

**PENERAPAN COLOR SPACE SEGMENTATION DAN HAAR
CASCADE CLASSIFIER UNTUK DETEKSI WAJAH
MULTI-POSE**

TUGAS AKHIR

Juan Nathanael Wijaya
1115004



PROGRAM STUDI INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI HARAPAN BANGSA
BANDUNG
2022

**PENERAPAN COLOR SPACE SEGMENTATION DAN HAAR
CASCADE CLASSIFIER UNTUK DETEKSI WAJAH
MULTI-POSE**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar sarjana dalam bidang Informatika**

**Juan Nathanael Wijaya
1115004**



**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI HARAPAN BANGSA
BANDUNG
2022**

ABSTRAK

Nama : Juan Nathanael Wijaya
Program Studi : Informatika
Judul : Penerapan *Color Space Segmentation* dan *Haar Cascade Classifier* untuk Deteksi Wajah Multi-Pose

Deteksi wajah adalah tahap penting utama untuk menganalisis wajah seperti pengenalan wajah, ekspresi wajah, *head tracking* dan verifikasi wajah. Hasil dari deteksi wajah akan menunjukkan lokasi wajah pada citra dengan ditandai bentuk kotak pada area wajah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah segmentasi ruang warna YCbCr dan *Haar Cascade Classifier*. Tahap pertama adalah konversi ruang warna RGB menjadi YCbCr. Selanjutnya dilakukan segmentasi warna kulit, yaitu pemisahan area kulit dan bukan kulit berdasarkan *threshold*. Setelah itu dilakukan tahap binarisasi dimana citra akan dibagi menjadi warna hitam dan putih. Proses morfologi *opening* digunakan untuk mengurangi *noise* pada citra. Tahap selanjutnya adalah *Connected Component Labeling* yaitu memisahkan objek yang berdekatan dengan diberikan label untuk setiap objek. Metode *Haar Cascade Classifier* digunakan untuk deteksi wajah, dimana area wajah akan diberikan tanda kotak. Penerapan metode *Haar Cascade Classifier* meliputi beberapa tahap, diantaranya pemilihan fitur Haar, *Integral Image*, *Adaboost* dan *Cascade Classifier*. Berdasarkan hasil pengujian, akurasi yang didapatkan mencapai 99,68% untuk pengujian jumlah variasi wajah dan 99,81% untuk pengujian wajah *multi-pose*.

Kata kunci: deteksi wajah, ruang warna YCbCr, morfologi, segmentasi warna kulit, *Haar Cascade Classifier*.

ABSTRACT

Name : Juan Nathanael Wijaya
Department : Informatics
Title : Application of Color Space Segmentation and Haar Cascade Classifier for Multi-Pose Face Detection

Face detection is the main important stage for analyzing faces such as face recognition, facial expressions, head tracking and face verification. The results of face detection will show the location of face on the image marked by rectangle shape in the face area. The method used in this study is YCbCr color space segmentation and Haar Cascade Classifier. The first stage is the conversion of RGB color space to YCbCr. Furthermore, skin color segmentation is carried out, namely the separation of skin area and not skin area based on threshold. After that, the binarization stage is carried out where the image will be divided into black and white. Opening Morphological Process is used to reduce noise of image. The next step is Connected Component Labeling which is separating the object adjacent to the label for each object. Haar Cascade Classifier method is used for facial detection, where the face area will be given a rectangle mark. The application of Haar Cascade Classifier method includes several stages, including the selection of haar features, integral image, adaBoost and Cascade Classifier. Based on the test results, the accuracy obtained reached 99.68% for testing the number of facial variations and 99.81% for multi-pose facial test.

Keywords: *face detection, YCbCr color space, morphology, skin color segmentation, Haar Cascade Classifier.*

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan, orang tua, sahabat dan teman-teman karena dengan dukungan-Nya dan mereka, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul "*Penerapan Color Space Segmentation dan Haar Cascade Classifier untuk Deteksi Wajah Multi Pose*" dengan baik dan lancar. Penelitian yang penulis susun ini sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Informatika di Institut Teknologi Harapan Bangsa. Selain itu, penulis ingin mencoba membagikan ilmu yang telah didapatkan selama masa perkuliahan ke dalam bidang *computer vision* yaitu deteksi wajah. Dengan perkembangan teknologi dewasa ini, khususnya bidang *computer vision*, topik deteksi wajah menjadi salah satu topik penting untuk dibahas. Deteksi wajah ini bisa dikembangkan untuk analisis wajah lainnya, salah satunya adalah pengenalan wajah.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini, banyak halangan yang dialami oleh penulis yang tidak dapat dijalani sendirian. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus, karena bimbingan dan karunia-Nya, penulis selalu bisa semangat selama pembuatan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ken Ratri Retno Wardani, S.Kom, M.T., selaku pembimbing utama Tugas Akhir yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, waktu bimbingan, ilmu, serta saran yang membangun kepada penulis selama pembuatan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ir. Inge Martina, M.T., selaku penguji Tugas Akhir yang telah memberikan pengujian serta masukan-masukan kritis kepada penulis selama pembuatan Tugas Akhir ini.
4. Dosen dan *staff* Program Studi Informatika serta DAAK ITHB yang telah membantu menyelesaikan proses administrasi sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
5. Orang tua yang menyediakan waktu untuk memberikan doa, harapan, semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Dionisius Pratama, S.Kom., yang tidak pernah bosan untuk membantu saya walaupun banyak pertanyaan mengenai *form* Tugas Akhir yang diperlukan dan hal lainnya.
7. Muhammad Irvan Nurodis Idris, S.Kom., yang selalu mau meluangkan waktu

jika saya hendak bertanya mengenai program maupun penulisan dokumen.

8. Teman seangkatan dan satu jurusan dengan saya, khususnya Andre, Alfian, Septian, Leni, Pricilia, Trisna, Natalie, Willy, Jeffry, Antoni, Juinson, Eka, Audric. Terima kasih sudah menemani dan membantu saya selama menempuh ilmu di kampus.
9. Teman seangkatan dan jurusan lain, khususnya Novelie dari jurusan DKV. Terima kasih untuk selalu mendukung dan memberi semangat kepada saya untuk melanjutkan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi muatan maupun penulisan, karena keterbatasan waktu, pengetahuan, dan pengalaman yang dimiliki oleh penulis. Penulis menyampaikan permohonan maaf atas hal tersebut. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi pengembangan penelitian sejenis di masa mendatang.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat membantu para pembaca yang ingin mengetahui contoh penerapan bidang *computer vision* yaitu deteksi wajah, serta bagi siapa saja yang membutuhkan atau sekedar ingin mengetahui.

Bandung, 24 Juni 2022

Hormat penulis,



Juan Nathanael Wijaya

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Rumusan Masalah	1-2
1.3 Tujuan Penelitian	1-3
1.4 Batasan Masalah	1-3
1.5 Kontribusi Penelitian	1-3
1.6 Metodologi Penelitian	1-4
1.7 Sistematika Pembahasan	1-4
BAB 2 LANDASAN TEORI	2-1
2.1 Tinjauan Pustaka	2-1
2.1.1 Citra Digital	2-1
2.1.2 Pengolahan Citra	2-1
2.1.3 Ruang Warna	2-2
2.1.4 Ruang Warna RGB	2-2
2.1.5 Citra <i>Grayscale</i>	2-2
2.1.6 Ruang Warna YCbCr	2-3
2.1.7 Proses Morfologi	2-3
2.1.8 <i>Connected Component Labeling</i>	2-7
2.1.9 <i>Haar Cascade Classifier</i>	2-7
2.1.10 <i>Confusion Matrix</i>	2-14
2.1.11 Pustaka	2-16
2.1.11.1 NumPy	2-16
2.1.11.2 <i>Library OpenCV</i>	2-18

2.1.11.3	<i>DetectMultiScale</i>	2-19
2.2	Tinjauan Studi	2-21
2.2.1	<i>State of the Art</i>	2-21
2.2.2	Pembahasan Penelitian Terkait	2-23
2.3	Tinjauan Objek	2-25
2.3.1	Wajah Manusia	2-25
2.3.2	<i>Bao Face Dataset</i>	2-25
2.3.3	<i>Head Pose Image Dataset</i>	2-25
BAB 3	ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM	3-1
3.1	Analisis Masalah	3-1
3.2	Kerangka Pemikiran	3-1
3.3	Analisis Urutan Proses Global	3-4
3.3.1	<i>Data Sampling Citra</i>	3-5
3.3.2	Konversi ke Ruang Warna YCbCr	3-6
3.3.3	Segmentasi Warna Kulit	3-7
3.3.4	Proses Morfologi	3-7
3.3.5	<i>Connected Component Labeling</i>	3-8
3.3.6	<i>Grayscale</i>	3-9
3.3.7	Deteksi Wajah menggunakan <i>Haar Cascade Classifier</i>	3-9
3.4	Analisis Manual	3-11
3.4.1	Mengubah Ruang Warna RGB ke YCbCr	3-11
3.4.2	Segmentasi Ruang Warna	3-13
3.4.3	Konversi ke dalam Citra Biner	3-15
3.4.4	Proses Morfologi	3-15
3.4.5	<i>Connected Component Labeling</i>	3-17
3.4.6	<i>Citra Grayscale</i>	3-19
3.4.7	Deteksi Wajah menggunakan <i>Haar Cascade Classifier</i>	3-21
BAB 4	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	4-1
4.1	Lingkungan Implementasi	4-1
4.1.1	Spesifikasi Perangkat Keras	4-1
4.1.2	Lingkungan Perangkat Lunak	4-1
4.2	Implementasi Perangkat Lunak	4-1
4.2.1	Daftar <i>Class</i> dan <i>Method</i>	4-1
4.2.1.1	<i>Class</i> WAJAH	4-2
4.2.2	Implementasi Metode	4-3
4.3	Pengujian	4-5

4.3.1	Pengujian <i>Threshold</i> Warna Kulit	4-5
4.3.2	Pengujian Variasi Jumlah Wajah	4-6
4.3.3	Pengujian Posisi Wajah <i>Multi Pose</i>	4-12
4.3.4	Perbandingan Hasil Pengujian Metode	4-19
4.4	Analisis Kesalahan	4-26
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran	5-2
DAFTAR REFERENSI		i

DAFTAR TABEL

2.1	Daftar <i>method</i> yang digunakan dari pustaka NumPy	2-17
2.2	Daftar <i>method</i> yang digunakan dari pustaka <i>Library OpenCV</i>	2-18
2.3	Daftar <i>method</i> lanjutan yang digunakan dari pustaka <i>Library OpenCV2</i>	19
2.4	Daftar <i>method</i> yang digunakan dari pustaka DetectMultiScale. . . .	2-20
2.5	<i>State of the Art</i>	2-21
3.1	Nilai citra RGB 10x10 piksel	3-11
3.2	Hasil konversi nilai Y [0.5cm]	3-12
3.3	Hasil konversi nilai Cb [0.5cm]	3-12
3.4	Hasil konversi nilai Cr [0.5cm]	3-13
3.5	Nilai CbCr pada citra dengan ukuran 10x10 piksel	3-13
3.6	Nilai Cb dan Cr berdasarkan <i>threshold</i> pada citra dengan ukuran 10x10 piksel	3-14
3.7	Matriks konvolusi dengan ukuran 10x10 piksel	3-14
3.8	Pembagian area kulit dan bukan kulit menggunakan citra biner . . .	3-15
3.9	Citra biner berukuran 10x10 piksel berisikan wajah dan <i>noise</i> . . .	3-16
3.10	Hasil proses erosi menggunakan kernel berukuran 3x3 piksel . . .	3-17
3.11	Hasil proses dilasi menggunakan kernel berukuran 3x3 piksel . . .	3-17
3.12	Pemberian label pertama	3-18
3.13	Pemberian label kedua	3-18
3.14	Pemberian label kedua (lanjutan)	3-18
3.15	Pemberian label ketiga	3-18
3.16	Hasil akhir pemberian label	3-19
3.17	Nilai citra RGB dengan ukuran 10x10 piksel	3-20
3.18	Hasil konversi citra RGB menjadi <i>Grayscale</i>	3-20
4.1	Daftar <i>method</i> pada <i>class WAJAH</i>	4-2
4.2	Uji <i>threshold</i> warna kulit	4-6
4.3	Uji variasi jumlah wajah dengan metode gabungan	4-7
4.4	Uji <i>confusion matrix</i> jumlah variasi wajah dengan metode gabungan	4-8
4.5	Uji variasi jumlah wajah dengan metode <i>Haar Cascade Classifier</i> saja	4-9
4.6	Uji <i>confusion matrix</i> jumlah variasi wajah dengan metode <i>Haar</i> <i>Cascade Classifier</i> saja	4-10
4.7	Uji posisi wajah <i>multi-pose</i> dengan metode gabungan	4-13

4.8	Uji <i>confusion matrix</i> posisi wajah <i>multi-pose</i> dengan metode gabungan	4-15
4.9	Uji posisi wajah <i>multi-pose</i> dengan metode <i>Haar Cascade Classifier</i> saja	4-16
4.10	Uji <i>confusion matrix</i> posisi wajah <i>multi-pose</i> dengan metode <i>Haar Cascade Classifier</i> saja	4-18
4.11	Perbandingan hasil deteksi pengujian variasi jumlah wajah	4-20
4.12	Perbandingan semua hasil pengujian variasi jumlah wajah	4-21
4.13	Perbandingan hasil deteksi pengujian <i>multi-pose</i> wajah	4-22
4.14	Perbandingan semua hasil pengujian wajah <i>multi-pose</i>	4-23
4.15	Perbandingan semua hasil uji <i>confusion matrix</i> untuk deteksi variasi jumlah wajah	4-23
4.16	Perbandingan semua hasil uji <i>confusion matrix</i> untuk deteksi wajah <i>multi-pose</i>	4-24

DAFTAR GAMBAR

2.1	Contoh <i>structuring element</i> dengan ukuran 5x5 piksel ; (a) <i>rectangle</i> (b) <i>circle</i> (c) <i>cross</i> [10]	2-4
2.2	Contoh hasil Proses Erosi menggunakan <i>structuring element rectangle</i> berukuran 3 x 3	2-5
2.3	Contoh hasil proses Dilasi menggunakan <i>structuring element rectangle</i> berukuran 3 x 3	2-5
2.4	Contoh hasil proses <i>Opening</i> menggunakan <i>structuring element rectangle</i> berukuran 3 x 3	2-6
2.5	Contoh hasil proses <i>Closing</i> menggunakan <i>structuring element rectangle</i> berukuran 3 x 3	2-7
2.6	Contoh bentuk dan arah ketetangaan (a) N4 (b) N-Diagonal (c) N8 [12]	2-7
2.7	Macam-macam fitur <i>Haar</i> [13]	2-8
2.8	Teoritik model wajah menggunakan fitur <i>Haar</i>	2-9
2.9	<i>Classifier lemah</i>	2-10
2.10	Hasil kombinasi dari <i>classifier lemah</i>	2-11
2.11	Hasil kombinasi akhir dari <i>classifier lemah</i>	2-11
2.12	Proses <i>Cascade Classifier</i> [15]	2-14
2.13	Algoritme <i>Haar Cascade Classifier</i> [16]	2-14
2.14	<i>Confusion Matrix</i> untuk dua kelas atau lebih [18]	2-15
2.15	Contoh citra pada piramida. Setiap layer dari citra piramida dirampingkan dan diperhalus [22]. [0.5cm]	2-20
2.16	Contoh <i>Bao Face Dataset</i> dengan 1 wajah (kiri), banyak wajah (kanan) [24] [0.5cm]	2-25
2.17	Contoh citra dari <i>Head Pose Image Dataset</i> dengan wajah menghadap 30 derajat ke kiri (citra kiri) dan kanan (citra kanan) [25]	2-26
2.18	Contoh penamaan <i>file</i> citra dari <i>Head Pose Image Dataset</i>	2-27
3.1	Kerangka Pemikiran	3-2
3.2	<i>Flowchart</i> Sistem Deteksi Wajah	3-4
3.3	<i>Data sampling</i> citra dari <i>Bao Face Dataset</i> dengan 1 wajah (kiri) dan 9 wajah (kanan) [0.5cm]	3-5
3.4	<i>Data sampling</i> citra satu wajah dari <i>Head Pose Image Dataset</i> dengan wajah menghadap 30 derajat ke kiri (citra kiri) dan kanan (citra kanan)	3-6

3.5	Contoh penamaan <i>file</i> citra dari <i>Head Pose Image Dataset</i>	3-6
3.6	Citra hasil <i>pre-processing</i> menggunakan ruang warna YCbCr [0.5cm]	3-7
3.7	Citra hasil proses binarisasi	3-7
3.8	Perbandingan citra biner sebelum proses <i>opening</i> (kiri) dan setelah dilakukan proses <i>opening</i> (kanan)	3-8
3.9	Pemberian label warna pada wajah	3-9
3.10	Citra Grayscale	3-9
3.11	Contoh wajah pada citra belum terdeteksi (kiri) dan wajah pada citra sudah terdeteksi (kanan)	3-11
3.12	Contoh citra hasil proses binarisasi	3-15
3.13	Perbandingan citra sebelum proses <i>opening</i> (kiri) dan setelah dilakukan proses <i>opening</i> (kanan)	3-16
3.14	Kernel yang digunakan dengan ukuran 3x3 piksel	3-16
3.15	Contoh citra berukuran 10x10 piksel yang berisi objek dengan arahnya	3-17
3.16	Contoh <i>integral image</i>	3-21
3.17	Contoh penerapan <i>integral image</i> pada citra ukuran 10x10 piksel	3-22
4.1	Citra uji <i>threshold</i> warna kulit [0.5cm]	4-5
4.2	Citra uji <i>threshold</i> warna kulit [0.5cm]	4-5
4.3	Citra uji <i>threshold</i> warna kulit [0.5cm]	4-6
4.4	Contoh citra dengan posisi wajah menghadap ke kiri 30° untuk diuji [0.5cm]	4-12
4.5	Contoh citra dengan posisi wajah menghadap ke atas 60° untuk diuji [0.5cm]	4-12
4.6	Contoh citra dengan posisi wajah menghadap ke bawah 30° dan ke kanan 60° untuk diuji [0.5cm]	4-12
4.7	Contoh deteksi wajah menggunakan metode <i>Haar Cascade Classifier</i> yang menghasilkan <i>False Positif</i> [0.5cm]	4-24
4.8	Contoh deteksi wajah menggunakan metode gabungan (<i>Color Space Segmentation</i> dan <i>Haar Cascade Classifier</i>) dapat mengatasi <i>False Positif</i> [0.5cm]	4-25
4.9	Contoh citra wajah <i>multi-pose</i> yang tidak terdeteksi saat menggunakan metode <i>Haar Cascade Classifier</i> [0.5cm]	4-25
4.10	Contoh citra wajah <i>multi-pose</i> yang terdeteksi saat menggunakan metode gabungan (<i>Color Space Segmentation</i> dan <i>Haar Cascade Classifier</i>) [0.5cm]	4-25
4.11	Contoh citra masukan dari pengujian deteksi wajah [0.5cm]	4-26

4.12	Contoh hasil citra dengan nilai <i>scaleFactor</i> =1.3 dan <i>minNeighbors</i> =5 [0.5cm]	.4-27
4.13	Contoh hasil citra dengan mengubah nilai <i>scaleFactor</i> menjadi 1.2, sedangkan nilai <i>minNeighbors</i> =5 tetap sama [0.5cm]	.4-27
4.14	Contoh hasil citra dengan mengubah nilai <i>minNeighbors</i> menjadi 3, sedangkan nilai <i>scaleFactor</i> =1.2 tetap sama [0.5cm]	.4-27
4.15	Contoh citra dimana ada posisi wajah menghadap kanan sebesar 90° [0.5cm]	.4-28
4.16	Contoh hasil deteksi citra dimana ada posisi wajah menghadap kanan sebesar 90° [0.5cm]	.4-28
4.17	Contoh citra wajah dengan aksesoris [0.5cm]	.4-28
4.18	Contoh hasil deteksi citra wajah dengan aksesoris [0.5cm]	.4-29

DAFTAR REFERENSI

- [1] Hiyam Hatem, Zou Beiji and Raed Majeed, "A Survey of Feature Base Methods for Human Face Detection," in *International Journal of Control and Automation: Vol.8, No.6, 2016, pp. 61-78*.
- [2] Kamarul Hawari Bin Ghazali, Jie Ma and Rui Xiao, "An Innovative Face Detection based on Skin Color Segmentation," in *International Journal of Computer Applications: Vol.34, No.2, 2011*.
- [3] Edy Winarno, Wiwien Hadikurniawati, Ahmad Ainun Nirwanto and Dahlan Abdullah, "Multi-View Faces Detection Using Viola-Jones Method," in *IOP Journal of Physics: Conf. Series 1114, 2018*.
- [4] Dr. C. P. Sumathi and M. Mahadevi, "Comparative Analysis of Skin Color Model for Face Detection," in *International Symposium on Biometrics and Security Technologies, 2014*.
- [5] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001*.
- [6] M. Irvan Nurodis Idris, "*Penerapan Color Based Segmentation dan Template Matching untuk Deteksi Wajah*", 2018.
- [7] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed. New Jersey: Upper Saddle River Prentice Hall, 2012.
- [8] Abdul Kadir and Adhi Susanto, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, 2013.
- [9] Khamar Basha Shaik et al., "Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space", *3rd International Conference on Recent Trends in Computing (ICRTC): 2015*.
- [10] Nick, Efford, *Digital Image Processing: A Practical Introduction Using JavaTM*. Pearson Education, 2000.
- [11] Utkarsh Sinha, *Connected Component Labelling, 2010*. [Daring]. Tersedia: <http://aishack.in/tutorials/connected-component-labelling>. [Diakses: 11 September 2019].

- [12] Jans Hendry, *Region Clustering Dengan Menggunakan Connected Component Labeling Pada Citra Digital*, 2009. [Daring]. Tersedia: <https://www.scribd.com/document/56440168/Region-Clustering-Dengan-Menggunakan-Connected-Component-Labeling-Pada-Citra-Digital>. [Diakses: 11 September 2019].
- [13] John Adams, *DEEP LEARNING HAAR CASCADE EXPLAINED*. [Daring]. Tersedia: <http://www.willberger.org/cascade-haar-explained>. [Diakses: 12 September 2019].
- [14] Nelson Campos, *Integral Image in Hardware*, 2017. [Daring]. Tersedia: <https://sistenix.com/integral.html>. [Diakses: 12 September 2019].
- [15] Parul Pandey, *Face Detection with Python using OpenCV*, 2018. [Daring]. Tersedia: <https://www.datacamp.com/community/tutorials/face-detection-python-opencv>. [Diakses: 13 September 2019].
- [16] Peter Irgens, Curtis Bader, Theresa Le, Devansh Saxena, Cristinel Ababei, "An Efficient and Cost Effective FPGA based Implementation of The Viola-Jones Face Detection Algorithm", 2017, pp. 68-75.
- [17] E. Prasetyo, *Data Mining: Konsep dan Aplikasi Menggunakan Matlab*, 1st ed. Yogyakarta: Andi Offset, 2012.
- [18] Sarang Narkhede, *Understanding Confusion Matrix*, 2018. [Daring]. Tersedia: <https://towardsdatascience.com/understanding-confusion-matrix-a9ad42dcfd62>. [Diakses: 8 Februari 2020].
- [19] Nikhil Kumar, *NumPy in Python*, 2022. [Daring]. Tersedia: <https://www.geeksforgeeks.org/numpy-in-python-set-1-introduction/>. [Diakses: 2 April 2022].
- [20] Alexander Mordvintsev and Abid Rahman K, *Introduction to OpenCV-Python Tutorials*, 2013. [Daring]. Tersedia: https://docs.opencv.org/3.4/d0/de3/tutorial_py_intro.html. [Diakses: 1 Juni 2022].
- [21] Gino Mempin and Shubham Sarda, *Parameters of detectMultiScale in OpenCV using Python*. [Daring]. Tersedia: <https://localcoder.org/parameters-of-detectmultiscale-in-opencv-using-python>. [Diakses: 2 Juli 2022].

DAFTAR REFERENSI

- [22] Adrian Rosebrock, *OpenCV Face Detection with Haar Cascades*, 2021. [Daring]. Tersedia: <https://pyimagesearch.com/2021/04/05/opencv-face-detection-with-haar-cascades/>. [Diakses: 2 Juli 2022].
- [23] M. Reza Mahmoodi and S. Masoud Sayedi, "Computers and Electrical Engineering: A Face Detection Method based on Kernel Probability Map", 2015.
- [24] Dr. Robert Frischholz, *Bao Face Dataset*, 2018. [Daring]. Tersedia: <https://facedetection.com/wp-content/uploads/BaoDataBase.zip>. [Diakses: 23 April 2019].
- [25] N. Gourier, D. Hall, J.L. Crowley, *Head Pose Image Dataset*, 2004. [Daring]. Tersedia: <http://www-prima.inrialpes.fr/perso/Gourier/Faces/HPDatabase.html>. [Diakses: 23 April 2019].