannya proses ekstraksi ciri dengan melakukan pemotongan (*cropping*) bagian gambar yang tidak dibutuhkan yang bertujuan untuk mendapatkan

*Region of Interest (ROI)*, melakukan segmentasi pada citra supaya lebih memudahkan saat ekstraksi ciri wajah bermasker. Segmentasi dilakukan dengan metode thresholding yaitu mengubah citra RGB menjadi *grayscale* dan ke biner.

4. Ekstraksi ciri menggunakan metode PCA untuk mengenali ciri, karakter atau fitur pada masing-masing citra. Ekstraksi ciri dilakukan dengan menentukan nilai Mean, Entropy, Variance, Skewness, dan Kurtosis pada citra lalu dilakukan standarisasi data dan mengekstraknya menjadi PC1 dan PC2.
5. Klasifikasi pengenalan wajah yang menggunakan masker atau tidak menggunakan algoritma KNN yang menggunakan nilai proses ekstraksi ciri sebelumnya. Identifikasi berupa hasil keseluruhan dari pengenalan wajah yang menggunakan masker atau tidak menggunakan masker.
6. Melakukan implementasi dan pengujian pada sistem yang akan menghasilkan nilai tingkat akurasi, presisi, dan *recall*. Pengujian hasil implementasi dilakukan dengan *Confusion Matrix*.

### 3. HASIL DAN IMPLEMENTASI

#### 3.1. Data

Data dalam format citra digital dikumpulkan oleh penulis penelitian ini. Citra yang digunakan adalah citra wajah dengan dan tanpa topeng. Sudut pemotretan adalah dari depan ke arah kamera. Gambar diambil dari 20 orang yang berbeda, setiap orang diambil 10 kali. Sebanyak 5 citra wajah diambil menggunakan masker, dan 5 sisanya tanpa masker. Data yang terkumpul diaplikasikan untuk melakukan proses identifikasi wajah menggunakan software Matlab menggunakan metode PCA sebagai ekstraksi ciri dan KNN untuk klasifikasi objek. Citra yang digunakan adalah 200 citra wajah dari 20 sumber yang berbeda. Gambar dibagi menjadi 180 kelompok dan digunakan sebagai gambar pelatihan dan 20 gambar digunakan sebagai gambar uji. Gambar latih dan gambar uji terdiri dari 90 gambar wajah dengan dan tanpa topeng, dan gambar uji terdiri dari 10 gambar wajah dengan topeng dan 10 gambar wajah tanpa topeng, terdiri dari. Gambar pelatihan yang digunakan dalam penelitian ini dalam format .jpg dan bertipe RGB seperti Gambar 2.



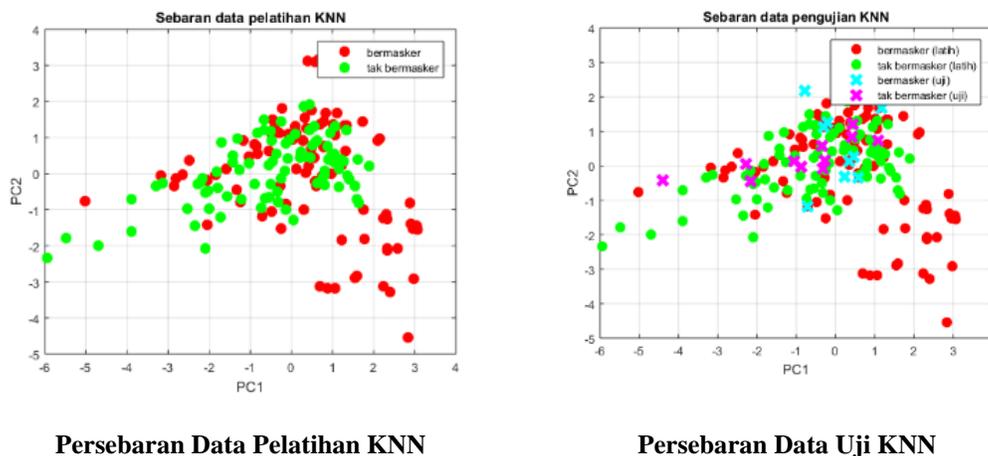
**Gambar 2. Sample Dataset Citra Wajah**

Setelah melakukan langkah pengumpulan data, langkah yang harus dilalui citra latih dan citra uji adalah preprocessing. Langkah pertama dalam preprocessing adalah melakukan crop atau crop pada citra dan mendapatkan region of interest (ROI). Dalam hal ini, itu adalah wajah. Setelah mendapatkan Region

of Interest (ROI), langkah selanjutnya adalah menghapus background atau latar belakang gambar menjadi putih, meningkatkan kontras gambar, dan dengan mudah melakukan ekstraksi fitur di langkah selanjutnya. Setelah mengubah background citra, langkah selanjutnya adalah melakukan segmentasi citra wajah menggunakan metode threshold. Piksel dalam gambar diubah dan disamakan menjadi 850x850 piksel. Ekstraksi nilai citra dari citra wajah merupakan hasil ekstraksi fitur yang terdapat pada citra. Tujuannya adalah untuk mendapatkan ekstraksi fitur/fitur dengan mencari informasi sebagai fitur yang ada pada citra tersegmentasi yang dikenali. Ekstraksi fitur dilakukan dengan mencari nilai mean, entropy, variance, skewness, dan kurtosis. Ekstraksi fitur ini digunakan sebagai skor tes dan mengekstrak nilai tes sebagai PC 1 dan PC 2. Ini nantinya akan digunakan sebagai nilai referensi saat menghitung jarak dalam klasifikasi citra.

### 3.2. Klasifikasi menggunakan KNN

Klasifikasi pada citra uji dibagi menjadi dua, yakni kelas bermasker dan tak bermasker. Perhitungan KNN menggunakan *Euclidean Distance* untuk menghitung jarak terdekat dari dua PC dan kelas latihnya. Nilai K yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $K=3$ . Gambar 3 merupakan data persebaran data pelatihan berdasarkan perhitungan KNN jarak terdekat menggunakan Euclidean Distance dengan  $K=3$ . Grafik menunjukkan bahwa persebaran data latih yang terbagi menjadi citra bermasker dan tak bermasker ditunjukkan dengan warna merah dan hijau. Titik merah dan hijau menunjukkan nilai masing-masing citra yang ada pada citra latih yang nantinya akan digunakan sebagai acuan nilai untuk citra yang akan diujikan.



**Gambar 3. Persebaran Data Latih dan Data Uji pada KNN**

Persebaran data uji menunjukkan persebaran data pengujian klasifikasi KNN berdasarkan score uji yang telah didapatkan, seperti pada Gambar 3. Data citra uji bermasker dan tidak bermasker ditunjukkan dengan simbol “x” berwarna biru dan ungu. Setelah dilakukan perhitungan klasifikasi KNN dengan memprediksi citra uji akan masuk pada PC1 atau PC2 sesuai dengan score latih yang telah dilakukan training sebelumnya dengan menggunakan Euclidean Distance. Simbol “x” pada grafik menunjukkan score uji yang didapatkan citra uji. Letaknya berdekatan dengan citra latih yang ditunjukkan oleh simbol “o” berwarna merah dan hijau. Semakin berdekatan antara simbol “x” maka klasifikasi yang dihasilkan akan benar dan sebaliknya. Untuk mendapatkan hasil klasifikasi citra uji maka setelah citra diekstraksi ciri dan dilakukan standarisasi data, maka setelah menemukan nilai PC 1 dan PC 2 maka selanjutnya citra uji akan dilakukan perhitungan KNN dengan bantuan perhitungan jarak Euclidean Distance, dimana  $K=3$ . Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa data uji dengan PC 1 = -0,41 dan PC 2 = -2,268 termasuk dalam kategori “Bermasker” seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2. Tabel PC 1 dan PC 2 Data Latih**

No	PC 1	PC 2	Kelas
1	-2,8614	-0,3491	'bermasker'
2	-0,2706	-0,3345	'tak bermasker'
3	-1,0331	0,46296	'bermasker'
4	-0,483	-1,049	'bermasker'
5	1,28163	1,32381	'bermasker'
...	...	...	...
178	-1,7981	-0,3992	'tak bermasker'
179	1,16495	0,12035	'tak bermasker'
180	1,27974	0,34186	'tak bermasker'

**Tabel 3. Hasil Perhitungan Jarak**

Citra Ke-	Euclidean Distance	Urutan jarak	3-NN	kelas
25	0,75461	1	yes	'bermasker'
65	1,13742	3	yes	'bermasker'
147	1,08363	2	yes	'bermasker'

### 3.3. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai akurasi berjalannya sistem deteksi penggunaan masker. Pengujian sistem dilakukan dengan bantuan Confusion Matrix dengan mengelompokkan tabel “True” dan “False” dengan menghitung akurasi, precision, dan recall. Data pada hasil akan dilabeli sebagai positif dan negatif pada tabel Confusion Matrix yang bertujuan untuk mempermudah penggolongan. Hasil klasifikasi Bermasker dianggap sebagai kelas positif dan Tak Bermasker sebagai kelas negatif seperti pada Tabel 4. Berdasarkan perhitungan pengujian didapatkan akurasi citra sebesar 90%, precision sebesar 90% dan nilai recall sebesar 90%. Hasil klasifikasi deteksi penggunaan masker mendapatkan hasil dengan akurasi yang cukup tinggi.

**Tabel 4. Hasil Pengujian**

No	File citra	Klasifikasi	Hasil
1.	bermasker (1).jpg	Bermasker	'bermasker'
2.	bermasker (2).jpg	Bermasker	'tak bermasker'
...	...	...	...
11.	tak bermasker (1).jpg	Tak Bermasker	'bermasker'
12.	tak bermasker (2).jpg	Tak Bermasker	'tak bermasker'
...	...	...	...
19.	tak bermasker (9).jpg	Tak Bermasker	'tak bermasker'
20.	tak bermasker (10).jpg	Tak Bermasker	'tak bermasker'

### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, pada implementasi sistem deteksi pengenalan wajah menggunakan masker dan tidak menghasilkan akurasi sebesar 90%. Hasil akurasi tersebut didapatkan dari pengujian yang dilakukan terhadap 180 citra latih (training) dan 20 citra uji (testing). Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa sebanyak 20 citra berhasil dikenali sistem dengan benar dengan mengeluarkan hasil identifikasi dan klasifikasi berupa “bermasker” dan tak bermasker, sementara itu sebanyak 2 citra salah dikenali. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi keberhasilan pendeteksian citra adalah pencahayaan, kualitas citra, posisi citra wajah terhadap kamera, proses segmentasi, dan ekstraksi ciri/fitur pada citra wajah. Untuk penelitian pendeteksian penggunaan masker selanjutnya disarankan untuk menggunakan video *real time* sebagai media pendeteksian wajah bermasker sehingga bisa benar-benar digunakan untuk pendeteksian secara otomatis wajah menggunakan masker.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Ahmed, N. *et al.* (2021) 'Face Recognition Comparative Analysis Using Different Machine Learning Approaches', *Advances in Science and Technology Research Journal*, 15(1), pp. 265–272. doi: 10.12913/22998624/132611.
- Chen, J. and Jenkins, W. K. (2017) 'Facial recognition with PCA and machine learning methods', *Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 2017-August, pp. 973–976. doi: 10.1109/MWSCAS.2017.8053088.
- Dabhade, S. B. *et al.* (2017) 'Double Layer PCA based Hyper Spectral Face Recognition using KNN Classifier', in *2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC)*. IEEE, pp. 289–293. doi: 10.1109/CTCEEC.2017.8455113.
- Dinariyah, I. and Alamsyah (2021) 'Accuracy enhancement in face recognition using 1D-PCA & 2D-PCA based on multilevel reverse-biorthogonal wavelet transform with KNN classifier', *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4), p. 042144. doi: 10.1088/1742-6596/1918/4/042144.
- Dino, H. I. and Abdulrazzaq, M. B. (2019) 'Facial Expression Classification Based on SVM, KNN and MLP Classifiers', in *2019 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*. IEEE, pp. 70–75. doi: 10.1109/ICOASE.2019.8723728.
- F. Kak, S., Mahmood Mustafa, F. and Valente, P. (2018) 'A Review of Person Recognition Based on Face Model', in *IEC2018 Proceedings Book*. Ishik University, pp. 1–19. doi: 10.23918/iec2018.01.
- Kamencay, P. *et al.* (2013) 'A novel approach to face recognition using image segmentation based on SPCA-KNN method', *Radioengineering*, 22(1), pp. 92–99.
- Khanday, A. M. U. D. *et al.* (2018) 'Face Recognition Techniques : A Critical Review', *STM Journals*, 5(2), pp. 24–30.
- Nagaraj, P., Banala, R. and Krishna Prasad, A. V. (2021) 'Real Time Face Recognition using Effective Supervised Machine Learning Algorithms', *Journal of Physics: Conference Series*, 1998(1), pp. 0–7. doi: 10.1088/1742-6596/1998/1/012007.
- Parveen, P. and Thuraisingham, B. (2006) 'Face Recognition Using Multiple Classifiers', in *2006 18th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'06)*. IEEE, pp. 179–186. doi: 10.1109/ICTAI.2006.59.
- Rajeshkumar, T. *et al.* (2019) 'Enhanced visual attendance system by face recognition USING K-nearest neighbor algorithm', *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(6 Special Issue), pp. 141–147.
- Rakshit, P. *et al.* (2019) 'FACE DETECTION USING SUPPORT VECTOR MACHINE WITH PCA', in *International Conference on Nanotechnology & Nanomaterials for Energy And Environment*, pp. 1–5.
- Serpen, G. and Aghaei, E. (2018) 'Host-based misuse intrusion detection using PCA feature extraction and kNN classification algorithms', *Intelligent Data Analysis*, 22(5), pp. 1101–1114. doi: 10.3233/IDA-173493.
- Sugiharti, E., Putra, A. T. and Subhan (2020) 'Facial recognition using two-dimensional principal component analysis and k-nearest neighbor: a case analysis of facial images', *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(3), p. 032028. doi: 10.1088/1742-6596/1567/3/032028.
- Suresh, K., Palangappa, M. and Bhuvan, S. (2021) 'Face Mask Detection by using Optimistic Convolutional Neural Network', in *2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*. IEEE, pp. 1084–1089. doi: 10.1109/ICICT50816.2021.9358653.
- Sutarti, S., Putra, A. T. and Sugiharti, E. (2019) 'Comparison of PCA and 2DPCA Accuracy with K-Nearest Neighbor Classification in Face Image Recognition', *Scientific Journal of Informatics*, 6(1), pp. 64–72. doi: 10.15294/sji.v6i1.18553.
- Wirdiani, N. K. A. *et al.* (2019) 'Face Identification Based on K-Nearest Neighbor', *Scientific Journal of Informatics*, 6(2), pp. 150–159. doi: 10.15294/sji.v6i2.19503.

Yang, D. *et al.* (2018) 'An Emotion Recognition Model Based on Facial Recognition in Virtual Learning Environment', *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 125(2009), pp. 2–10. doi: 10.1016/j.procs.2017.12.003.