

**IMPLEMENTASI COVOLUTIONAL NEURAL NETWORK UNTUK
FACIAL RECOGNITION****Dhanny Setiawan¹**
Andikha Dwi Putra²
Kezia Stefani³
Jenisa Felisa⁴^{1,2,3,4} Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer
LIKMI Jl. Ir. H. Juanda no 96 Bandungdhanny@likmi.ac.id¹

ABSTRAK

Facial recognition merupakan salah satu teknik biometrik. Teknik yang dapat disebut juga pengenalan wajah ini telah menjadi topik yang cukup diminati untuk diteliti. Pada penelitian ini dilakukan proses pengenalan wajah dengan menggunakan metode CNN (*Convolutional Neural Network*). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengimplementasikan metode CNN ke dalam pengenalan wajah dengan menggunakan *library* Tensorflow. Metode ini digunakan karena proses pembelajaran dilakukan dengan mendalam (*deep learning*). Metode CNN yang digunakan memiliki beberapa lapisan pada proses training yang dilakukan, yaitu lapisan *Conv2D*, *MaxPooling2d*, *Flatten*, dan *Dense*. *Face recognition* yang dihasilkan terdapat pendeteksi wajah menggunakan *Haar Cascade* dengan bantuan *library* Opencv di dalamnya. Jumlah *dataset* juga diketahui dapat mempengaruhi hasil pengenalan dan proses pengenalan wajah dengan CNN juga memerlukan *dataset* yang besar. Adapun jumlah citra wajah yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 90.000 gambar wajah yang berasal dari 36 himpunan gambar dan menghasilkan tingkat akurasi sebesar 97%.

Kata kunci : *convolutional neural network, facial recognition, deep learning*.

1. PENDAHULUAN

Sistem untuk pengenalan identitas perlu mengalami peningkatan dalam hal tingkat akurasi yang lebih baik untuk menangani kejahatan dan pemalsuan identitas. Sistem yang telah terlebih dahulu digunakan seperti token-based system dan knowledge-based. Token-Based memiliki tingkat resiko yang tinggi, seperti pencurian identitas. Knowledge-based juga memiliki tingkat resiko yang tinggi, seperti tidak ingat terhadap kata sandi. Hal ini mengakibatkan sistem pengenalan identitas pada saat ini menggunakan sistem biometrik yang sulit untuk dipalsukan. Sistem tersebut digunakan karena bersifat unik dan spesifik. Biometrik memiliki dua sistem, yaitu perilaku dan fisiologis. Biometrik berdasarkan perilaku, contohnya adalah suara, sedangkan biometrik berdasarkan fisiologis, contohnya adalah tanda tangan, sidik jari dan wajah.

Pengenalan wajah sampai sekarang masih merupakan topik yang menarik untuk diteliti. Pengenalan wajah dapat digunakan untuk berbagai bidang seperti pengendalian akses perbatasan, pengawasan, otentikasi smartphone, forensik, dan layanan online seperti *e-learning* dan *e-commerce* [1]. Pengenalan wajah juga memiliki masalah seperti berbagai macam posisi gambar wajah yang dapat mengakibatkan bagian mata, hidung maupun telinga tidak terlihat secara keseluruhan. Selain itu, dapat juga terjadi permasalahan tambahan dengan adanya penambahan aksesoris/ tambahan seperti contohnya kacamata dan adanya janggut pada gambar wajah. Faktor yang lain yang juga dapat mempengaruhi akurasi

pengenalan wajah adalah tingkat pencahayaan, ukuran gambar, dan ekspresi wajah [2]. Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk pengenalan wajah adalah *Convolutional Neural Network* (CNN) yang merupakan salah satu metode *deep learning*. CNN adalah salah satu kelas *deep feedforward artificial neural networks* yang banyak diaplikasikan pada analisis citra [3].

CNN memiliki sistem proses yang mirip dengan proses visual manusia dan memiliki struktur optimasi yang tinggi dalam memproses gambar dua dimensi maupun tiga dimensi. Arsitektur CNN terdiri atas penggabungan dari tiga jenis *layers*, yaitu lapisan konvolusional (*convolution layers*), *max-pooling*, dan *classification* [4]. Setiap lapisan CNN mentransformasikan volume masukan tiga dimensi ke dalam volume keluaran tiga dimensi aktivasi-aktivasi sel saraf. Berbeda dengan MLP yang arsitekturnya disusun secara dua dimensi, CNN menggunakan arsitektur tiga dimensi, yaitu lebar (*width*), tinggi (*height*), dan dalam (*depth*). Sebagian besar proses komputasi dilakukan di *convolutional layer*, sedangkan *pooling layer* berfungsi untuk menjaga ukuran data ketika *convolution* dengan melakukan pereduksian sampel. *Max-pooling* merupakan proses pooling yang umum digunakan, yaitu dengan memilih nilai maksimum dalam suatu area tertentu [3].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan deteksi wajah menggunakan *webcam*, kemudian melakukan segmentasi terhadap gambar yang diambil, dan melakukan *training* terhadap gambar tersebut menggunakan algoritma *convolutional neural network* (CNN) untuk kemudian dilakukan pengujian. Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi wajah melalui kamera dan kemudian melakukan pengenalan wajah. Penelitian ini dapat dimanfaatkan di bidang lalu lintas untuk mengenali wajah pelanggar rambu lalu lintas [5] atau untuk penerapan keamanan di sebuah perusahaan dengan menggunakan pengenalan wajah.

2. LANDASAN TEORI

2a. Facial Recognition

Facial Recognition (pengenalan wajah) merupakan bagian dari keamanan informasi berkaitan dengan *confidentiality*, *integrity*, dan ketersediaan informasi. [6] penelitian mengenai pengenalan wajah secara otomatis dapat disebut *Automated Face Recognition* (AFR) sudah berlangsung dari tahun 1960. Namun, AFR baru populer pada tahun 1990 dan kemudian setelah itu ditemukan *Eigenfaces*. Beragam model dibangun menggunakan bermacam pendekatan, teknik, dan metode. Tantangan dalam melakukan pengenalan wajah antara lain dari kemiringan wajah, pencahayaan, intensitas cahaya, dan usia. Tahun 2015 menjadi tahun yang penting bagi perkembangan sistem pengenalan wajah, dimana terbentuknya sebuah model pengenalan wajah yang melampaui manusia.

Permasalahan pada pengenalan wajah dibagi menjadi dua bagian, yaitu identifikasi dan verifikasi. Identifikasi diberi masukan sebuah citra wajah dan harus mampu mengidentifikasi citra yang berasal dari wajah yang terdapat pada basis data. Sedangkan verifikasi memasukkan dua citra wajah dan harus memutuskan apakah keduanya berasal dari wajah yang sama.

Biometric dapat dikategorikan menjadi tiga teknik, yaitu *physical biometrics*, *behavioral biometrics* dan *chemical biometrics*. *Physical biometrics* adalah seperti karakteristik wajah dan sidik jari. *Behavioral biometrics* adalah hasil pengukuran kerja seseorang seperti tanda tangan, gaya berjalan, dan bicara. *Chemical biometrics* merupakan pengukuran kimia seperti bau dan komposisi kimia dari keringat manusia.

Menurut Suyanto pengenalan wajah merupakan pengaplikasian dari *machine learning* yang memiliki basis yang memiliki pendekatan yaitu *geometric* dan *photometric*. Pendekatan *geometric* merupakan pendekatan menggunakan fitur dari posisi mata, posisi

mulut, bentuk dagu dan sebagainya. Sedangkan untuk pendekatan *photometric* dengan melakukan proses penyulingan citra wajah secara keseluruhan kedalam nilai dan membandingkan [3].

2b. Deep Learning dan CNN

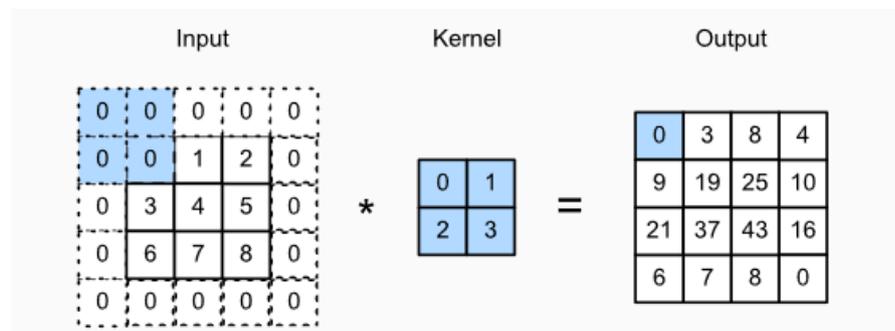
Deep learning diperkenalkan di sebuah kompetisi pengenalan citra *ImageNet Large Scale Visual Recognition Comparison (ILSVRC)* yang diselenggarakan tahun 2012, *deep learning* menjadi pemenang dengan tingkat akurasi tertinggi [3]. *Deep learning* dapat diartikan menjadi pembelajaran yang mendalam terdapat teknik dari jaringan saraf tiruan (ANN), merupakan bagian dari *machine learning* [7].

Artificial Neural Network, *Decision tree learning* dan sebagainya sebagai pembelajaran secara dangkal, jumlah lapisan terbatas (*shallow Learning*). *Deep learning* pengembangan dari *Artificial Neural Network* terkhusus *Multi Layer Perceptron (MLP)*. MLP memiliki perbedaan dengan *Deep Learning* yaitu MLP menggunakan konsep jaringan terhubung penuh, sedangkan *Deep learning* memiliki skema jaringan yang lebih sederhana karena menggunakan filter. *Deep learning* diterapkan untuk menyelesaikan masalah diantaranya klasifikasi, deteksi, segmentasi, dan menggenerasi gambar dan video dalam pengaplikasian computer vision [7]. *Deep learning* terdapat algoritma *Convolutional Neural Network (CNN)*, CNN memiliki perbedaan dengan MLP yaitu CNN memiliki berarsitektur tiga dimensi yaitu lebar, tinggi, dan kedalaman sedangkan MLP menggunakan dua dimensi [3].

Convolutional Neural Network dapat membantu menangani variasi yang kompleks dalam gambar dengan mendapatkan nilai akurasi yang lebih tinggi [7]. Bagian – bagian dari CNN diantaranya *Convolutional layer*, *pooling layer* dan *fully connected layer* [8].

a. Convolutional Layer

Lapisan *convolutional* merupakan lapisan terpenting dengan melakukan proses konvolusi (*Convolution*). Konvolusi merupakan salah satu istilah pada ilmu matematika [9].

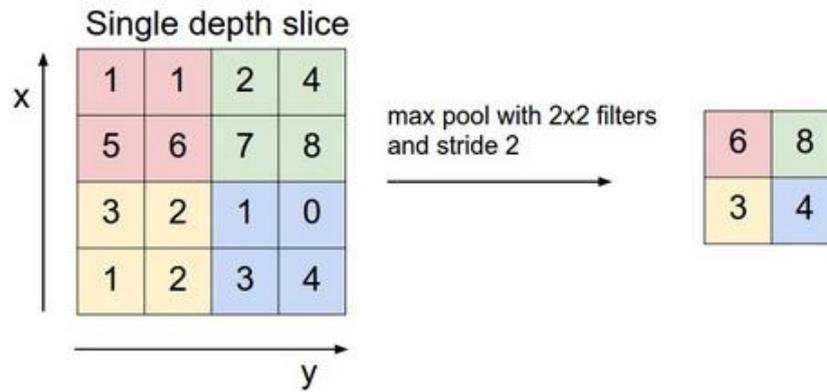


Gambar 1 Contoh Proses Convolution

Pada gambar 1 menunjukkan proses convolution dengan input dilakukan proses zero padding [3].

b. Pooling Layer

Lapisan *pooling* memiliki fungsi dengan melakukan *downsampling*. Lapisan *convolution* dan lapisan *pooling* memiliki fungsi mengurangi dan mencegah *overfitting*, mengurangi jumlah parameter menjadi mengurangi kompleksitas tanpa kehilangan informasi [10]. Lapisan pooling memiliki beberapa tipe yaitu *max pooling*, *L2-norm pooling* dan *average pooling*. *Max pooling* memberikan performa lebih baik [3]. Pada Gambar 2 merupakan salah satu contoh max pooling.



Gambar 2. Contoh Max Pooling

c. Fully Layer

Lapisan *Fully* merupakan lapisan yang terhubung sepenuhnya ke semua *neuron*, lapisan *fully* sama dengan *Multi Layer Perceptron*. Pada tahap ini tidak diatur secara spasial mengakibatkan ketika sudah sampai lapisan *fully*, tidak boleh ditambah lapisan *convolution* [10]. Komputasi menggunakan suatu perkalian *matriks* yang diikuti dengan bias *offset* [3].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perangkat lunak dirancang berdasarkan pengimplentasian algoritma CNN pada *Face Recognition*. Sistem akan mendapatkan citra yang akan menjadi *dataset* dari capture *webcam*. Kemudian, sebelum proses pengenalan dilakukan, maka *dataset* yang sudah tersimpan tersebut harus dilatih terlebih dahulu. Library yang digunakan untuk melatih data latih yang sudah tersedia adalah *Tensorflow* (Keras) dengan algoritma CNN, sedangkan pendeteksi wajah menggunakan *library opencv*.

Tahapan dimulai dengan proses pendaftaran, di mana dalam proses ini citra wajah akan disimpan pada *webcam* dan juga dilakukan pemberian label pada citra tersebut. Proses pendeteksian wajah berlangsung ketika pada citra yang tertangkap oleh kamera dapat dikenali objek yang menyerupai wajah manusia. Pada citra tersebut selanjutnya akan diberi tanda berupa border kotak sebagai penunjuk citra wajah.

Terhadap citra wajah yang tersedia akan dilakukan augmentasi data dengan tujuan untuk memperbanyak jumlah data citra dan meminimalisir *over-fitting*. Proses training sendiri menggunakan lapisan Conv2D, MaxPooling2d, Flatten, dan Dense. Model training yang digunakan pada percobaan ini berupa model training berulang (*sequential*). Jumlah dataset yang digunakan dalam pengujian ini adalah 36 orang yang 33 orang diantaranya berasal dari *database bollywood celeb face 0* dan 3 orang selanjutnya berasal dari dataset yang dibuat sendiri.

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 222, 222, 32)	896
max_pooling2d_3 (MaxPooling2)	(None, 111, 111, 32)	0
conv2d_4 (Conv2D)	(None, 109, 109, 32)	9248
max_pooling2d_4 (MaxPooling2)	(None, 54, 54, 32)	0
flatten_2 (Flatten)	(None, 93312)	0
dense_3 (Dense)	(None, 128)	11944064
dense_4 (Dense)	(None, 36)	4644
Total params: 11,958,852		
Trainable params: 11,958,852		
Non-trainable params: 0		

Gambar 3. Model Latih CNN

3.a Pengujian Model Percobaan

Pada proses testing Performa dilakukan sebanyak dua kali. Pertama, dengan menggunakan 36 orang dengan jumlah 16.704 data yang di-*training*. Jumlah data uji yang digunakan sebanyak 1.800, mendapatkan hasil 66%. Pengujian performa dengan menggunakan GPU dengan *epoch* 5 dan *step per epoch* 350.

Tabel 1
Hasil Evaluasi Percobaan Pertama

No.	Nama	Jumlah Data uji	Pression	recall
1	Aamir	50	0,64	0,63
2	Abhay	50	0,7	0,73
3	Abhishek	50	0,76	0,58
4	Aftab	50	0,58	0,56
5	Aishwarya	50	0,7	0,78
6	Ajay	50	0,6	0,64
7	Akshay	50	0,66	0,61
8	Akshaye	50	0,78	0,59
9	Alia	50	0,72	0,88
10	Ameesha	50	0,56	0,57
11	Amitabh	50	0,7	0,78
12	Amrita	50	0,6	0,61
13	Amy	50	0,68	0,63
14	Anil	50	0,66	0,66
15	Anushka_sharma	50	0,66	0,67
16	Anushka_Shetty	50	0,6	0,5
17	Arjun_Kapoor	50	0,76	0,75
18	Arjun_Rampal	50	0,66	0,72
19	Arshad	50	0,62	0,62
20	Asin	50	0,56	0,62
21	Ayushmann	50	0,72	0,77
22	Bhumi	50	0,58	0,64
23	Bipasha	50	0,66	0,75
24	Bobby	50	0,72	0,82
25	Deepika	50	0,66	0,72
26	Disha	50	0,72	0,75
27	Emraan	50	0,66	0,65
28	Esha	50	0,72	0,86
29	Farhan	50	0,6	0,65
30	Govinda	50	0,72	0,73
31	Hrithik	50	0,62	0,65
32	Huma	50	0,6	0,6
33	Ileana	50	0,8	0,78
34	Andikha	50	0,58	0,56
35	Bill Gates	50	0,62	0,5
36	Elon Musk	50	0,698	0,6

$$\text{overall accuracy} = \frac{1189}{1800} \times 100\% = 66,06\%$$

Pada proses testing kedua dilanjutkan masih dengan menggunakan 36 orang dengan jumlah diperbanyak dengan teknik augmentasi. Dengan total data *training* 90.000 wajah. Data uji yang digunakan dengan total 18.000 wajah. Dengan tidak merubah epoch dan step per epoch. Dapat dilihat pada gambar 17 dengan hasil 97%.

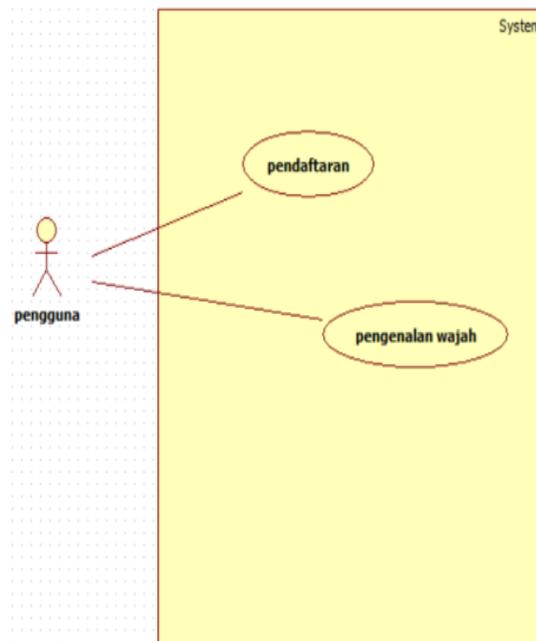
Tabel 2
Hasil Evaluasi Percobaan Kedua

No.	Nama	Jumlah Data	Presision	recall
1	Aamir	500	0,968	0,968
2	Abhay	500	0,972	0,98
3	Abhishek	500	0,962	0,958
4	Aftab	500	0,972	0,978
5	Aishwarya	500	0,974	0,98
6	Ajay	500	1	0,996
7	Akshay	500	0,966	0,966
8	Akshaye	500	0,992	0,982
9	Alia	500	0,972	0,984
10	Ameesha	500	0,964	0,962
11	Amitabh	500	0,982	0,986
12	Amrita	500	0,966	0,976
13	Amy	500	0,982	0,992
14	Anil	500	0,962	0,962
15	Anushka_sharma	500	0,982	0,98
16	Anushka_Shetty	500	0,974	0,978
17	Arjun_Kapoor	500	0,97	0,99
18	Arjun_Rampal	500	0,984	0,978
19	Arshad	500	0,996	0,992
20	Asin	500	0,96	0,949
21	Ayushmann	500	0,97	0,974
22	Bhumi	500	0,978	0,978
23	Bipasha	500	0,992	0,992
24	Bobby	500	0,982	0,984
25	Deepika	500	0,986	0,976
26	Disha	500	0,97	0,97
27	Emraan	500	0,954	0,956
28	Esha	500	0,994	0,986

No.	Nama	Jumlah Data	Presision	recall
29	Farhan	500	0,998	0,963
30	Govinda	500	0,96	0,978
31	Hrithik	500	0,976	0,984
32	Huma	500	0,95	0,963
33	Ileana	500	0,97	0,962
34	Andikha	500	0,954	0,952
35	Bill Gates	500	0,958	0,95
36	Elon Musk	500	0,99	0,988

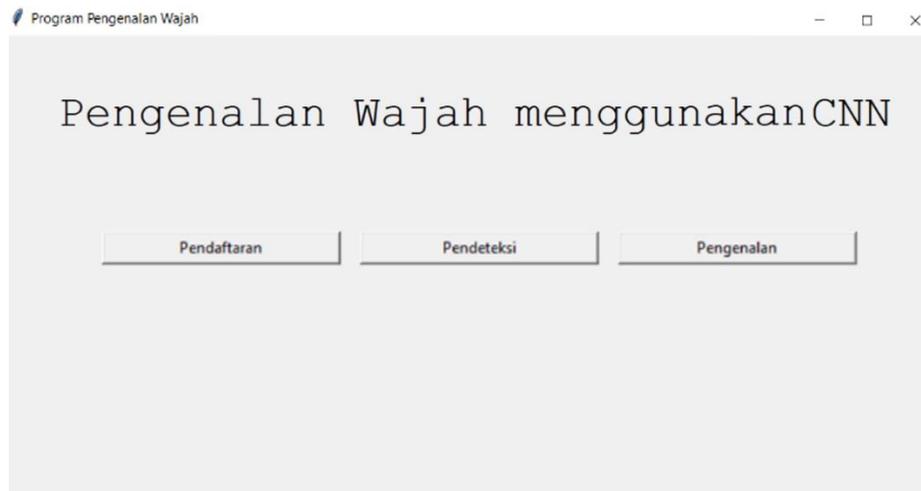
$$\text{Overall accuracy} = \frac{17541}{18000} \times 100\% = 97,45\%$$

3.b Perancangan Antarmuka

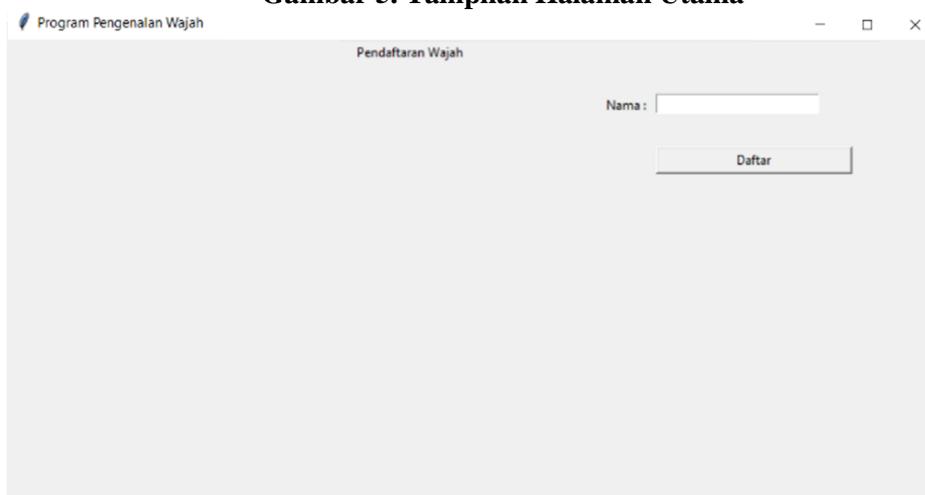


Gambar 4. Use Case Diagram

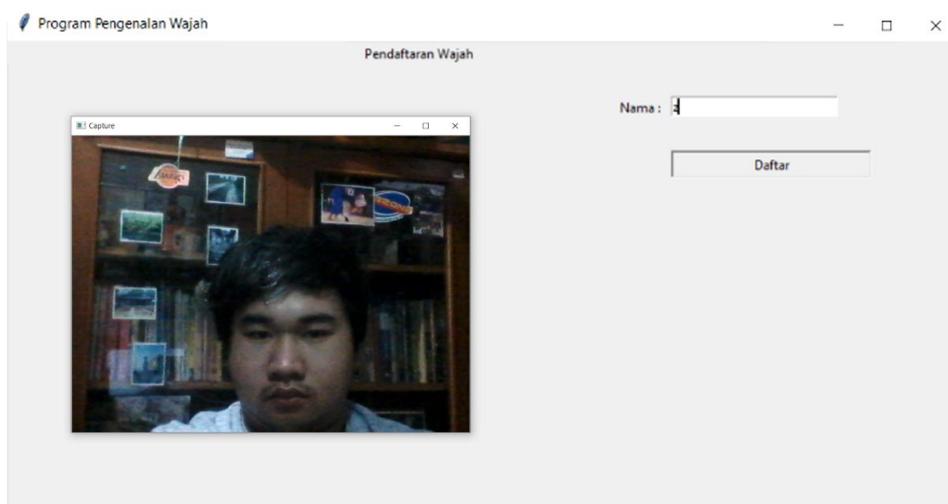
Pada halaman muka (**Gambar 5**) ditampilkan tiga buah *button* (tombol). Tombol pendaftaran yang ditekan akan menampilkan frame pendaftaran. Tombol Deteksi wajah menampilkan frame Deteksi Wajah. Tombol Pengenalan wajah memanggil frame Pengenalan.



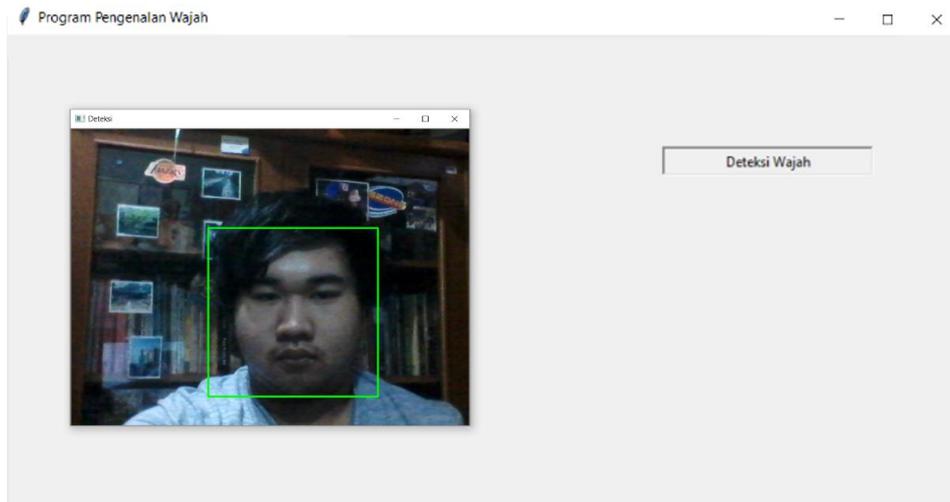
Gambar 5. Tampilan Halaman Utama



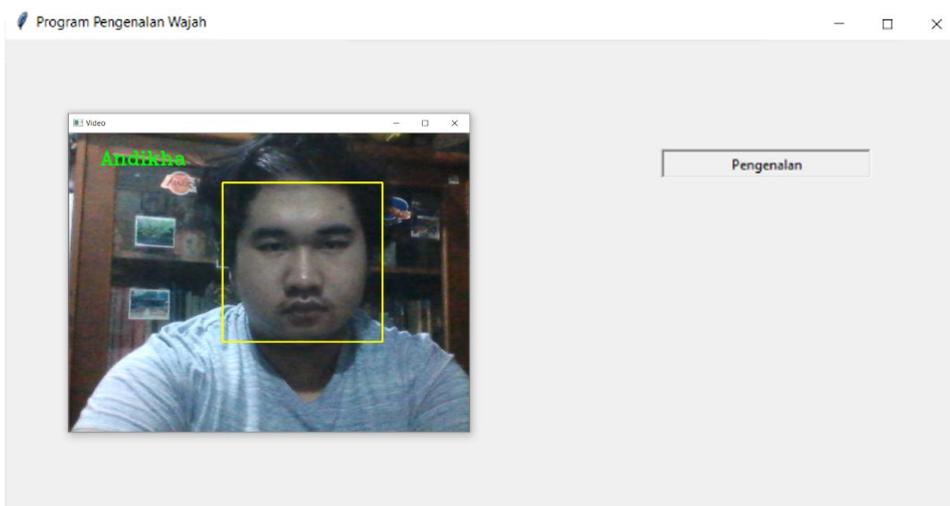
Gambar 6. Tampilan Frame Pendaftaran



Gambar 7. Tampilan Ketika Menekan Button Daftar



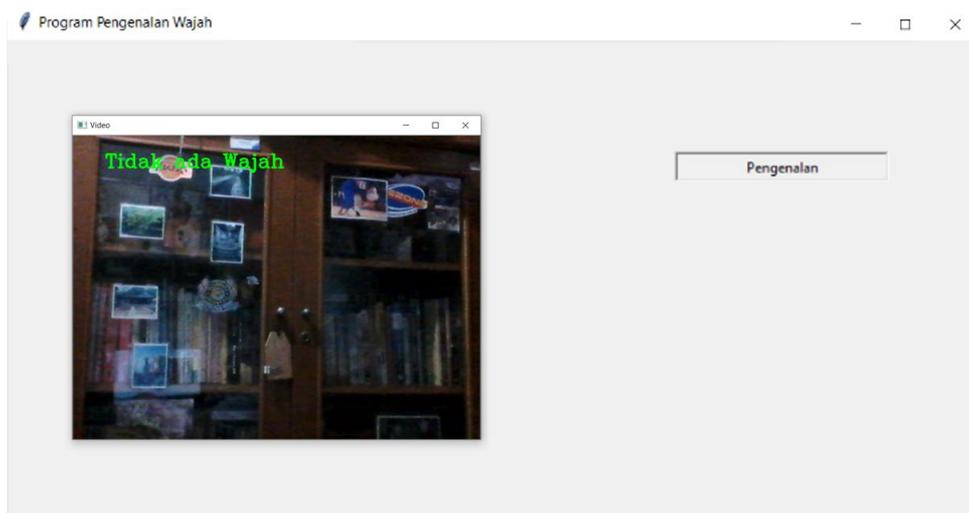
Gambar 8. Tampilan Pendeteksian Wajah



Gambar 9. Tampilan Pengenalan Wajah

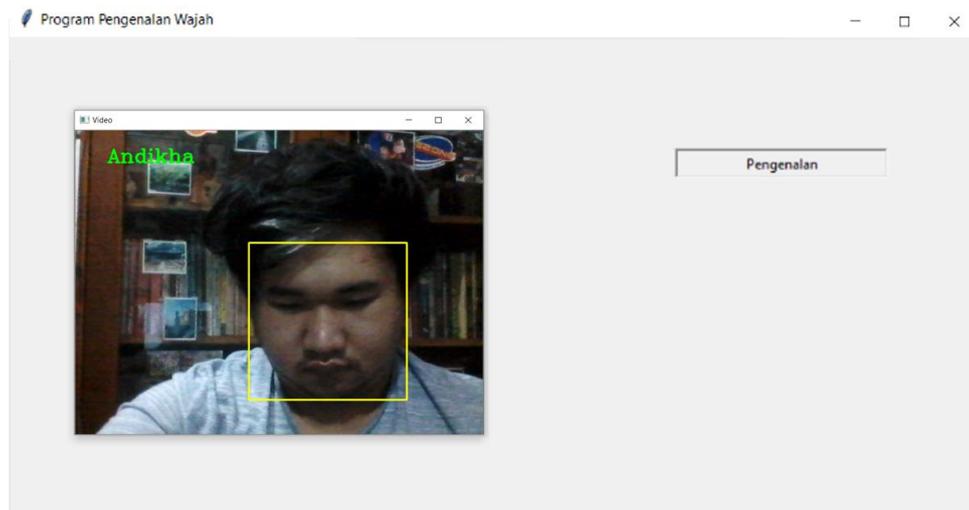
3.c Pengujian Facial Recognition secara *Real Time*

Pada **Gambar 10** berikut, merupakan tampilan pada pengenalan wajah ketika diuji dengan tidak ada wajah pada sorotan *webcam*.



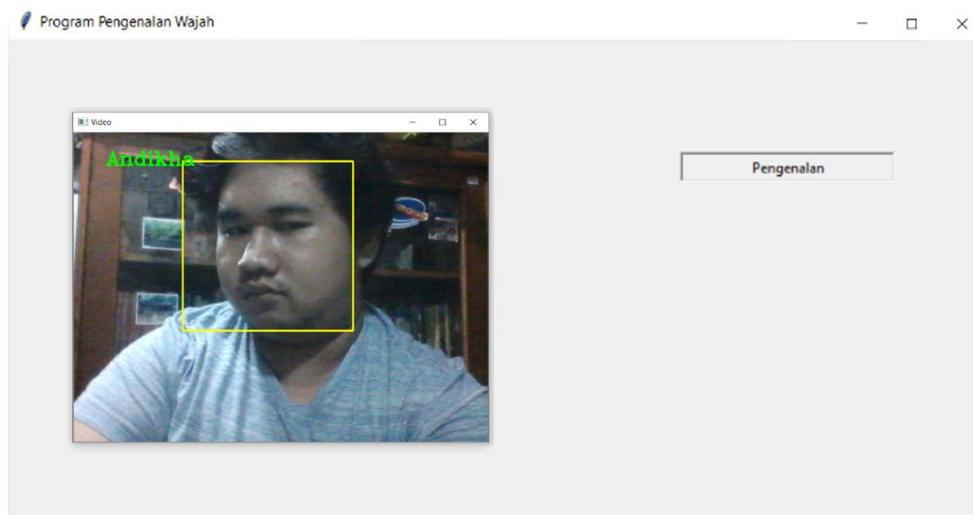
Gambar 10. Pengujian tidak ada wajah

Selanjutnya (**Gambar 11**) merupakan tampilan pengujian saat wajah pada posisi mengarah ke bawah (menunduk) yang terlihat dapat dikenali.



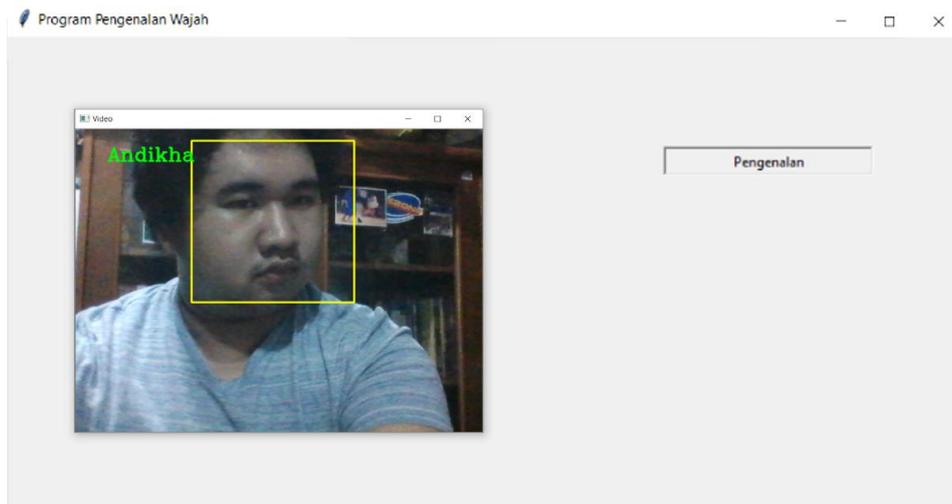
Gambar 11. Pengujian Wajah menghadap ke bawah

Berikut (**Gambar 12**) saat pengujian dengan wajah menghadap ke sebelah kanan. Tampak citra wajah masih dapat dikenali.



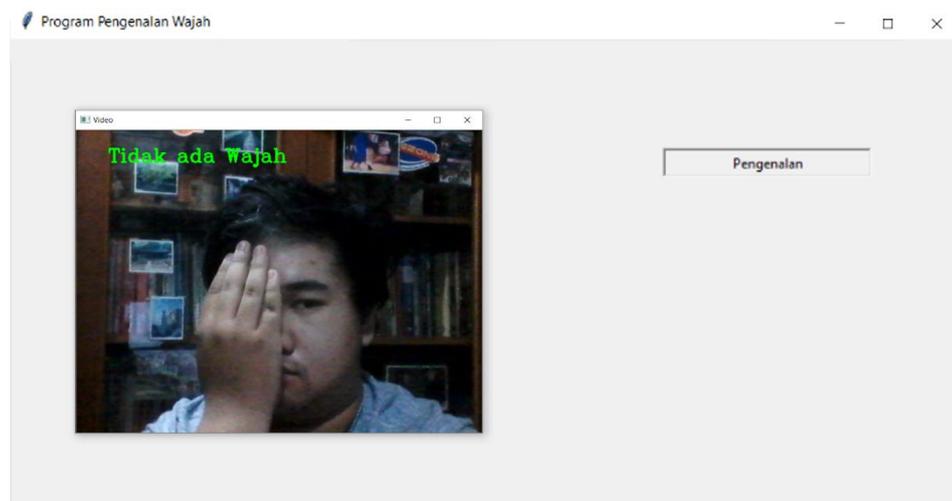
Gambar 12. Wajah menghadap ke sebelah kanan

Pada saat pengujian dimana wajah menghadap ke arah sebelah kiri (**Gambar 13**), citra masih dapat dikenali.



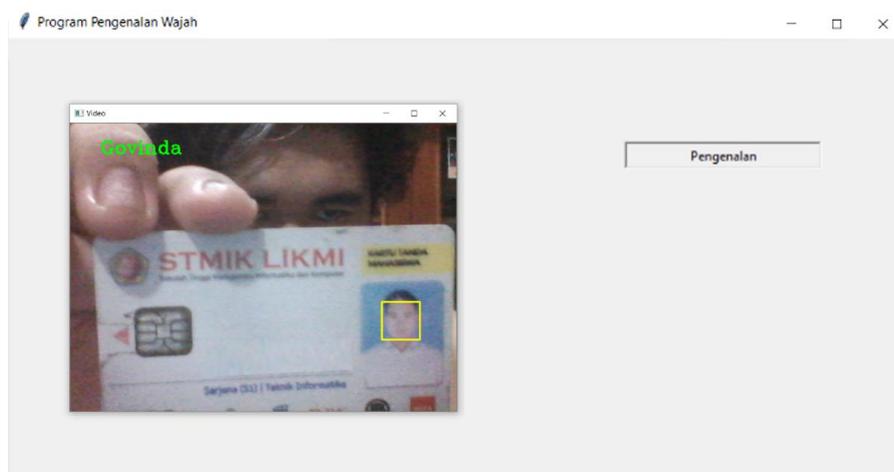
Gambar 13. Wajah menghadap ke sebelah kiri

Gambar berikut (**Gambar 14**) menampilkan pengujian dengan cara sebelah wajah ditutupi oleh tangan dan hasilnya wajah tidak terdeteksi, mengakibatkan tidak dapat dikenali.



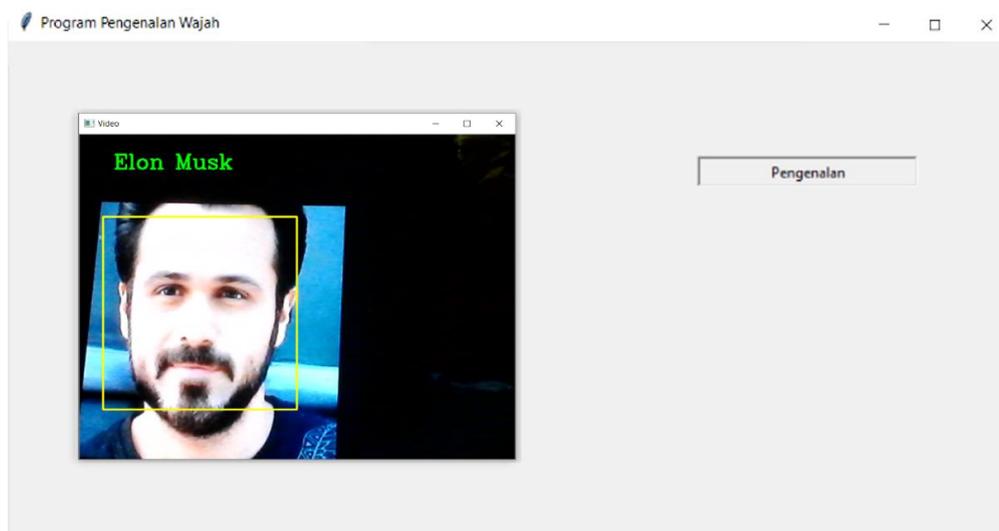
Gambar 14. Wajah ditutupi sebagian tidak dikenali

Berikutnya (**Gambar 15**) menampilkan pengujian terhadap gambar menggunakan foto pada kartu pengenal mahasiswa dan hasilnya citra dapat terdeteksi namun tidak dikenali.



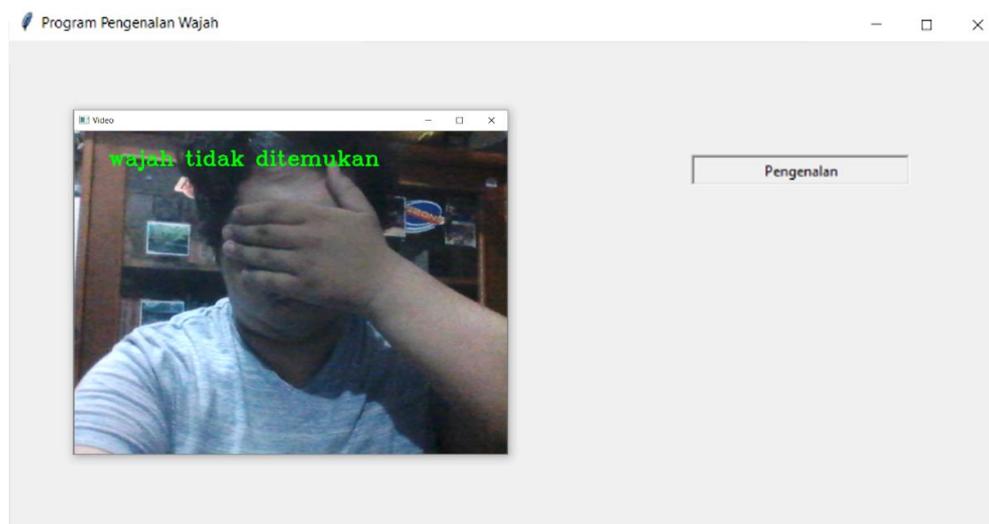
Gambar 15. Hasil pengenalan menggunakan kartu identitas

Pengujian pada gambar selanjutnya (**Gambar 16**) menampilkan pengujian dengan pengenalan wajah yang menampilkan gambar wajah yang muncul pada layar *Handphone* dengan hasil prediksi tidak cocok.



Gambar 16. Pengenalan dari gambar pada layar handphone

Pengujian selanjutnya (**Gambar 17**) menampilkan pengujian pengenalan wajah dengan menutup kedua mata dengan tangan dan hasilnya wajah tidak terdeteksi.



Gambar 17. Pengujian dengan menutup kedua mata

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah kemampuan sistem untuk mendapatkan tingkat akurasi yang cukup tinggi yaitu sebesar 97,64% dengan menggunakan 5 epoch. Hasil ini lebih baik dari penelitian yang dilakukan sebelumnya dengan pengambilan gambar menggunakan *webcam*, di mana tingkat akurasi yang diperoleh adalah sebesar 65% [11]

Tetapi ada hal lain terjadi pada saat pengujian terhadap wajah yang terdapat dalam kartu pengenalan dan wajah yang ditampilkan melalui layar telepon genggam di mana sistem tidak dapat memprediksi wajah dengan benar. Hal tersebut dapat dikarenakan pengenalan wajah merupakan sistem biometrik yang bersifat unik dan tidak bisa dipalsukan.

Dalam pembangunan ini, adapun saran diajukan untuk menjadi masukan dalam Implementasi CNN untuk pengenalan wajah sebagai berikut:

1. Data set yang digunakan atau data yang hendak diuji hendaklah menggunakan jumlah yang banyak karena hal tersebut akan berpengaruh terhadap hasil *training* dengan jumlah minimal per kelas sebanyak 2000 data gambar.
2. Dalam proses pengembangan selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lanjut menggunakan sistem pendeteksi wajah yang mampu menangkap citra wajah dengan lebih baik seperti halnya dalam penerapan menggunakan pendeteksi MT-CNN.
3. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan ke arah pengaplikasian secara langsung, seperti misalnya untuk mengenali penjahat atau pelaku kriminal ataupun dalam aplikasi absensi kehadiran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Hernandez-Ortega, J. Fierrez, A. Morales and J. Galbally, "Introduction to Face Presentation Attack," in *Handbook of Biometric Anti-Spoofing: Presentation Attack Detection*, Springer, 2019, pp. 187-206.
- [2] N. H. Alskeini, K. N. Thanh, V. Chandran and W. Boles, "Face recognition: Sparse Representation vs. Deep Learning," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Graphics and Signal Processing*, Sydney, 2018.
- [3] Suyanto, *Machine Learning Tingkat Dasar dan Lanjut*, Bandung: Informatika, 2018.
- [4] M. Z. Alom, T. M. Taha, C. Yakopcic, S. Westberg, P. Sidike, M. S. Nasrin, B. C. V. Essen, A. A. S. Abdul and V. K. Asari, "The History Began from AlexNet: A Comprehensive Survey on Deep Learning Approaches," *Cornell University Library's arXiv.org*, pp. 1-37, 2018.
- [5] C. T. Ferraz and J. H. Saito, "A Comprehensive Analysis of Local Binary Convolutional Neural Network for Fast Face Recognition in Surveillance Video," in *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, Salvador, 2018.
- [6] A. K. Datta, M. Datta and dkk., *Face Detection and Recognition*, CRC Press, 2015.
- [7] S. Gollapudi, *Learn Computer Vision Using OpenCv: With Deep Learning CNNs and RNNs*, Apress, 2019.
- [8] Y. Sun, B. Xue, M. Zhang and G. G. Yen, "Evolving Deep Convolutional Neural Networks for Image Classification," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, pp. 1-14, 2019.
- [9] L. M. Azizah, S. F. Umayah, S. Riyadi, C. Damarjati and N. A. Utama, "Deep learning implementation using convolutional neural network in mangosteen surface defect detection," *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCCE)*, pp. 243- 246, 2017.
- [10] N. Aloysius and M. Geetha, "A review on deep convolutional neural networks," *International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, pp. 588-592, 2017.

- [11] Y. Gan, "Facial Expression Recognition Using Convolutional Neural Network," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Vision, Image and Signal Processing*, Las Vegas, 2018.