



PENGEMBANGAN APLIKASI *EMOTION RECOGNITION* DAN *FACIAL RECOGNITION* MENGGUNAKAN ALGORITMA *LOCAL BINARY PATTERN HISTOGRAM* (LBPH) DAN *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* (CNN)

Haeruddin ¹, Herman ², Patrick Pratama Hendri ³

^{1,2,3}Teknologi Informasi, Universitas Internasional Batam
Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia 29426
haeruddin@uib.ac.id, herman@uib.ac.id, 1932024.patrick@uib.edu

Abstract

In the current modern era facial recognition technology can be found inside of everyday life, but said technology still has a big problem which is deepfake, where in which a deepfake can bypass security systems created with facial recognition as its base, one facial aspect that a deepfake cannot replicate perfectly is the emotion that can be observed from expression, which is why an emotion can be used as a tool to detect a deepfake, which is why an application that can detect both face and emotion at the same time is needed to add security to facial recognition technology, writer has succeeded in creating an application that can do both emotion recognition and facial recognition at the same time using LBPH (Local Binary Pattern Histogram) algorithm and purposive sampling technique for the facial recognition aspect with 67.5% accuracy and CNN (Convolutional Neural Network) algorithm using FER2013 (Facial emotion Recognition 2013) dataset for the emotion recognition aspect with 58.4% accuracy, with CRISP-DM method that can achieve the average accuracy rate of 63%, because currently not many research combine facial recognition using LBPH (Local Binary Pattern Histogram) algorithm and emotion recognition using CNN (Convolutional Neural Network) algorithm at the same time.

Keywords: AI, CNN, CRISP-DM, LBPH, Machine Learning

Abstrak

Pada zaman modern sekarang teknologi *facial recognition* sudah dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, akan tetapi teknologi ini masih memiliki satu masalah besar yaitu *deepfake*, dimana sebuah *deepfake* dapat mengelabui sistem keamanan yang dikembangkan berbasis *facial recognition*, salah satu aspek wajah yang belum dapat di replikasi dengan sempurna oleh *deepfake* adalah emosi yang dapat dilihat berdasarkan ekspresi wajah, oleh karena itu emosi dapat digunakan sebagai sebuah alat untuk mendeteksi sebuah *deepfake*, oleh karena itu dibutuhkan sebuah aplikasi yang dapat mendeteksi wajah dan emosi secara bersamaan untuk menambahkan keamanan teknologi *facial recognition*, penulis berhasil mengembangkan sebuah aplikasi yang dapat melakukan *emotion recognition* dan *facial recognition* secara bersamaan menggunakan algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dengan data yang didapatkan menggunakan teknik *purposive sampling* untuk aspek *facial recognition* dengan keakuratan 67.5% dan algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*) dengan menggunakan *dataset FER2013 (Facial emotion Recognition 2013)* untuk aspek *emotion recognition* dengan keakuratan 58.4%, menggunakan metode CRISP-DM yang dapat menghasilkan rata-rata keakuratan sebesar 63%, diakarenakan belum banyak penelitian yang menggabungkan *facial recognition* menggunakan algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dengan *emotion recognition* menggunakan algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*) secara bersamaan.

Kata kunci: AI, CNN, CRISP-DM, LBPH, Machine Learning

1. PENDAHULUAN

Pada zaman modern sekarang teknologi *facial recognition* sudah banyak dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari manusia. Sekarang ini sebuah mesin dapat secara otomatis melakukan verifikasi informasi identitas dalam yang dapat digunakan kebutuhan keamanan dan pengawasan ataupun untuk mengakses kontrol ke dalam sebuah gedung [1].

Seiring dengan perkembangannya teknologi *facial recognition* bertambah juga kegunaannya dalam berbagai aspek kehidupan manusia, dari sisi keamanan teknologi ini dapat digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi kriminal menggunakan CCTV [2]. Dari sisi bisnis, teknologi ini memberikan sebuah pilihan baru sebagai alat pembayaran yang lebih aman [3]. Dari sisi edukasi juga

teknologi ini dapat mempermudah dan mempercepat proses absensi siswa dalam kelas [4]. Selain dari aspek-aspek tersebut teknologi *facial recognition* juga dapat ditemukan dalam *smartphone* modern sebagai alat autentikasi pengguna secara langsung [1]. Akan tetapi teknologi ini masih dapat menghasilkan dampak negatif yang ditimbulkan oleh segelintir manusia yang menyalahgunakan teknologi ini [5], salah satu diantaranya adalah pembuatan *deepfake*.

Deepfake adalah *video hyper-realistic* yang menggambarkan orang-orang mengatakan ataupun melakukan sesuatu yang tidak pernah terjadi dalam kenyataan [6]. *Deepfake* biasanya dibuat dengan memasukkan wajah seseorang dan sebuah *video* yang tidak ada hubungannya dengan orang tersebut kedalam sebuah algoritma *deep-learning* agar bisa didapatkan sebuah AI yang dapat mengubah wajah yang muncul dalam *video* tersebut menjadi wajah orang yang lain [6]. Sebuah *deepfake* berdasarkan kualitas produksinya dapat dibagi menjadi dua yaitu *low quality* dan *high quality*, sebuah *deepfake high quality* dapat menipu sistem autentikasi yang menggunakan *facial recognition* dengan tingkat keakuratan sebesar 85.62% sampai dengan 95% [7]. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah teknologi yang dapat mendeteksi sebuah *deepfake*.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendeteksi sebuah *deepfake* adalah dengan menggunakan pendeteksi emosi atau *emotion recognition*. Dikarenakan sebuah *deepfake* yang diproduksi dengan menggunakan algoritma *face-swap* belum dapat menciptakan kembali ekspresi yang sesuai dengan emosi [8]. Kemudian lagi sebuah *deepfake* juga belum bisa menghasilkan ekspresi emosi yang konsisten dengan emosi yang dideteksi dari dalam suaranya [9]. Oleh karena itu pengenalan emosi atau *emotion recognition* dapat digunakan sebagai lapisan tambahan keamanan dalam sebuah aplikasi *facial recognition* untuk mengurangi dampak negatif dari *deepfake*.

Pengembangan teknologi *facial recognition* dapat dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *python* dengan *library opencv* (*Open Computer Vision*) yang dapat mempermudah dan memberikan peralatan – peralatan yang dapat digunakan dalam proses pengembangan aplikasi *facial recognition* [10]. Salah satu algoritma yang digunakan dalam pembuatan aplikasi *facial recognition* adalah algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) yang direkomendasikan oleh [11] dikarenakan aplikasi yang dihasilkan dapat memberikan hasil yang bagus dari berbagai eksperimen dalam skenario yang telah ditentukan. Kemudian untuk pengembangan aplikasi *emotion recognition* yang dapat mendeteksi emosi yang sedang dirasakan oleh subjek yang terdeteksi secara real-time dengan menggunakan algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*), algoritma tersebut dapat menghasilkan sebuah aplikasi yang dapat mencapai tingkat keakuratan sebesar 89.98% [12].

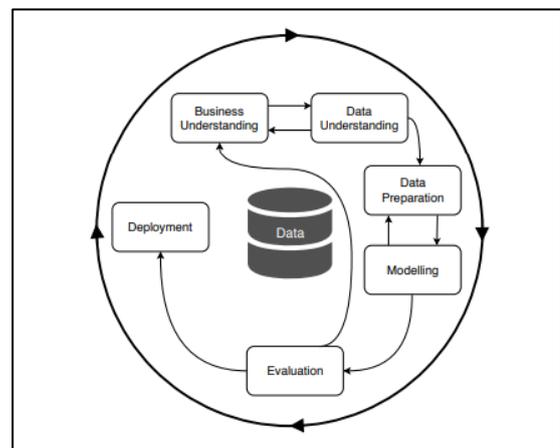
Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sebuah aplikasi yang dapat mendeteksi wajah dan emosi subjek secara *real-time* yang menggunakan sampel wajah ras asia tenggara. Penelitian ini dilakukan dengan metode CRISP-DM (*Cross-industry standard process for data mining*) sebagai kerangka dalam pengembangan aplikasi *emotion recognition* dan *facial recognition* menggunakan algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dan CNN (*Convolutional Neural Network*). Diakarenakan belum banyak penelitian yang menggabungkan *facial recognition* menggunakan algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dengan *emotion recognition* menggunakan algoritma CNN (*Convolutional Neural Network*) secara bersamaan. Penulis berharap dengan adanya penelitian ini dapat membantu penelitian lainnya yang membutuhkan aplikasi yang bisa merekognisi wajah dan emosi secara bersamaan di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Dalam perancangan aplikasi *emotion recognition* dan *facial recognition* menggunakan algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dan CNN (*Convolutional Neural Network*) penulis menggunakan metode CRISP-DM seperti [13] sebagai kerangka proses pengembangan aplikasi. Penelitian ini juga menggunakan *dataset* FER2013 [12] sebagai *dataset* pendukung pembuatan model *emotion recognition*. Berikut penjelasan lebih lanjut metode penelitian yang dilakukan oleh penulis.

2.1 Metode Pengembangan

Pada penelitian “Pengembangan Aplikasi *Emotion Recognition* dan *Facial Recognition* Menggunakan Algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dan CNN (*Convolutional Neural Network*)” penulis menggunakan metode CRISP-DM (*Cross-industry standard process for data mining*) sebagai kerangka pengembangan aplikasi. Dikarenakan metode CRISP-DM masih digunakan sebagai kerangka umum dalam proses pengelolaan data [13]. Dimana tahapannya ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Proses CRISP-DM [13]

a. Business Understanding

Pada tahap ini penulis melakukan studi literatur dan mendapatkan bahwa *deepfake* sebagai salah satu kelemahan dari teknologi *facial recognition* dan menemukan cara untuk mengatasi masalah tersebut. Berdasarkan [8], [9] emosi dapat digunakan sebagai sebuah cara untuk mendeteksi *deepfake* mulai dari kualitas yang rendah sampai dengan kualitas yang tinggi.

b. Data Understanding

Pada tahap ini penulis akan mengumpulkan dan menganalisis kualitas data yang akan digunakan. Data yang digunakan untuk melatih *facial recognition* merupakan 100 gambar wajah dan nama untuk 5 subjek yang dipilih dengan menggunakan teknik *purposive sampling* dan *dataset FER2013 (Facial Expression Recognition 2013)* sebagai data landasan model *emotion recognition*.

c. Data Preparation

Pada tahap ini penulis akan memulai mempersiapkan data yang didapatkan dari tahap *data preparation* untuk proses selanjutnya. Penulis melakukan pembersihan data atau *data cleaning* ke dalam data wajah yang telah dikumpulkan, dengan cara menghapus gambar wajah yang tidak *valid* dengan *parameter* sebuah wajah wajib terlihat jelas dan lengkap memiliki 2 mata, sebuah hidung, dan mulut yang terlihat dengan jelas seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Contoh gambar wajah yang valid, dimana terlihat 2 mata, sebuah hidung, dan mulut yang jelas

Kemudian penulis akan mengubah *dataset FER2013* dari bentuk *csv* menjadi foto-foto yang dikelompokkan ke dalam *folder* tersendiri berdasarkan jenis emosi dan kegunaan foto sebagai *data training* atau *data testing*.

d. Modelling

Pada tahap ini penulis akan mulai membuat *model* yang akan digunakan dalam aplikasi yang akan dihasilkan menggunakan data yang telah disiapkan pada tahap *data preparation*. Untuk membangun model aspek *facial recognition*, akan digunakan algoritma LBPH yang akan mengasosiasikan aspek wajah yang ada dengan nama subjek yang sesuai. Kemudian penulis menggunakan algoritma CNN dengan 28709 data emosi yang digunakan dan dilatih

selama 50 *epoch* untuk menghasilkan model yang akan digunakan dalam aspek *emotion recognition*.

Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut:

- LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*)
LBPH (*Local Binary pattern Histogram*) sejak penemuannya merupakan algoritma yang cukup bagus untuk mengklasifikasikan tekstur-tekstur tertentu seperti wajah, algoritma ini membutuhkan 4 *parameter* unik untuk memproses sebuah gambar, yaitu : *radius* (r), *neighbors* (n), *X-axis* dan *Y-axis* [14].
- CNN (*Convolutional Neural Network*)
Metode CNN dihasilkan dari pengembangan metode *Multilayer Perceptron (MLP)* untuk memproses data dalam 2 dimensi [15]. Cara kerja CNN hampir sama dengan MLP akan tetapi, dengan MLP setiap *neuron* hanya terdapat dalam 1 dimensi sedangkan pada CNN setiap *neuron* terdiri dari 2 dimensi [16].

e. Evaluation

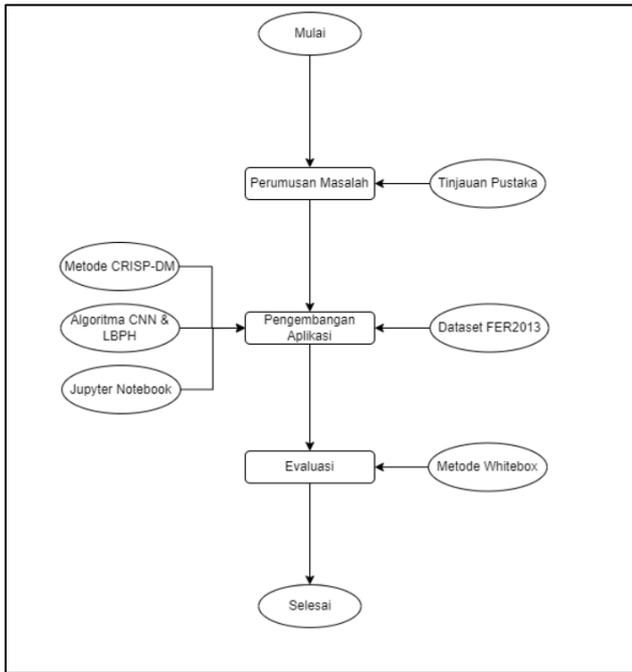
Pada tahap ini penulis mengevaluasi *model* yang telah dihasilkan dari tahap *modelling* dengan metode *software testing whitebox*, dimana tingkat akurasi dapat dihasilkan dengan mengevaluasi logika internal dan struktur program dengan melakukan evaluasi berdasarkan hasil dari skenario yang telah ditentukan dan hasil yang seharusnya didapatkan [17].

f. Deployment

Tahap *deployment* tidak dilakukan pada penelitian ini, dikarenakan penelitian ini bersifat *experimental* studi yang mana bertujuan untuk menguji penerapan algoritma LBPH & CNN dan belum *di-deploy* kedalam aplikasi tertentu.

2.2 Tahapan penelitian

Berikut terlampir tahapan penulis dalam melakukan penelitian “Pengembangan Aplikasi *Emotion Recognition* dan *Facial Recognition* Menggunakan Algoritma LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) dan CNN (*Convolutional Neural Network*)” yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Research Flow

Berikut merupakan penjelasan dari alur penelitian diatas :

1. Pada tahap pertama penulis mulai dari perumusan masalah berdasarkan topik yang diangkat untuk menentukan arah dan hasil dari penelitian ini.
2. Pada tahap kedua penulis mulai mengembangkan aplikasi *facial recognition* dengan algoritma LPBH dan *emotion recognition* dengan algoritma CNN menggunakan metode CRISP-DM sebagai kerangka proses pengembangan aplikasi. Penulis juga menggunakan *dataset FER2013* sebagai data yang digunakan untuk membuat model *emotion recognition*.
3. Pada tahap ketiga penulis akan mengevaluasi performa dari aplikasi yang telah selesai dikembangkan dengan metode *software testing whitebox* untuk mendapatkan tingkat keakuratan aplikasi.
4. Pada tahap terakhir setelah penulis mendapatkan hasil performa aplikasi, penulis akan menarik kesimpulan sesuai dengan hasil yang didapatkan serta memberikan rekomendasi kepada pembaca.

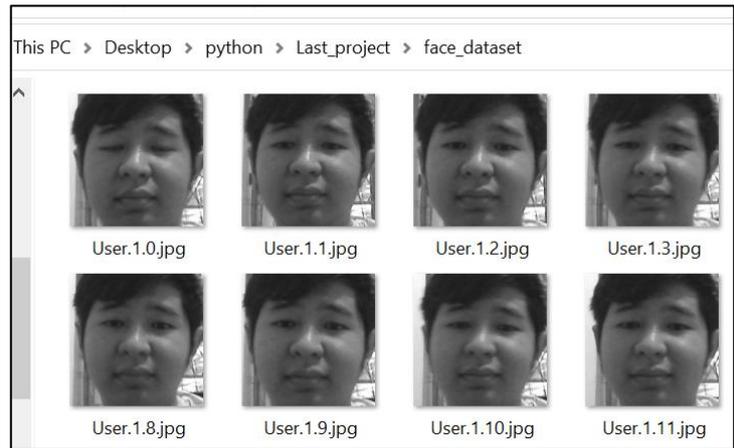
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan oleh penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma LBPH dapat mendeteksi fitur wajah secara *real-time* dengan hasil keakuratan sebesar 67.5% yang didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Farah Deeba, et.al pada tahun 2019 [11]. Begitu juga dengan algoritma CNN yang dapat mendeteksi emosi secara *real-time* dengan hasil keakuratan 58.4 % dan didukung oleh penelitian oleh Rohit Pathar, et.al pada tahun 2019 [12]. Selain itu kedua algoritma ini juga dapat mendapatkan rata-rata 63 % tingkat keakuratan ketika digunakan secara bersamaan. Hasil evaluasi dapat dilihat dalam tabel 1.

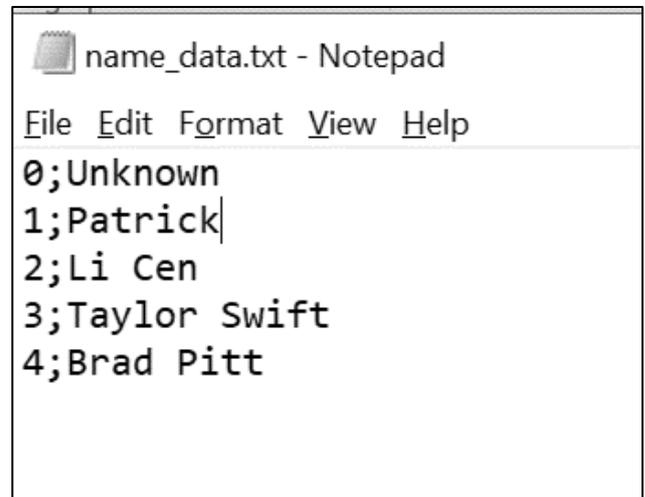
Tabel 1. Tabel Hasil Evaluasi Algoritma

Test dalam real-time	Kebenaran		Total Data	Total (%)
	Ya	Tidak		
Facial Recognition	52	25	77	67.5
Emotion Recognition	45	32	77	58.4
Rata-rata				63

a. Facial Recognition

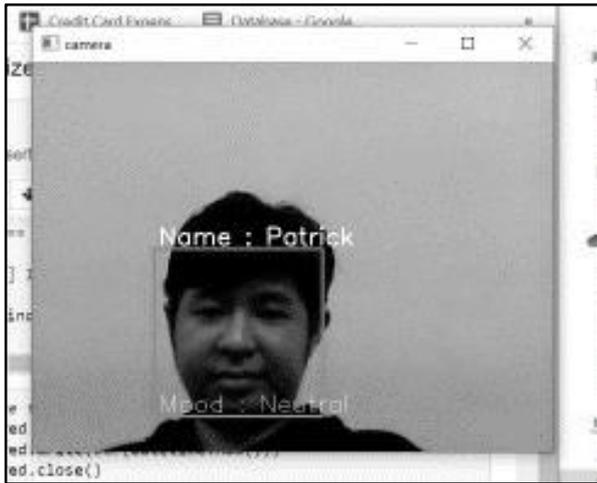


Gambar 4. Data Wajah yang Didapatkan akan Disimpan Per User sebanyak 100 kali



Gambar 5. Penyimpanan Nama dan ID Subjek

Sebelum dapat digunakan untuk mendeteksi wajah secara *real-time* algoritma LBPH membutuhkan *dataset* wajah yang akan diasosiasikan dengan nama subjek tersebut. Dapat dilihat dari gambar 4 dan 5 penulis menyimpan data wajah subjek dan nama subjek yang sesuai dengan nama *file* yang telah didapatkan.



Gambar 6. LBPH Berhasil Merekognisi Wajah, dimana identitas subjek dapat direkognisi dengan benar

Berdasarkan gambar 6 dapat dilihat bahwa algoritma LBPH dapat merekognisi wajah subjek apabila *dataset* wajah subjek telah diregistrasikan kedalam algoritma. Penulis juga menguji algoritma ini lebih lanjut dengan menguji lebih dari satu subjek secara *real-time*.



Gambar 7. Hasil Rekognisi Dua Wajah Sekaligus, dimana wajah dan emosi subjek 1 (kiri) dapat diidentifikasi dengan benar sedangkan wajah subjek 2 (kanan) tidak dapat di-identifikasi dengan benar



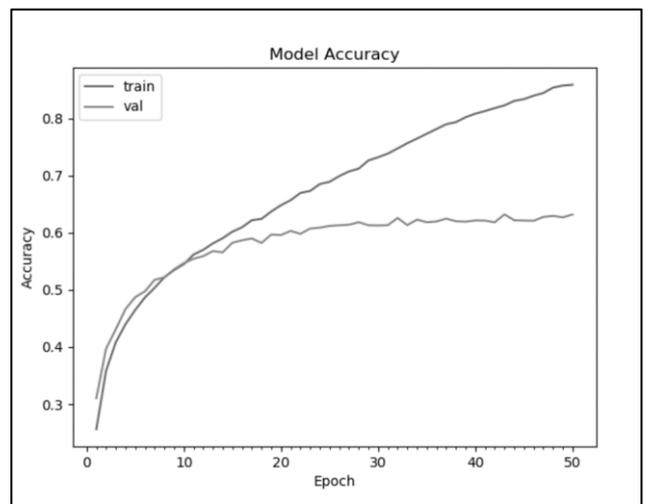
Gambar 8. Hasil Rekognisi Tiga Wajah sekaligus, dimana 2 subjek bagian bawah dapat teridentifikasi dengan benar sedangkan 1 subjek bagian atas tidak dapat diidentifikasi dengan benar

Akan tetapi algoritma LBPH masih memiliki kelemahan dalam merekognisi wajah, apabila subjek yang didapatkan lebih dari satu orang. Dapat dilihat dari gambar 7 dimana dari dua wajah yang didapatkan hanya satu yang nama dari subjek tersebut dapat ditemukan, dan gambar 8 dimana dari tiga subjek hanya dua subjek yang dapat terdeteksi.

Secara keseluruhan algoritma LBPH dapat menghasilkan rata-rata tingkat keakuratan sebesar 67.5% dari 77 kali *testing* dimana 40 diantaranya merupakan satu subjek secara *real-time* dan 37 sisanya merupakan lebih dari satu subjek secara langsung.

b. Emotion Recognition

Tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan menggunakan algoritma CNN dapat diperhatikan dalam gambar 9. Dimana dari *dataset* FER2013 yang berisi dengan 35887 dipisahkan menjadi 28709 *data training* dan 7178 *data validasi*, yang dilakukan selama 50 *epoch*.



Gambar 9. Kurva Keakuratan *Data Training* vs *Data Validasi* selama 50 *Epoch*

Untuk mengevaluasi ketepatan algoritma secara *real-time* penulis melakukan *testing* sebanyak 77 kali, dimana 40 diantaranya merupakan satu subjek secara *real-time* dan 37 sisanya merupakan lebih dari satu subjek secara langsung. Hasil yang didapatkan menunjukkan akurasi yang cukup baik apabila subjek yang dideteksi dapat menunjukkan emosi secara jelas seperti yang terlihat dalam gambar 10.



Gambar 10. Aplikasi berhasil mendeteksi emosi dengan benar dimana dapat terlihat subjek sedang senang

Tetapi apabila posisi ataupun emosi subjek tidak dapat terlihat dengan jelas, maka aplikasi akan memberikan hasil prediksi emosi yang dianggap paling dekat dengan atribut wajah subjek yang sedang dideteksi seperti yang terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Aplikasi memberikan prediksi emosi yang tidak tepat dimana wajah subjek terlihat tidak marah

Secara keseluruhan algoritma CNN dapat menghasilkan rata-rata tingkat keakuratan 58.4 % dalam mendeteksi emosi wajah secara *real-time*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, aplikasi yang dapat melakukan *facial recognition* menggunakan algoritma LBPH dan *emotion recognition* dengan algoritma CNN berhasil dihasilkan. Berikut deskripsi proses aplikasi yang telah dihasilkan:

1. Proses pembuatan model menggunakan algoritma LBPH untuk aspek *facial recognition* dan algoritma CNN dengan *dataset FER2013* untuk aspek *emotion recognition*, dimana kedua algoritma ini dapat melakukan proses ekstraksi fitur dan prediksi wajah.
2. Rekognisi wajah dan emosi secara *real-time* menggunakan LBPH untuk klasifikasi wajah seakurat

67.5% dan CNN untuk klasifikasi emosi seakurat 58.4%.

3. Ketika aplikasi sedang berjalan, informasi klasifikasi wajah dan emosi yang dideteksi akan dimunculkan secara langsung di atas tampilan kamera yang diambil.

Dibutuhkan penelitian yang lebih lanjut untuk dapat menghasilkan model yang dapat membaca wajah dan emosi dari ekspresi dimana terdeteksi lebih dari 1 subjek secara efektif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis P.P.H. mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Universitas Internasional Batam, Bapak Dr. Hendi Sama selaku Dekan Fakultas Sistem Informasi Universitas Internasional Batam, orang tua dan keluarga besar penulis, dan sahabat dan teman-teman penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. Zarkasyi, M. R. Hidayatullah, and E. M. Zamzami, "Literature Review: Implementation of Facial Recognition in Society," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1566, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1566/1/012069.
- [2] N. B. Aherwadi, D. Chokshi, S. Pande, and A. Khamparia, "Criminal Identification System using Facial Recognition," *SSRN Electron. J.*, 2021, doi: 10.2139/ssrn.3884827.
- [3] Y. Zhong and H. C. Moon, "Investigating Customer Behavior of Using Contactless Payment in China: A Comparative Study of Facial Recognition Payment and Mobile QR-Code Payment," *Sustain.*, vol. 14, no. 12, 2022, doi: 10.3390/su14127150.
- [4] S. Bussa, A. Mani, S. Bharuka, and S. Kaushik, "Smart Attendance System using OPENCV based on Facial Recognition," *Int. J. Eng. Res.*, vol. V9, no. 03, pp. 54–59, 2020, doi: 10.17577/ijertv9is030122.
- [5] I. Arifin, R. F. Haidi, and M. Dzalhaqi, "Penerapan Computer Vision Menggunakan Metode Deep Learning pada Perspektif Generasi Ulul Albab," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 7, no. 2, pp. 98–107, 2021, doi: 10.54914/jtt.v7i2.436.
- [6] M. Westerlund, "The emergence of deepfake technology: A review," *Technol. Innov. Manag. Rev.*, vol. 9, no. 11, pp. 39–52, 2019, doi: 10.22215/TIMREVIEW/1282.
- [7] P. Korshunov and S. Marcel, "Vulnerability assessment and detection of Deepfake videos," *2019 Int. Conf. Biometrics, ICB 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICB45273.2019.8987375.
- [8] J. M. López-Gil, R. Gil, and R. García, "Do Deepfakes Adequately Display Emotions? A Study on Deepfake Facial Emotion Expression," *Comput.*

- Intell. Neurosci.*, vol. 2022, p. 1332122, 2022, doi: 10.1155/2022/1332122.
- [9] B. Hosler *et al.*, “Do deepfakes feel emotions? A semantic approach to detecting deepfakes via emotional inconsistencies,” *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Work.*, pp. 1013–1022, 2021, doi: 10.1109/CVPRW53098.2021.00112.
- [10] T. Dhawle, U. Ukey, and R. Choudante, “IRJET-Face Detection and Recognition using OpenCV and Python,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 10, 2020.
- [11] F. Deeba, A. Ahmed, H. Memon, F. A. Dharejo, and A. Ghaffar, “LBPH-based enhanced real-time face recognition,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 5, pp. 274–280, 2019, doi: 10.14569/ijacsa.2019.0100535.
- [12] R. Pathar, A. Adivarekar, A. Mishra, and A. Deshmukh, “Human Emotion Recognition using Convolutional Neural Network in Real Time,” *Proc. 1st Int. Conf. Innov. Inf. Commun. Technol. ICICT 2019*, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1109/ICICT1.2019.8741491.
- [13] F. Martinez-Plumed *et al.*, “CRISP-DM Twenty Years Later: From Data Mining Processes to Data Science Trajectories,” *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 33, no. 8, pp. 3048–3061, 2021, doi: 10.1109/TKDE.2019.2962680.
- [14] L. Wang and A. A. Siddique, “Facial recognition system using LBPH face recognizer for anti-theft and surveillance application based on drone technology,” *Meas. Control (United Kingdom)*, vol. 53, no. 7–8, pp. 1070–1077, 2020, doi: 10.1177/0020294020932344.
- [15] J. T. Springenberg, A. Dosovitskiy, T. Brox, and M. Riedmiller, “Striving for simplicity: The all convolutional net,” *3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015 - Work. Track Proc.*, pp. 1–14, 2015.
- [16] L. Zahara, P. Musa, E. Prasetyo Wibowo, I. Karim, and S. Bahri Musa, “The Facial Emotion Recognition (FER-2013) Dataset for Prediction System of Micro-Expressions Face Using the Convolutional Neural Network (CNN) Algorithm based Raspberry Pi,” *2020 5th Int. Conf. Informatics Comput. ICIC 2020*, vol. 7, 2020, doi: 10.1109/ICIC50835.2020.9288560.
- [17] S. Nidhra, “Black Box and White Box Testing Techniques - A Literature Review,” *Int. J. Embed. Syst. Appl.*, vol. 2, no. 2, pp. 29–50, 2012, doi: 10.5121/ijesa.2012.2204.