



Sistem Pengenalan Wajah Menggunakan Library Matlab Deep Learning Toolbox Pada Aplikasi Matlab

M. Ahmilurriszqi, D¹, Budi Darmawan², I Made Ginarsa³

¹ Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/jcar.v6i3.9471>

Received: 7 September 2024

Revised: 19 Oktober 2024

Accepted: 20 Oktober 2024

Abstract: Artificial Intelligence (AI) has made rapid advancements in recent decades, enabling the development of facial recognition systems that can identify individuals based on their unique facial features. This study aims to design a facial recognition system using the Matlab Deep Learning Toolbox, focusing on the detection, training, and recognition of faces using Convolutional Neural Networks (CNN). The research utilizes a dataset from 10 individuals, each with 150 face images resized to 227x227 pixels. The system is trained using AlexNet, a pre-trained model available in Matlab, and tested with parameters such as an Initial Learning Rate of 0.001, Max Epochs of 15, and Mini Batch Size of 30. The training results demonstrate an accuracy of 100% with a Mini-Batch Loss of 0.0134, indicating that the system can recognize faces accurately in real-time. Despite achieving high accuracy, this study identifies several limitations, such as the potential for overfitting due to a lack of data variation and challenges in detecting faces under different conditions. Further improvements can be made by enhancing data variation and face detection capabilities.

Keywords: Face Recognition; Matlab Deep Learning Toolbox; AlexNet; Convolutional Neural Network (CNN).

Abstrak: Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir, yang memungkinkan pengembangan sistem pengenalan wajah yang dapat mengidentifikasi seseorang berdasarkan fitur unik wajah mereka. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengenalan wajah menggunakan Matlab Deep Learning Toolbox, dengan berfokus pada deteksi, pelatihan, dan pengenalan wajah menggunakan Convolutional Neural Network (CNN). Penelitian ini menggunakan dataset dari 10 individu orang dengan masing-masing 150 gambar wajah yang diubah ukurannya menjadi 227x227 piksel. Sistem dilatih menggunakan AlexNet, model pra-latih yang tersedia pada Matlab, dan diuji dengan parameter seperti Initial Learning Rate 0,001, Max Epochs 15, dan Mini Batch Size 30. Hasil pelatihan menunjukkan akurasi sebesar 100% dengan Mini-Batch Loss sebesar 0,0134, yang menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali wajah dengan akurat secara real-time. Meskipun akurasi tinggi tercapai, penelitian ini menemukan beberapa keterbatasan, seperti potensi overfitting akibat kurangnya variasi data dan tantangan dalam mendeteksi wajah pada kondisi yang berbeda. Perbaikan lebih lanjut dapat dilakukan dengan meningkatkan variasi data dan kemampuan deteksi wajah.

Kata Kunci: AlexNet; Convolutional Neural Network (CNN), Pengenalan Wajah; Matlab Deep Learning Toolbox.

Pendahuluan

Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) yang telah mengalami perkembangan pesat dalam

beberapa dekade terakhir (Malau, et al., 2024). Hal ini memungkinkan sistem yang dapat mengidentifikasi individu berdasarkan karakteristik unik dari wajah mereka atau bisa disebut juga sebagai system face

Email: izul.islamudin@mhs.unj.ac.id

recognition (Mahessa, et al., 2023). Pada face recognition tersebut secara umum memiliki beberapa tahapan antara lain mendeteksi wajah untuk mengekstraksi wajah seseorang yang merupakan tahapan awal dari face recognition tersebut (Nasution, 2020; Dewi & Ismawan, 2021). Kemudian melakukan training atau pelatihan pada wajah yang telah terdeteksi (Sugeng & Mulyana, 2022). Dan yang terakhir adalah tahap pengenalan atau verifikasi dimana sistem akan mencoba untuk mengidentifikasi individu berdasarkan wajah yang terdeteksi dan membandingkannya dengan data wajah dalam basis data (Suryansah, et al., 2020).

Sebelumnya sudah banyak penelitian menyangkut pengenalan wajah, dengan menggunakan library Tensorflow untuk mendeskripsikan bagaimana data bergerak dan dapat divisualisasikan dengan grafik diharapkan penelitian ini mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Dari penelitian tersebut kesimpulan yaitu diperlukan waktu pemrosesan untuk jumlah data latih 30, 60, 90 dan 120, berturut-turut 14,92 detik, 22,46 detik, 29,77 detik dan 44,57 detik. Jumlah data latih yang digunakan juga berpengaruh terhadap nilai akurasi pengujian, semakin banyak data latih yang digunakan maka nilai akurasi yang didapatkan akan semakin meningkat. (Insan et al., 2022).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Hartika dan Ahmad (2021) hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah proses deteksi wajah menggunakan Algoritma Haar Cascade dan Convolutional Neural Network menghasilkan akurasi program sebesar 98.84% dengan serta waktu rata-rata yang dibutuhkan dalam mengenal wajah yaitu sebesar 0,05s. Penelitian Susim dan Darujati (2021) rata-rata wajah yang diuji sebanyak 5 citra wajah dapat dikenali dan 2 yang tidak tersimpan karena faktor pencahayaan yang lebih terang, posisi wajah dari jarak dekat dan jauh dari faktor-faktor ini menghasilkan nilai akurasi yang berbeda sesuai dengan dengan tingkat keberhasilan dalam mengenali wajah, dengan tingkat pengenalan rata-rata 85% setelah di proses perbandingan perbandingan hasil kedekatan sekitar 81% untuk kemiripan wajah menggunakan metode PCA Eigenface dapat mengenali seseorang yang terdapat pada database dan tidak dapat mengenali orang yang tidak terdapat dalam database.

Penelitian Shedriko dkk (2022) hasil penelitian berupa Dalam penelitian ini nilai kecocokan yang muncul adalah 59%, namun di kesempatan yang lain nilai yang muncul dapat mencapai hingga sekitar 80%. Perubahan akurasi dapat terjadi ketika objek bergerak dalam pengukuran pengenalan wajah.

Kualitas kamera memiliki peran yang sangat penting yang menjadi salah satu faktor bagi keakuratan data. Keterdapatannya data training yang gelap seperti misalnya di awal perekaman data, dapat menjadi faktor ketidakakuratan dalam pengujian dari objek input yang misalnya diambil dalam kondisi yang juga cenderung gelap. Karena dalam bentuk histogramnya, gambar gelap akan membuat grafik mengumpul ke sebelah kiri, sehingga bila dipertemukan dengan data pengujian yang memberikan gambar histogram yang cenderung sama (Shedriko et al., 2022).

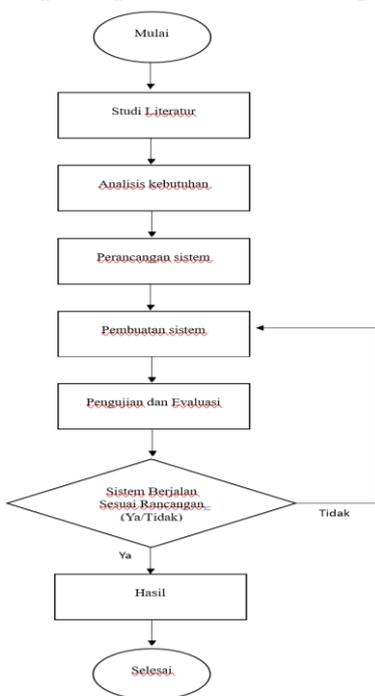
Penelitian Efanntyo dkk (2021) aplikasi sistem pengenalan wajah yang telah dibangun memiliki tingkat akurasi pengenalan wajah yang dipengaruhi jarak antara kamera dengan wajah karyawan pada tingkat pencahayaan 24 lux. Pengukuran pada jarak 30 cm memberi hasil rata-rata tingkat akurasi sebesar 81%; sementara pengukuran pada jarak 60 cm, 90 cm, dan 120 cm memberikan hasil rata-rata untuk masing-masing jarak secara berurutan adalah 81%, 72%, 69%. Sebagai kesimpulan, aplikasi yang dibangun memungkinkan terhindarnya kontak langsung antara karyawan dengan perangkat presensi. Notifikasi bagi karyawan yang belum melakukan presensi telah ditunjukkan berfungsi sebagaimana yang diharapkan

Beberapa penelitian terdahulu yang telah diuraikan menggunakan aplikasi Python dan Google Colab. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji apakah aplikasi matlab dapat digunakan untuk melakukan pengenalan wajah seseorang atau face recognition secara akurat. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian seberapa akurat aplikasi matlab dapat mengenali wajah seseorang.

Metode

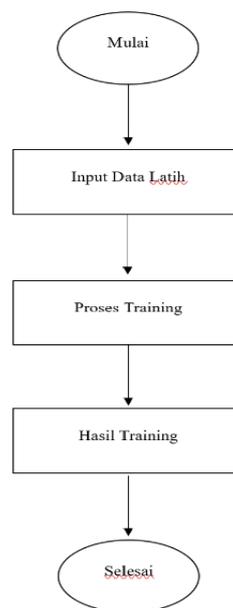
Metode penelitian yang digunakan adalah dengan merancang "Sistem Pengenalan Wajah Menggunakan Library Matlab Deep Learning Toolbox Pada Aplikasi Matlab" dengan menggunakan aplikasi Matlab, dibutuhkan pemahaman konsep yang mendasar. Setelah memahami dasar teori pada penelitian ini, maka akan dilakukan perancangan sistem yang akan digunakan untuk mengambil gambar wajah seseorang melalui webcam pada laptop kemudian di proses dan diidentifikasi oleh sistem tersebut. Singkatnya sistem yang dibuat kali ini digunakan untuk mengenali dan mengidentifikasi wajah seseorang. Dalam melaksanakan Penelitian, langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan dataset. Dataset digunakan untuk input yang akan diproses pada sistem, pada penelitian dataset yang digunakan berupa himpunan gambar wajah manusia.

Pada penelitian kali ini akan menggunakan dataset dari 10 wajah seseorang, dengan ukuran 227x227 pixel.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

Pada Gambar 1 Diagram Alir Penelitian menjelaskan tahapan-tahapan alur penelitian yang dimana dimulai dengan mencari Studi Literatur, Analisis Kebutuhan dan perancangan sistem setelah itu dilanjutkan pembuatan sistem pada Matlab, jika pembuatan sistem selesai kemudian dilanjutkan dengan pengujian dan evaluasi jika sistem berjalan sesuai rancangan maka hasil yang diinginkan akan muncul.



Gambar 2. Diagram Alur proses pelatihan.

Pada Gambar 3 menunjukkan proses dari pelatihan data. Pada tahap ini langkah pertama yang harus dilakukan adalah menginput data latih dengan melakukan pengambilan foto dari wajah seseorang menggunakan webcam pada laptop. Pada proses ini data yang diinputkan berupa foto akan secara otomatis di resize, data yang telah di resize akan diubah ukurannya menjadi 227x227 pixel. Proses pelatihan data ini dilakukan untuk memperoleh nilai akurasi yang tinggi. tahap yang kedua adalah proses training atau pelatihan yang dimana pada proses ini data yang telah diinput kemudian akan dilatih menggunakan Convolutionan Neural Network tujuan dari proses pelatihan data ini dilakukan untuk memperoleh nilai akurasi yang tinggi.



```

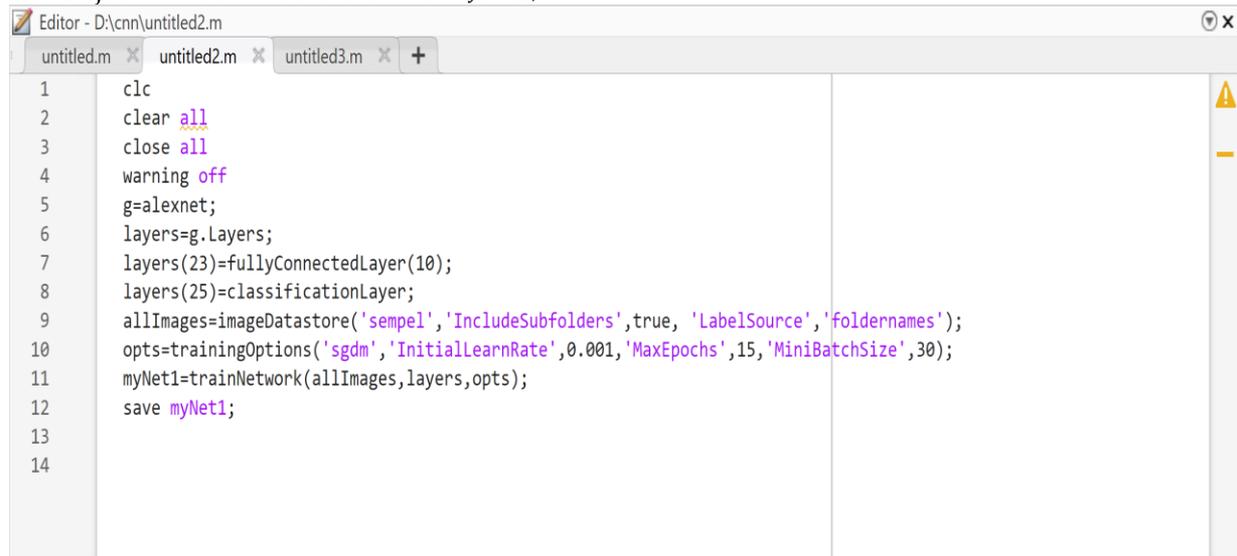
Editor - D:\cnn\untitled.m
untitled.m x untitled2.m x untitled3.m x +
1  clc
2  clear all
3  close all
4  warning off;
5  cao=webcam;
6  faceDetector=vision.CascadeObjectDetector;
7  c=150;
8  temp=0;
9  while true
10     e=cao.snapshot;
11     bboxes =step(faceDetector,e);
12     if(sum(sum(bboxes))~=0)
13         if(temp>=c)
14             break;
15         else
16             es=imcrop(e,bboxes(1,:));
17             es=imresize(es,[227 227]);
18             filename=strcat(num2str(temp),'.bmp');
19             imwrite(es,filename);
20             temp=temp+1;
21             imshow(es);
22             drawnow;
23         end
24     else
25         imshow(e);
26         drawnow;
27     end
28 end

```

Gambar 3. Diagram Alur proses pelatihan.

Pada Gambar 3 tersebut merupakan Script yang digunakan untuk melakukan pengambilan foto wajah dengan menggunakan library Image Acquisition Toolbox untuk fungsi webcam, Computer Vision Toolbox untuk fungsi vision.CascadeObjectDetector yang dimana pada library ini terdapat algoritma Cascade Object Detector berbasis Viola-Jones, dan

Image Processing Toolbox untuk fungsi seperti imcrop, imresize, imwrite, dan imshow masing-masing fungsi ini berasal dari Image Processing Toolbox. Toolbox ini menyediakan berbagai fungsi untuk memproses gambar, seperti memotong (crop), mengubah ukuran (resize), menyimpan gambar (write), dan menampilkan gambar (show).



```

Editor - D:\cnn\untitled2.m
untitled.m x untitled2.m x untitled3.m x +
1  clc
2  clear all
3  close all
4  warning off
5  g=alexnet;
6  layers=g.Layers;
7  layers(23)=fullyConnectedLayer(10);
8  layers(25)=classificationLayer;
9  allImages=imageDatastore('sempel','IncludeSubfolders',true,'LabelSource','foldernames');
10  opts=trainingOptions('sgdm','InitialLearnRate',0.001,'MaxEpochs',15,'MiniBatchSize',30);
11  myNet1=trainNetwork(allImages,layers,opts);
12  save myNet1;
13
14

```

Gambar 4. Diagram Alur proses pelatihan.

Pada Gambar 4 tersebut merupakan Script yang digunakan untuk melakukan training model pada data yang telah diperoleh dimana pada Script tersebut menggunakan library Matlab Deep Learning Toolbox yang didalamnya terdapat alexnet yang berfungsi

sebagai sebagai model pra-latih (pre-trained model). Artinya, model AlexNet ini sudah belajar mengenali banyak fitur dari jutaan gambar atau foto, sehingga alexnet tersebut sudah terlatih dalam memahami gambar secara umum.



```

1  clc;close;clear
2  c=webcam;
3  load myNet1;
4  faceDetector=vision.CascadeObjectDetector;
5  while true
6      e=c.snapshot;
7      bboxes =step(faceDetector,e);
8      if(sum(sum(bboxes))~=0)
9          es=imcrop(e,bboxes(1,:));
10         es=imresize(es,[227 227]);
11         label=classify(myNet1,es);
12         image(e);
13         title(char(label));
14         drawnow;
15     else
16         image(e);
17         title('No Face Detected');
18     end
19 end

```

Gambar 5. Diagram Alur proses pelatihan.

Pada Gambar 5 tersebut merupakan Script yang digunakan untuk melakukan pengenalan pada wajah library yang digunakan Image Acquisition Toolbox untuk menangkap gambar dari webcam, Computer Vision Toolbox untuk deteksi wajah menggunakan Viola-Jones, Deep Learning Toolbox untuk menggunakan model jaringan saraf tiruan yang telah dilatih (AlexNet) dalam pengklasifikasian wajah, Image Processing Toolbox untuk pemrosesan gambar seperti cropping dan resizing. Skrip ini menggabungkan beberapa library untuk menjalankan alur proses yang digunakan untuk mengambil gambar, mendeteksi wajah, memprosesnya, dan memberikan hasil deteksi dan pengenalan wajah secara real-time.

Hasil dan Pembahasan

Menyiapkan Dataset

Dalam melaksanakan Penelitian, langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan dataset. Dataset digunakan untuk input yang akan diproses pada sistem, pada penelitian dataset yang digunakan berupa himpunan gambar wajah, berikut merupakan dataset wajah dari 10 orang.



Gambar 6. Dataset wajah.

Pada Gambar 6 menunjukkan contoh dataset model wajah yang akan diolah, dalam melaksanakan Penelitian, langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan dataset. Pada penelitian kali ini akan

menggunakan dataset dari 10 wajah orang yang dimana setiap orang akan mempunyai 150 foto yang akan di input dan diproses oleh sistem, pada penelitian dataset yang digunakan berupa himpunan gambar wajah manusia.

Hasil Training data

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch Accuracy	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:02	16.67%	3.6342	0.0010
1	50	00:01:35	90.00%	0.4386	0.0010
2	100	00:03:10	90.00%	0.1996	0.0010
3	150	00:04:46	96.67%	0.1226	0.0010
4	200	00:06:20	96.67%	0.1148	0.0010
5	250	00:07:55	100.00%	0.0601	0.0010
6	300	00:09:30	96.67%	0.1009	0.0010
7	350	00:11:06	96.67%	0.0859	0.0010
8	400	00:12:40	100.00%	0.0290	0.0010
9	450	00:14:15	100.00%	0.0160	0.0010
10	500	00:15:49	96.67%	0.0479	0.0010
11	550	00:17:25	100.00%	0.0262	0.0010
12	600	00:18:59	100.00%	0.0070	0.0010
13	650	00:20:34	100.00%	0.0209	0.0010
14	700	00:22:08	100.00%	0.0036	0.0010
15	750	00:23:42	100.00%	0.0134	0.0010

Training finished: Max epochs completed.

Gambar 7. Hasil Training

Pada Gambar 7 merupakan hasil dari Training yang telah dijalankan sesuai dengan parameter yaitu Initial Learn Rate 0.001, Max Epochs 15, dan Mini Batch Size 30, pada gambar ini dapat dilihat nilai epochnya 15 yang artinya model telah melihat dan mempelajari seluruh dataset sebanyak 15 kali dilanjutkan dengan Iteration atau Iterasi adalah sebuah proses pengelompokkan dan perbaikan model jika dilihat pada gambar tersebut maka pada 15 kali epoch terdapat 750 kali pengelompokkan dan perbaikan pada model, kemudian ada Time elapsed digunakan untuk mengukur seberapa lama waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pelatihan model dari awal hingga akhir.

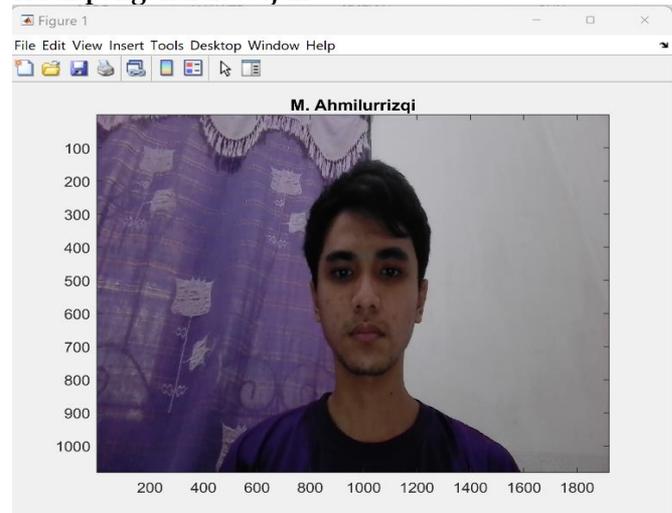
Berikutnya ada Mini-Batch Accuracy dan Mini-Batch Lose yang merupakan indikator yang menunjukkan apakah hasil Training tersebut berhasil atau tidak, Mini-Batch Accuracy adalah ukuran tingkat akurasi model yang dihitung setelah memproses satu mini-batch data selama pelatihan, sedangkan Mini-Batch Lose adalah nilai rata-rata yang menunjukkan seberapa besar kesalahan model saat memproses satu mini-batch data selama pelatihan. pada gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai akhir dari Mini-Batch Accuracy adalah sebesar 100% dan Mini-Batch Loss adalah rata-rata sebesar 0,0134 yang menunjukkan bahwa model bekerja sangat baik pada data pelatihan dan cukup akurat.

Dan yang terakhir adalah Base Learning Rate adalah nilai awal dari learning rate yang digunakan

berikut merupakan hasil dari pelatihan atau training yang dijalankan menggunakan library Matlab Deep Learning Toolbox dengan model Alexnet dan parameter yang telah di Setting sebagai berikut Initial Learn Rate 0.001 MaxEpochs 15 MiniBatchSize 30.

untuk mengontrol seberapa besar perubahan atau pembaruan bobot model selama pelatihan, Base Learning Rate menentukan kecepatan sebuah model dalam melakukan training, jika nilai learning rate semakin mendekati 0, maka pembaruan bobot model akan menjadi semakin lambat.

Hasil pengenalan wajah



Gambar 8. Hasil proses pengenalan wajah

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa proses pengenalan wajah berhasil, sistem memproses dan identifikasi gambar secara akurat sesuai dengan data yang dilatih sebelumnya. Sistem tersebut dapat

menampilkan nama atau identitas wajah yang dikenali secara real-time di layar.

Kesimpulan

Berdasarkan Simulasi yang dilakukan, diperoleh hasil training yang diperoleh menggunakan Matlab Deep Learning Toolbox yaitu pada Epoch ke-15 jumlah iterasi atau Iteration sebanyak 750 kali pengelompokkan dan perbaikan dengan waktu selama 23 menit 42 detik menghasilkan Mini Batch Accuracy sebesar 100% dan nilai dari Mini Batch Loss rata-rata sebesar 0.0134, yang dimana sistem dapat memproses dan mengenali wajah dengan cukup baik. Meskipun proses pengenalan wajah pada script ini bisa berhasil, masih terdapat beberapa kekurangan seperti ketergantungan pada deteksi wajah yang terbatas, kemungkinan overfitting akibat kurangnya variasi data, dan tantangan dalam menangani kondisi wajah yang berbeda. Untuk meningkatkan akurasi dan daya generalisasi model, diperlukan lebih banyak variasi dalam data serta penanganan yang lebih baik terhadap deteksi wajah.

Referensi

- Efanntyo, & Mitra, A. R. (2021). Perancangan Aplikasi Sistem Pengenalan Wajah Dengan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Untuk Pencatatan Kehadiran Karyawan. *Jurnal Instrumentasi dan Teknologi Informatika (JITI)*, Vol. 3 No. 1, November 2021, p-ISSN: 2746-7635, e-ISSN: 2808-5027. <https://jurnal.poltek-gt.ac.id/index.php/jiti/>
- Fahrizal, A., Maulana, A., & Aritonang, S. D. (2021). Implementasi Sistem Pengenalan Wajah untuk Keamanan Akses Berbasis Ubuntu Menggunakan Python. *JIKA (Jurnal Informatika) Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 4(2), 210-219. P-ISSN: 2549-0710, E-ISSN: 2722-2713.
- Hartika, B., & Ahmad, D. (2021). Face Recognition Menggunakan Algoritma Haar Cascade Classifier dan Convolutional Neural Network. *Journal of Mathematics UNP*, 6(3), pp. 12-19.
- Insan, M. A., Wiriasto, G. W., & Kanata, B. (2022). Implementasi Convolutional Neural Network (CNN) dengan Library Tensorflow pada untuk Pengenalan Wajah. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Mataram*.
- Mulyana, D. I., Saputry, Y. Y. A., Ramadan, A., & Saragih, S. (n.d.). Penerapan Face Recognition dengan Algoritma Haar Cascade untuk Sistem Absensi pada Yayasan Pusat Pengembangan Anak Jakarta. *Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Cipta Karya Informatika*. P-ISSN: 2828-495X, E-ISSN: 2721-4796.
- Pratiwi, N. W., Fauziah, & Andryana, S., Gunaryati, A. (2018). Deteksi Wajah Menggunakan Hidden Markov Model (HMM) Berbasis MATLAB. *Jurnal String*, 3(1), 44. p-ISSN: 2527-9661, e-ISSN: 2549-2837.
- Shedriko, & Firdaus, M. (2022). Pengenalan Wajah dengan Algoritma Local Binary Pattern Histogram Menggunakan Python. *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, Volume 6, Nomor 2, April 2022, pp. 272. <http://doi.org/10.33395/remik.v6i2.11557>
- Suroso, & Ermaya, S. K. (2018). Pengenalan Citra Wajah dengan Metode Eigen Face Menggunakan Matlab 7.11.0.548. *JURNAL IPSIKOM*, 6(1). ISSN: 2338-4093.
- Tarigan, E., Naibaho, R. S., & Satria, A. (2023). Pengenal Wajah Menggunakan Metode Viola-Jones dengan Menggunakan Aplikasi MATLAB 2015. *Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi*, 4(1), 82. E-ISSN: 2745-3758, P-ISSN: 2776-8546. DOI: 10.46576/djtechno.
- Susim, T., & Darujati, C. (2021). Pengolahan Citra untuk Pengenalan Wajah (Face Recognition) Menggunakan OpenCV. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(3), pp. 12-19. p-ISSN: 2722-7782, e-ISSN: 2722-5356.
- Malau, M., Sihite, I. F., Sumanti, I. H., Desrianty, R. M., & Hutahaean, Y. S. R. (2024). Perkembangan Artificial Intelligence dan Tantangan Generasi Muda di Era Super Digitalized. *IKRA-ITH ABDIMAS*, 8(1), 251-257.
- Mahessa, F., Pangestu, R. P., Berwyn, A., Ramadhan, S. A., Hanova, A. A., Fadillah, R., ... & Marvella, S. (2023). Pengenalan Artificial Intelligence (AI) dalam Pembelajaran Sekolah. *APPA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(4), 205-208.
- Sugeng, S., & Mulyana, A. (2022). Sistem Absensi Menggunakan Pengenalan Wajah (Face Recognition) Berbasis Web LAN. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, 11(1), 127-135.
- Suryansah, A., Habibi, R., & Awangga, R. M. (2020). *Penggunaan Face Recognition untuk akses ruangan*. Kreatif.
- Dewi, N., & Ismawan, F. (2021). Implementasi deep learning menggunakan CNN untuk sistem pengenalan wajah. *Faktor Exacta*, 14(1), 34-43.
- Nasution, M. Z. (2020). Face recognition based feature extraction using principal component analysis (PCA). *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 3(2), 182-191.