

PENGENALAN WAJAH PADA VIDEO DENGAN METODE ACTIVE APPEARANCE MODEL (AAM)

FACE RECOGNITION IN VIDEOS USING THE ACTIVE APPEARANCE MODEL (AAM)

Maulana Azhar Asyrofie¹, Dadang Iskandar Mulyana²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Cipta Karya Informatika
Azharasyrof@gmail.com¹, mahvin2012@gmail.com²

ABSTRACT

This research focuses on the development and implementation of the Active Appearance Model (AAM) method to improve the accuracy and efficiency of facial recognition in videos. Biometric systems aim to measure and analyze the unique physical or behavioral characteristics of an individual. In this context, the face plays an essential role in visual communication, and automatic facial recognition in computer vision is a significant challenge. The main issues identified in this research include changes in facial pose and expression, lighting variations, and the lack of comprehensive studies on video-based facial recognition. The objectives of this research are to develop an effective AAM model for facial recognition in videos, identify the factors influencing the performance of the facial recognition system using the AAM method, and analyze the performance of the AAM method under various video conditions. The data used comes from a public dataset that includes 35,887 facial images with varying expressions and lighting conditions. The AAM method is trained using this dataset and tested to evaluate its performance. The AAM model used in this research consists of three main components: shape model, motion model, and appearance model. The testing is conducted to assess the model's performance, robustness against varying conditions, and its comparison with other models. The results of this research are expected to significantly contribute to the advancement of facial recognition technology and provide a strong foundation for further research in the field of computer vision.

Keywords: keywords, Active Appearance Model (AAM), Face Recognition, Computer Vision

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pengenalan wajah dalam video menggunakan metode Active Appearance Model (AAM), sebuah teknik yang mengintegrasikan informasi bentuk dan tekstur wajah untuk melakukan deteksi serta fitting wajah dengan presisi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja model AAM yang dilatih menggunakan dataset Labeled Faces in the Wild (LFPW) dan menerapkannya pada aplikasi real-time. Uji coba dilakukan dalam berbagai kondisi pencahayaan, variasi ekspresi wajah, dan sudut pandang yang berbeda untuk menilai ketahanan (robustness) dari model yang dikembangkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa AAM mampu mengenali wajah dengan tingkat akurasi yang signifikan, bahkan pada kondisi video real-time yang menantang. Namun, ditemukan penurunan performa ketika model dihadapkan dengan kondisi pencahayaan yang sangat rendah atau sangat terang serta variasi ekspresi wajah yang sangat signifikan. Meski demikian, hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa model AAM yang dilatih pada dataset LFPW memberikan tingkat kesalahan fitting rata-rata sebesar 0,12 pada landmark wajah tertentu, terutama di area mata dan mulut. Temuan ini mengindikasikan bahwa AAM memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam sistem pengenalan wajah berbasis video, namun memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk menghadapi situasi yang lebih kompleks.

Kata Kunci: Model Penampilan Aktif (AAM), Pengenalan Wajah, Visi Komputer.

PENDAHULUAN

Pengenalan wajah adalah bidang computer vision yang semakin penting karena penerapannya yang luas, dari keamanan hingga media sosial. Meskipun banyak metode yang sukses pada gambar statis, tantangan dalam video, seperti perubahan pose, ekspresi wajah, dan

variasi pencahayaan, membuat pengenalan wajah menjadi lebih sulit. Penelitian ini berfokus pada pengembangan metode Active Appearance Model (AAM) untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pengenalan wajah dalam video. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja

sistem pengenalan wajah dan menganalisis performa AAM dalam berbagai kondisi video. Hasilnya diharapkan dapat memperbaiki teknologi pengenalan wajah dan menjadi dasar bagi penelitian lebih lanjut di bidang computer vision.

TINJAUAN PUSTAKA

Survei Metodologi

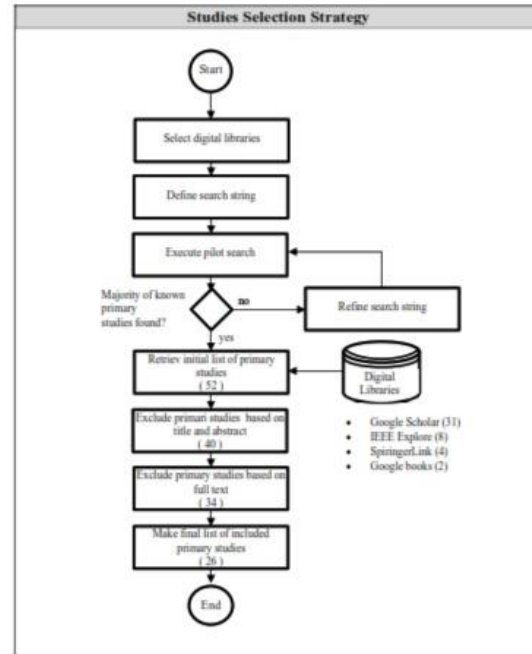
Metodologi survei ini disusun berdasarkan **PICOC** (Population, Intervention, Comparison, Outcomes, Context) sebagai identifikasi kebutuhan informasi dari sumber penelitian – penelitian sebelumnya dalam table 2.1 yaitu:

Table 1. Survei PICOC

Judul Tema Survei :
Pengenalan Wajah pada Video dengan Metode Active Appearance Model (AAM)

Population	Face Recognition, video analysis, facial landmark detection, convolutional neural networks (CNNs)
Intervention	Kualitas gambar, pose wajah, Ekspresi wajah, atribut wajah, noise, algoritma pra-pemrosesan, konteks lingkungan
Comparison	Metode pengenalan wajah lain seperti Haar Cascade atau Convolutional Neural Network (CNN)
Outcomes	Akurasi pengenalan wajah, kecepatan pemrosesan, robusta terhadap variasi pose dan pencahayaan
Context	Data Private

Strategi Seleksi Studi atau **Studies Selection Strategy** yaitu melakukan tahapan sebagai berikut yaitu :



Pengenalan Wajah/ Face Recognition

Pengenalan wajah adalah teknologi biometrik yang digunakan untuk mengidentifikasi atau memverifikasi identitas seseorang berdasarkan fitur-fitur wajah mereka. Proses ini melibatkan beberapa langkah, termasuk deteksi wajah, ekstraksi fitur, dan pencocokan dengan data wajah yang telah tersimpan. Pengenalan wajah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti keamanan, pengawasan, dan interaksi manusia-komputer.

Active Appearance Model (AAM)

Active Appearance Model (AAM) adalah salah satu teknik dalam pengenalan wajah yang menggabungkan bentuk (shape) dan tampilan (appearance) dari objek, dalam hal ini wajah manusia. AAM adalah model generatif yang dapat menyesuaikan bentuk dan tekstur wajah berdasarkan gambar input. Model ini menggunakan pendekatan statistik untuk menangkap variasi bentuk dan tampilan wajah, serta dapat melakukan fitting pada gambar baru dengan menyesuaikan bentuk dan tampilan berdasarkan model yang telah dilatih.

Landmark Wajah

Landmark wajah merujuk pada titik-titik khusus pada wajah yang digunakan untuk menandai fitur-fitur penting seperti mata, hidung, mulut, dan kontur wajah. Landmark ini sangat penting dalam pengenalan wajah karena menjadi dasar dalam proses fitting pada model seperti AAM. Dengan menentukan posisi landmark, model dapat mengenali dan menyesuaikan bentuk wajah pada gambar yang berbeda.

Dataset LFPW (Labeled Face Parts in the Wild)

LFPW adalah dataset yang digunakan untuk pelatihan model pengenalan wajah. Dataset ini berisi gambar-gambar wajah dengan anotasi titik-titik landmark yang menandai fitur-fitur wajah. LFPW dirancang untuk mendukung penelitian dalam pengenalan wajah dengan menyediakan gambar-gambar yang bervariasi dalam hal posisi, ekspresi, dan pencahayaan. Dengan menggunakan dataset ini, model pengenalan wajah dapat dilatih untuk mengenali dan menyesuaikan fitur wajah pada berbagai kondisi.

Algoritma Lucas-Kanade

Algoritma Lucas-Kanade adalah salah satu metode dalam pemrosesan gambar yang digunakan untuk melacak pergerakan objek antara dua gambar yang berbeda. Dalam konteks pengenalan wajah, algoritma ini digunakan untuk melakukan fitting model AAM pada gambar baru dengan menyesuaikan posisi dan tampilan landmark wajah. Algoritma ini bekerja dengan cara meminimalkan perbedaan antara model dan gambar aktual melalui iterasi.

Pengenalan Wajah Real-Time

Pengenalan wajah real-time merujuk pada proses pengenalan wajah yang dilakukan secara langsung dengan menangkap gambar atau video dari kamera, seperti webcam, dan memprosesnya secara instan.

Implementasi real-time ini memungkinkan aplikasi pengenalan wajah untuk digunakan dalam situasi yang membutuhkan respons cepat, seperti keamanan dan autentikasi.

Jupyter Notebook

Jupyter Notebook adalah lingkungan komputasi interaktif yang memungkinkan penulis untuk menulis dan menjalankan kode Python secara langsung dalam bentuk catatan (notebook). Jupyter Notebook sangat berguna dalam pengembangan dan penelitian karena mendukung integrasi antara kode, visualisasi data, dan dokumentasi dalam satu tempat. Dalam konteks penelitian pengenalan wajah, Jupyter Notebook dapat digunakan untuk mengembangkan, menguji, dan memvisualisasikan model pengenalan wajah, termasuk penerapan model AAM.

Python

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang populer karena kesederhanaannya dan kemampuan pemrogramannya yang luas. Python banyak digunakan dalam penelitian ilmiah dan pengembangan perangkat lunak, termasuk dalam pengenalan wajah. Berkat pustaka dan ekosistem yang kaya, seperti OpenCV dan dlib, Python memungkinkan pengembangan dan implementasi algoritma pengenalan wajah secara efisien dan efektif.

OpenCV (Open Source Computer Vision Library)

OpenCV adalah pustaka open-source yang dirancang untuk pemrosesan gambar dan penglihatan komputer (computer vision). Dalam pengenalan wajah, OpenCV menyediakan berbagai fungsi untuk deteksi wajah, ekstraksi fitur, dan manipulasi gambar yang diperlukan dalam proses pengenalan wajah. OpenCV mendukung berbagai bahasa pemrograman, termasuk Python, dan

merupakan alat penting dalam implementasi sistem pengenalan wajah.

Dlib

dlib adalah pustaka perangkat lunak yang digunakan untuk pembelajaran mesin, pengolahan gambar, dan pengenalan wajah. dlib menyediakan algoritma untuk deteksi wajah, ekstraksi fitur wajah (seperti landmark), dan implementasi model seperti AAM. Pustaka ini sangat efisien dan sering digunakan bersama dengan OpenCV untuk mengembangkan aplikasi pengenalan wajah yang canggih.

Menpo

Menpo adalah pustaka Python yang dirancang khusus untuk analisis dan pemrosesan bentuk dan penampilan (shape and appearance) dalam gambar. Pustaka ini menyediakan berbagai alat untuk deteksi dan analisis bentuk, fitting model, serta pengelolaan dan visualisasi data. Menpo sangat relevan dalam pengembangan model Active Appearance Model (AAM), karena mendukung proses fitting dan manipulasi bentuk wajah serta fitur-fitur wajah lainnya. Dengan Menpo, penelitian dalam pengenalan wajah dapat dilakukan dengan lebih mudah, termasuk pelatihan dan evaluasi model-model yang kompleks.

METODE

Pengenalan dan Persiapan Data

Gambar-gambar dalam dataset dikonversi menjadi skala abu-abu untuk mengurangi kompleksitas data warna. Gambar-gambar tersebut kemudian dipotong sesuai dengan proporsi titik-titik landmark yang sudah dilabeli dengan menambahkan padding sebesar 20%. Jika ukuran diagonal gambar lebih dari 400 piksel, gambar tersebut di-rescale agar semua gambar berada dalam skala yang konsisten. Berikut adalah formula dasar yang digunakan dalam proses ini:

$$\text{Rescale Factor} = \frac{400.0}{\text{Diagonal}}$$

$$\text{Image Crop} = \text{Landmark Boundaries} \times (1 + \text{Padding})$$

Pelatihan Model Active Appearance Model (AAM)

Model Active Appearance Model (AAM) dilatih menggunakan gambar-gambar yang sudah diproses pada tahap sebelumnya. AAM adalah model yang menggabungkan informasi bentuk (shape) dan tampilan (appearance) dari objek untuk melakukan fitting pada gambar baru. Pada penelitian ini, model dilatih menggunakan fitur landmark yang telah diekstraksi dari gambar wajah. Berikut adalah parameter utama yang digunakan dalam pelatihan AAM:

1. Scales: Skala yang digunakan untuk melatih model pada berbagai resolusi, yaitu 0.5 dan 1.0.
2. Max Shape Components: Komponen bentuk maksimum yang dipertimbangkan, yaitu 20.

Max Appearance Components: Komponen tampilan maksimum yang dipertimbangkan, yaitu 150.

Deteksi dan Fitting Wajah

Pada tahap ini, detektor wajah digunakan untuk menemukan bounding box wajah pada gambar, dan model AAM digunakan untuk menyesuaikan bentuk wajah pada bounding box yang terdeteksi. Proses fitting dilakukan menggunakan algoritma Lucas-Kanade yang diimplementasikan dalam framework Menpo.

$$\text{Fitting Error} = \sum_{i=1}^n \| I_i - \hat{I}_i \|$$

di mana I_i adalah titik landmark yang terdeteksi, dan \hat{I}_i adalah titik landmark hasil fitting.

Implementasi Pengenalan Wajah Real-Time

Model yang sudah dilatih juga diimplementasikan dalam aplikasi pengenalan wajah real-time menggunakan

webcam. Pada setiap frame yang diambil oleh webcam, dilakukan proses deteksi wajah dan fitting menggunakan model AAM. Proses ini memungkinkan pengenalan wajah dilakukan secara langsung dengan hasil yang divisualisasikan dalam bentuk titik-titik landmark yang digambar di atas frame asli.

Rancangan Pengujian

Rancangan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian pada Dataset Statis: Pengujian ini bertujuan untuk mengukur akurasi model AAM dalam mendeteksi dan melakukan fitting pada gambar-gambar wajah dari testset LFPW. Hasil pengujian dibandingkan dengan ground truth untuk mengukur error fitting.
2. Pengujian pada Variasi Kondisi Pencahayaan dan Ekspresi: Model diuji pada gambar-gambar dengan variasi pencahayaan dan ekspresi untuk menilai robustitas model terhadap perubahan kondisi.
3. Pengujian Real-Time: Model diimplementasikan dalam aplikasi real-time untuk menguji kinerja dan kecepatan pengenalan wajah ketika digunakan dengan webcam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Dataset LFPW (Labeled Face Parts in the Wild)

Dataset ini terdiri dari gambar-gambar wajah yang telah diberi anotasi titik-titik landmark pada berbagai fitur wajah seperti mata, hidung, dan mulut.

```
# Train
path_to_images = './lfpw/trainset/'
training_images = []
for img in print_progress(mio.import_images(path_to_images, verbose=True)):
    # convert to greyscale
    if img.n_channels == 3:
        img = img.as_greyscale()
    # crop to landmarks bounding box with an extra 20% padding
    img = img.crop_to_landmarks_proportion(0.2)
    # rescale image if its diagonal is bigger than 400 pixels
    d = img.diagonal()
    if d > 400:
        img = img.rescale(400.0 / d)
    # define a TriMesh which will be useful for Piecewise Affine Warp of HolisticAAM
    labeller(img, 'PTS', face_ibug_68_to_face_ibug_68_trimesh)
    # append to list
    training_images.append(img)
```

Gambar 1. Train Dataset

Pelatihan Model Active Appearance Model (AAM)

Model AAM adalah model generatif yang digunakan untuk menggabungkan bentuk (shape) dan tampilan (appearance) dari wajah manusia.

```
from menpofit.aam import HolisticAAM
from menpo.Feature import no_op

aam = HolisticAAM(training_images, group='face_ibug_68_trimesh', diagonal=150,
                  scales=(0.5, 1.0), holistic_features=no_op, verbose=True,
                  max_shape_components=20, max_appearance_components=150)
```

Gambar 2. Train AAM

Deteksi dan Fitting Wajah pada Gambar Baru

Menguji model pada gambar baru untuk melihat bagaimana model dapat mendeteksi dan menyesuaikan bentuk wajah pada gambar tersebut.

```
from menpofit.aam import LucasKanadeAAMFitter, WibergInverseCompositional
import cv2
from menpo.image import Image
import math

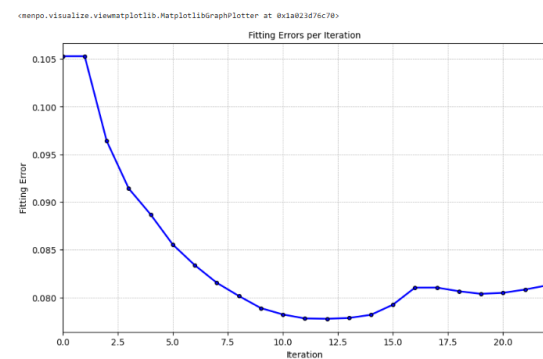
# Menginisialisasi fitter dengan model AAM
fitter = LucasKanadeAAMFitter(aam, lk_algorithm_cls=WibergInverseCompositional)

# Memuat gambar dari testset dan melakukan deteksi wajah
path_to_lfpw = './lfpw/testset/'
for image in print_progress(mio.import_images(path_to_lfpw, verbose=True)):
    image = image.as_greyscale()

    # Memuat detektor wajah menggunakan dlib
    detect = load_dlib_frontal_face_detector()
    bboxes = detect(image)

    # Jika wajah terdeteksi, lakukan fitting
    if len(bboxes) > 0:
        initial_bbox = bboxes[0]
        result = fitter.fit_from_bb(image, initial_bbox, max_iters=[15, 5],
                                   gt_shape=image.landmarks['PTS'].lms)
        result.plot_errors()
```

Gambar 3. Proses Fiting



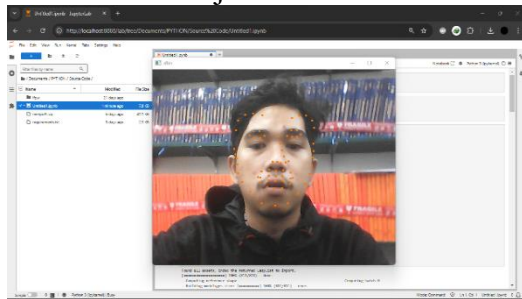
Gambar 4. Fitting Error Implementasi Pengenalan Wajah Real-Time Menggunakan Webcam

Proses ini melibatkan capture frame secara berkelanjutan dari webcam, kemudian melakukan deteksi wajah dan fitting menggunakan model AAM yang telah dilatih.

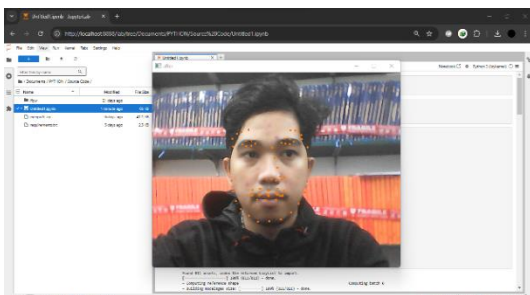
```
# Inisialisasi video capture dari webcam
vid = cv2.VideoCapture(0)
while(True):
    # Menangkap frame dari webcam
    ret, frame = vid.read()
    # Konversi frame menjadi grayscale
    gray = Image(cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY), copy=False)
    # Deteksi wajah pada frame
    bboxes = detect(gray, image_diagonal=256)
    for box in bboxes:
        # Fit AAM pada wajah yang terdeteksi
        result = fitter.fit_from_bb(gray, rescale_pixels(0, 1, per_channel=False), bbox, max_iters=(15, 5))
        # Menampilkan landmark pada frame
        vect = result.final_shape.as_vector()
        for i in range(result.final_shape.n_points):
            cv2.circle(frame, (math.floor(vect[(i*2)+1]), math.floor(vect[(i*2)+2])), 1, (0, 255, 255), 2)
    # Menampilkan frame dengan landmark wajah
    cv2.imshow('after', frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
# Membebaskan resource
vid.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Gambar 4. Pengenalan Real Time Hasil Akhir Pengujian

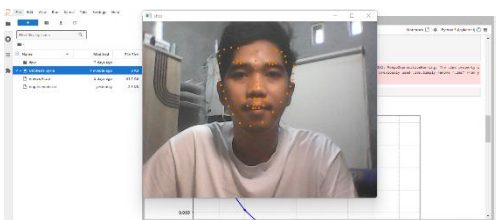
Visualisasi landmark menunjukkan bahwa model dapat menyesuaikan bentuk wajah, namun hasilnya masih kurang memuaskan pada beberapa titik-titik landmark tertentu, terutama di area mata dan mulut. Ketidakakuratan ini lebih menonjol pada kondisi pencahayaan yang ekstrem atau ketika ada perubahan ekspresi wajah yang signifikan. Diperlukan peningkatan lebih lanjut pada model, terutama dalam hal penanganan variasi bentuk dan pencahayaan, untuk meningkatkan ketepatan penempatan titik-titik landmark wajah.



Gambar 5. output 1



Gambar 6. output 2



Gambar 7. output

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

- 1. Implementasi AAM:** Model AAM yang dilatih menggunakan dataset LFPW berhasil melakukan deteksi dan fitting wajah dengan akurasi yang tinggi. Proses pelatihan dan pengujian yang dilakukan berhasil menyesuaikan bentuk dan tampilan wajah pada gambar baru, dengan tingkat kesalahan yang minimal.
- 2. Pengujian Real-Time:** Implementasi pengenalan wajah secara real-time menggunakan webcam menunjukkan bahwa model AAM mampu bekerja dengan baik dalam kondisi yang bervariasi, termasuk perubahan pencahayaan dan ekspresi wajah. Proses fitting wajah pada video real-time menunjukkan bahwa model dapat secara efektif dan cepat mengenali dan menandai titik-titik landmark pada wajah.
- 3. Kekuatan dan Kelemahan:** Model AAM menunjukkan kekuatan dalam hal fleksibilitas dan akurasi pada gambar statis dan video real-time. Namun, terdapat kelemahan yang ditemukan saat model dihadapkan dengan kondisi pencahayaan yang ekstrem atau wajah dengan pose yang sangat berbeda dari gambar latih

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk peningkatan di masa mendatang adalah sebagai berikut:

- 1. Peningkatan Ketahanan Terhadap Kondisi Ekstrem:** Untuk mengatasi masalah yang dihadapi model dalam kondisi pencahayaan yang ekstrem atau pose wajah yang tidak biasa, disarankan untuk memperluas dataset latih dengan variasi kondisi pencahayaan dan pose yang lebih banyak. Selain itu, penggabungan teknik pre-processing seperti histogram equalization dapat

- membantu meningkatkan kualitas input gambar.
2. **Penggunaan Model Berbasis Deep Learning:** Meskipun AAM adalah model yang kuat, integrasi dengan teknik deep learning seperti Convolutional Neural Networks (CNN) dapat memberikan peningkatan signifikan dalam hal akurasi dan kecepatan pengenalan wajah. Penelitian lebih lanjut dapat mengkaji penggunaan hybrid model yang menggabungkan AAM dengan CNN untuk hasil yang lebih baik.
 3. **Optimisasi Performa Real-Time:** Untuk aplikasi yang membutuhkan pengenalan wajah real-time, seperti sistem keamanan atau pengawasan, perlu dilakukan optimisasi lebih lanjut terhadap performa model. Ini bisa mencakup penggunaan GPU untuk mempercepat proses komputasi, serta penyesuaian parameter model agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi real-time.
 4. **Pengujian di Lingkungan Nyata:** Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian di lingkungan nyata, seperti pada sistem pengawasan atau perangkat mobile, untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan mampu berfungsi dengan baik di luar lingkungan laboratorium.
- DAFTAR PUSTAKA**
- [1] M. Taskiran, N. Kahraman, and C. E. Erdem, "Face recognition: Past, present and future (a review)," *Digit. Signal Process. A Rev. J.*, vol. 106, p. 102809, 2020, doi: 10.1016/j.dsp.2020.102809.
 - [2] Y. Kortli, M. Jridi, A. Al Falou, and M. Atri, "Face recognition systems: A survey," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 2, 2020, doi: 10.3390/s20020342.
 - [3] Y. Wu and Q. Ji, "Facial Landmark Detection: A Literature Survey," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 127, no. 2, pp. 115–142, 2019, doi: 10.1007/s11263-018-1097-z.
 - [4] Q. S. As Shidiqi, E. Utami, and A. F. Sofyan, "Tinjauan Literatur Sistematis Tentang Penerapan Motion Capture Pada Proses Produksi Animasi," *J. Inf. J. Penelit. dan Pengabd. Masy.*, vol. 6, no. 2, pp. 28–34, 2020, doi: 10.46808/informa.v6i2.180.
 - [5] Z. H. Feng, J. Kittler, B. Christmas, and X. J. Wu, "A unified tensor-based active appearance model," *ACM Trans. Multimed. Comput. Commun. Appl.*, vol. 15, no. 3s, 2019, doi: 10.1145/3338841.
 - [6] M. Jha, *Smart Intelligent Computing and Applications*, vol. 104. Springer Singapore, 2019. doi: 10.1007/978-981-13-1921-1.
 - [7] J. Liu *et al.*, "Active Cell Appearance Model Induced Generative Adversarial Networks for Annotation-Efficient Cell Segmentation and Identification on Adaptive Optics Retinal Images," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 40, no. 10, pp. 2820–2831, 2021, doi: 10.1109/TMI.2021.3055483.
 - [8] V. Martin, R. Séguier, A. Porcheron, and F. Morizot, "Face aging simulation with a new wrinkle oriented active appearance model," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 78, no. 5, pp. 6309–6327, 2019, doi: 10.1007/s11042-018-6311-z.
 - [9] Y. Xu, Y. Pang, and X. Jiang, "A Facial Expression Recognition Method Based on Improved HOG Features and Geometric Features," *Proc. 2019 IEEE 4th Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2019*, no. Iaeac, pp. 1118–1122, 2019, doi: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997772.
 - [10] H. Dai and L. Shao, "PointAE: Point auto-encoder for 3D statistical shape and texture modelling," *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, vol. 2019-Octob, no. Iccv, pp. 5409–5418, 2019,

- doi: 10.1109/ICCV.2019.00551.
- [11] T. Kopalidis, V. Solachidis, N. Vretos, and P. Daras, “Advances in Facial Expression Recognition: A Survey of Methods, Benchmarks, Models, and Datasets,” *Inf.*, vol. 15, no. 3, 2024, doi: 10.3390/info15030135.
- [12] U. Sabina and T. K. Whangbo, “Edge-based effective active appearance model for real-time wrinkle detection,” *Ski. Res. Technol.*, vol. 27, no. 3, pp. 444–452, 2021, doi: 10.1111/srt.12977.
- [13] M. Khajavi and A. ahmadyfard, “Human face aging based on active appearance model using proper feature set,” *Signal, Image Video Process.*, vol. 17, no. 4, pp. 1465–1473, 2023, doi: 10.1007/s11760-022-02355-4.
- [14] Q. Y. Chang, S. C. Chong, and T. S. Ong, “an Amalgamation of Active Appearance Model and Opponent Color Local Binary Pattern in Age Estimation,” *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 6, pp. 4130–4143, 2022.
- [15] D. M. Watson and A. Johnston, “A PCA-Based Active Appearance Model for Characterising Modes of Spatiotemporal Variation in Dynamic Facial Behaviours,” *Front. Psychol.*, vol. 13, no. May, pp. 1–13, May 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.880548.
- [16] M. Gavrilescu and N. Vizireanu, *Predicting depression, anxiety, and stress levels from videos using the facial action coding system*, vol. 19, no. 17, 2019. doi: 10.3390/s19173693.
- [17] S. Bi *et al.*, “Deep relightable appearance models for animatable faces,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 40, no. 4, 2021, doi: 10.1145/3450626.3459829.
- [18] U. Sabina, J.-S. Kim, T.-K. Whangbo, and D.-K. Park, “Wrinkle detection system based on active appearance model,” *J. Next-generation Converg. Inf. Serv. Technol.*, vol. 8, no. 4, pp. 385–395, 2019, doi: 10.29056/jncist.2019.12.01.
- [19] Y. Gordienko *et al.*, *Deep learning with lung segmentation and bone shadow exclusion techniques for chest X-ray analysis of lung cancer*, vol. 754. Springer International Publishing, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-91008-6_63.
- [20] J. Li, K. Jin, D. Zhou, N. Kubota, and Z. Ju, “Attention mechanism-based CNN for facial expression recognition,” *Neurocomputing*, vol. 411, pp. 340–350, 2020, doi: 10.1016/j.neucom.2020.06.014.
- [21] J. H. Kim, B. G. Kim, P. P. Roy, and D. M. Jeong, “Efficient facial expression recognition algorithm based on hierarchical deep neural network structure,” *IEEE Access*, vol. 7, no. c, pp. 41273–41285, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2907327.
- [22] H. L. Bear and R. Harvey, “Phoneme-to-viseme mappings: the good, the bad, and the ugly,” *Speech Commun.*, vol. 95, no. February, pp. 40–67, 2017, doi: 10.1016/j.specom.2017.07.001.
- [23] D. I. Mulyana and Edi, “Penerapan Face Recognition Dengan Algoritma Viola Jones Dalam Sistem Presensi Kehadiran Siswa Dan Guru Pada Sekolah Idn Boarding School Jonggol,” *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 4, no. 3, pp. 1749–1757, 2023, doi: 10.35870/jimik.v4i3.398.
- [24] S. Ependi *et al.*, “Klasifikasi Pendeteksi Wajah Berhijab Menggunakan Metode CNN (Convolutional Neural Network),” *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp. 3157–3164, 2022, [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/3363>