

Pendeteksian dan Pengenalan Wajah Pada Foto Secara Real Time Dengan Haar Cascade dan Local Binary Pattern Histogram

¹Angga Wahyu Wibowo¹, ²Aisyatul Karima², ³Wiktasari³, ⁴Amran Yobioktabera⁴, ⁵Sirli Fahriah⁵

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

E-mail : ¹anggawahyuwibowo@polines.ac.id¹ , ²aisya.karima@polines.ac.id², ³wiktasari@polines.ac.id³,
⁴amranyobi@polines.ac.id⁴, ⁵sirlifahriah@polines.ac.id⁵

Abstrak

Penelitian untuk mendeteksi dan mengenali wajah secara realtime sudah banyak dilakukan dengan beberapa algoritma, namun belum banyak yang menggunakan objek wajah pada foto secara realtime. Dalam penelitian ini, penulis mengusulkan gabungan dua algoritma berupa algoritma Haar Cascade Classifier dan Local Binary Pattern Histogram (LBPH) untuk pengenalan wajah. Cara kerja algoritma tersebut dengan mendeteksi dan mengenali objek wajah pada foto secara realtime menggunakan web camera. Adapun metode yang digunakan adalah penyusunan dataset, proses training, proses deteksi serta proses pengenalan wajah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 240 dataset berupa citra wajah. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada jarak 0-40 cm, sistem mampu mendeteksi dan mengenali wajah secara maksimal. Namun, dengan jarak lebih dari 40 cm sistem belum mampu mendeteksi dan mengenali wajah secara maksimal.

Kata kunci : Deteksi dan Pengenalan Wajah, Foto, Haar Cascade, Local Binary Pattern Histogram

Abstract

Research to detect and recognize faces in realtime has done a lot with several algorithms, but little research use face objects in photos in realtime. In this study, the authors propose a combination of two algorithms in the form of Haar Cascade Classifier algorithm and Local Binary Pattern Histogram (LBPH) for face recognition. The algorithm works by detecting and recognizing face objects in photos in realtime using a web camera. The method used is the preparation of the dataset, the training process, the detection process and the face recognition process. Tests carried out using 240 datasets in the form of face images. The results of this study indicate that at a distance of 0-40 cm, the sistem is able to detect and recognize faces optimally. However, with a distance of more than 40 cm the sistem has not been able to detect and recognize faces optimally.

Keywords : Face Recognition and Detection, Haar Cascade, Local Binary Pattern Histogram, Photo

I. PENDAHULUAN

Beberapa penelitian saat ini menggunakan bagian tubuh manusia untuk dilakukan pengenalan identitas manusia tersebut. Salah satu bagian tubuh yang digunakan adalah wajah untuk mengenali manusia. Beberapa penelitian yang berkaitan dengan hal tersebut adalah sistem pendeteksi wajah dengan algoritma *haar cascade* dan *local binary pattern histogram*[1], rancang bangun prototipe aplikasi penganalan wajah untuk absensi sistem absensi alternatif dengan metode *haar like feature* dan *eigenface*[2], pendeteksian multi wajah dan *recognition* secara *real time* menggunakan metoda *principal component analysis (pca)* dan *eigenface*[3], pengamanan ruang dengan pengenalan pola wajah secara *realtime* menggunakan algoritma *viola jones*[4]

dan masih banyak lagi. Perkembangan penelitian *pendeteksi dan pengenalan* wajah semakin banyak yang menggunakan untuk : *pendeteksi bahaya*[5], *keamanan*[4], *analisis*[6], *memonitor objek*[7], *Sistem pengenalan wajah*[1], *Sistem presensi* [8], *deteksi jenis kelamin*[9].

1.1 Latar Belakang

Deteksi wajah ini adalah sebuah teknologi dari *computer vision* dan *artificial intelligence* yang bergantung kepada pengaturan fitur dengan tidak mengabaikan pengaturan pada fitur yang lain. Wajah seseorang mempunyai banyak informasi terhadap identitas orang tersebut ke orang lain. Hal tersebut bisa menggambarkan tentang suasana hati, niat dan perhatian seseorang. Tentu saja, seseorang dapat diidentifikasi dengan cara lain selain wajah. Suara, bentuk tubuh, gaya berjalan

atau bahkan pakaian. Semua dapat membentuk identitas dalam situasi di mana detail wajah mungkin tidak tersedia. Namun, wajah adalah kunci yang paling khas dan banyak digunakan untuk mengidentifikasi seseorang dan hilangnya kemampuan untuk mengenali wajah yang dialami oleh beberapa neurologis pada seseorang memiliki efek mendalam pada kehidupan mereka [10]. Penelitian ini akan mencoba mendeteksi dan mengenali wajah pada foto secara realtime yang dilakukan menggunakan *haar cascade classifier* dan *local binary pattern histogram* (LBPH). Hasil dari penelitian bisa digunakan lebih lanjut seperti untuk presensi, keamanan, analisis, deteksi jenis kelamin dan masih banyak lagi.

1.2 Perumusan Masalah

Pendeteksian dan pengenalan foto wajah secara realtime bisa digunakan untuk beberapa hal. Dalam penelitian ini penulis menggunakan algoritma *haar cascade* untuk mendeteksi dan LBPH untuk mengenali wajah. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian sebelumnya, salah satunya adalah penelitian yang berjudul sistem pendeteksi wajah dengan algoritma *haar cascade* dan LBPH[1].

1.3 Tinjauan Pustaka

Pada jurnal ini menjelaskan teori tentang pengertian dan bagaimana cara kerja dan beberapa tahap dalam pengenalan wajah [10]. Beberapa jurnal ini menggunakan metode *haar cascade*: untuk menganalisis pendeteksian pola wajah [6], menjelaskan secara umum dari deteksi wajah menggunakan metode *neural network* dan *haar feature* [11], menggunakan *haar cascade* untuk deteksi wajah dengan beberapa perbedaan tingkat kecerahan cahaya dengan tingkat akurasi sebesar 62,7% dengan menggunakan cahaya lampu dan 37,2% ketika cahaya lampu itu dimatikan [12], mengaplikasikan *haar cascade* untuk deteksi wajah dengan *background* yang sederhana dan rumit [13]. Mendeteksi jenis kelamin berdasarkan jarak wajah dengan kamera menggunakan *haar cascade classifier*. Jarak yang digunakan berukuran 100, 150 dan 200 cm dengan tingkat akurasi sebesar 97% untuk jarak maksimal 200 cm[9]. Pendeteksi wajah dengan mengkombinasikan *haar cascade classifier* dengan tiga classifier tambahan [14]. Sistem deteksi perhatian operator kamera pengawas terhadap monitor dengan menggunakan *haar cascade classifier*. Hasil keluaran penelitian ini yaitu bunyi buzzer yang memberitahu bahwa operator dalam kondisi tidak fokus. Dan akurasi

sistem ini untuk mendeteksi duduk atau berdiri sebesar 100%, sedangkan deteksi wajah dan mata memiliki akurasi 98,33% [7]. Penelitian yang menggunakan *haar cascade* dan chain code untuk mendeteksi representasi fitur mata pada sebuah wajah [15]. Sistem pendeteksi kantuk pada pengendara mobil menggunakan *haar cascade* dan *sobel edge filtering*[16]. Deteksi dan Pengenalan Wajah sebagai Pendukung Keamanan Menggunakan Algoritma Haar-Classifer dan Eigenface Berbasis Raspberry Pi. Pada penelitian ini sistem yang dibuat menggunakan Raspberry Pi3 yang diintegrasikan dengan webcam Logitech C525 sebagai input, serta mikrokontroler Arduino Uno sebagai pemroses sensor ultrasonik dan cahaya. Pengujian terbaik didapatkan pada jarak 40 cm sebesar 75% dan memiliki waktu komputasi sebesar 0,11536 detik [17]. Sistem Pengenalan Wajah dengan Algoritma *haar cascade* dan LBPH. Sistem dibangun dengan menggunakan webcam sebagai kamera dan library dari OpenCV. Penelitian menggunakan algoritma *haar cascade* sebagai pendeteksi wajah kemudian digabung dengan algoritma LBPH sebagai pengenalan wajah. Sistem ini dapat mengenali wajah dari objek bukan wajah dengan jarak optimal antara 50-150 cm. Selain itu, sistem ini dapat mengenali wajah dari 6 orang subjek yang telah terdaftar dalam database, baik sendiri atau berkelompok dalam satu frame[1]. Selain tinjauan pustaka tersebut, terdapat pula penelitian yang menjelaskan tentang analisis performa dari haarcascade yang digunakan untuk mendeteksi wajah [18][19][20]

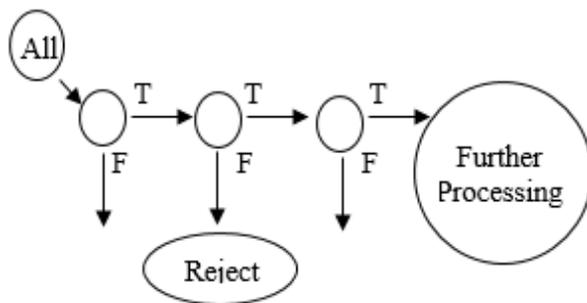
1.3.1 Pendeteksian dan Pengenalan Wajah

Pendeteksian wajah adalah sebuah cara melokalisasi dan mengekstraksi daerah wajah yang bertujuan untuk pengenalan wajah[21]. Pengenalan wajah adalah sebuah teknologi dalam ilmu pengolahan citra (*computer vision*) yang dapat mengidentifikasi identitas atau informasi seseorang dari wajah. Teknologi ini masih sangat luas dalam hal pemanfaatannya di bidang lain diantaranya adalah: keamanan, robotika atau untuk bidang kesehatan [22].

1.3.2 Haar Cascade Classifier

Haar Cascade Classifier merupakan sebuah library yang tersedia dalam Open-CV, dibangun di atas Bahasa C/C++ dengan API (*Application Programming Interface*) python[23]. *Haar Cascade* mengkombinasikan tiga hal yang menjadi dasar. Pertama adalah memiliki satu set fitur yang luas dapat dihitung secara tepat dan

cepat, hal ini dapat mengurangi variabilitas dalam satu kelas dan meningkatkan variabilitas antar kelas. Kedua adalah menerapkan algoritma yang memungkinkan pemilihan dari sebuah fitur dan pelatihan. Ketiga adalah membentuk *cascade* secara bertahap dengan hasil klasifikasi dan skema deteksi yang lebih kompleks, cepat dan efisien. Struktur dari *Haar Cascade Classifier* bisa digambarkan pada gambar 1.



Gambar 1 Struktur dari Cascade Classifier

Haar Cascade bisa dilatih untuk mendeteksi beberapa objek, yang harus kita lakukan adalah dengan menentukan area pada wajah yang memiliki kemungkinan tertinggi. Wajah tersebut memiliki kulit dan memiliki tingkat piksel warna pada kulit. Pemilihan teknik segmentasi dipilih untuk warna piksel pada wajah. Kemudian memvalidasinya dengan *haar cascade classifier*. Jika piksel yang divalidasinya sesuai dengan geometriknnya maka sistem telah menemukan wajah yang dimaksud, jika tidak sesuai maka sistem mengabaikannya[18].

1.3.3 Local Binary Pattern Histogram (LBPH)

Local binary pattern (LBP) adalah salah satu dari metode yang terkenal dalam mengenali sebuah objek. Dalam hal ini, cara yang digunakan adalah membedakan objek dengan background [24]. *Local Binary Pattern Histogram (LBPH)* adalah sebuah kombinasi algoritma antara *LBP* dengan *Histogram of Oriented Gradients (HOG)* [25]. Pengenalan wajah adalah sebuah tahap lanjutan dalam pendeteksian wajah, pengenalan wajah bisa menggunakan *template matching* dengan menggunakan *LBPH* [1]. Citra wajah yang diambil secara realtime menggunakan kamera akan dibandingkan dan dicocokkan menggunakan histogram yang sudah diekstraksi dengan citra wajah yang ada pada database.

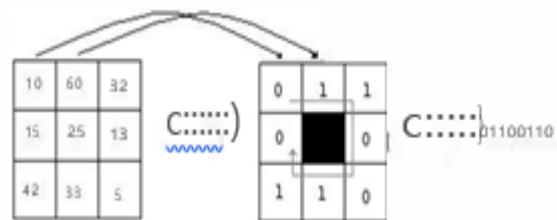
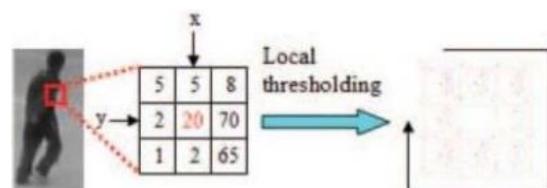
Cara kerja *LBP* ditunjukkan pada gambar 2 yang menjelaskan bahwa piksel yang berada di tengah diperoleh dengan cara membandingkan insensitasnya dengan insensitas piksel yang lain. Nilai dari piksel yang berada di tengah adalah

ambang batas dari kedelapan piksel yang lainnya [24]. Pada sebuah matriks tersebut nilai biner di tengah akan dibandingkan dengan nilai sekelilingnya. Jika nilai pada matriks tengah lebih tinggi dari nilai sekelilingnya, maka nilai matriks sekelilingnya akan bernilai '1' begitupun sebaliknya jika nilai pada matriks tengah lebih rendah dari nilai sekelilingnya, maka nilai matriks sekelilingnya akan bernilai '0' [26]. Kemudian dihitung nilai histogram untuk membandingkan dan mencocokkan wajah yang ada pada kamera dengan yang ada di database. Di bawah ini adalah persamaan untuk menghitung nilai histogramnya.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (hist\ 1_i - hist\ 2_i)^2} \quad (1)$$

Nilai *D* adalah pembanding citra wajah di database dengan yang ada di kamera.

g ₁	g ₂	g ₃
g ₄	g ₅	g ₆
g ₇	g ₈	g ₉



Gambar 2. Cara Kerja Original Local Binary Pattern [24]

II. METODE PENELITIAN

2.1 Dataset

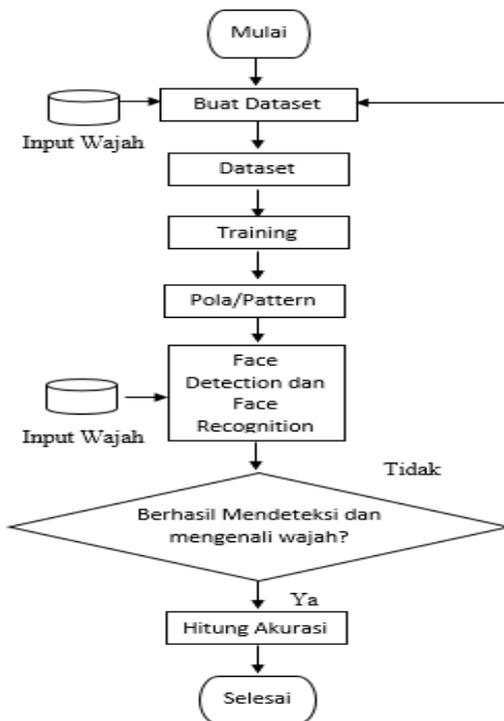
Dalam tahap pembuatan dataset ini, *web camera* sudah berada posisi siap untuk merekam wajah user. Gambar yang sudah terekam kemudian dimasukkan ke folder sendiri bernama dataset. Setiap wajah yang terekam ini diberikan sebuah id user mulai dari 1 sampai dengan 240 sesuai dengan jumlah wajah yang diatur dalam program.

2.2 Training

Setelah pembuatan dataset, hal yang harus dilakukan adalah melakukan training. Training disini adalah melatih dataset yang sudah dibuat. Training menggunakan algoritma LBPH dimana setiap piksel wajah pada database diekstrak nilai histogramnya kemudian dihitung. Nilai tersebut dimasukan ke sebuah variabel berbentuk data array id. Kemudian, data tersebut disimpan di dalam sebuah file dengan format *.yml*. Di dalam file inilah sebuah pola atau *pattern* disimpan. Pola ini yang nantinya akan digunakan untuk mendeteksi dan mengenali wajah pada deteksi dan pengenalan wajah di tahap selanjutnya.

2.3 Pendeteksian dan Pengenalan Wajah

Setelah melakukan training dan menghasilkan sebuah pola, pola tersebut digunakan untuk melakukan pendeteksian dan pengenalan pada wajah pada foto. Jalankan program dan hadapkan foto pada *web camera* kemudian wajah akan dideteksi kemudian dikenali dengan muncul nama di bagian wajah. Nama tersebut didapat setelah sistem mengenali wajah dengan cara mencocokkan wajah yang ada di kamera dengan wajah yang ada pada dataset. Piksel wajah tersebut dihitung histogramnya untuk mencocokkan wajah tersebut. Dalam penelitian ini, metode penelitian digambarkan oleh *flowchart* pada gambar 3.

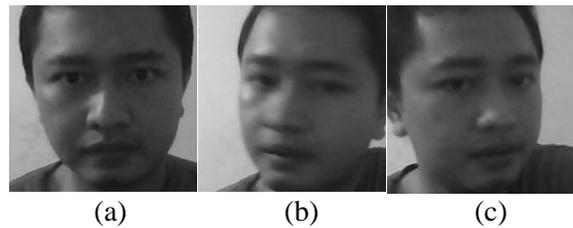


Gambar 3. *Flowchart* sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Buat Dataset

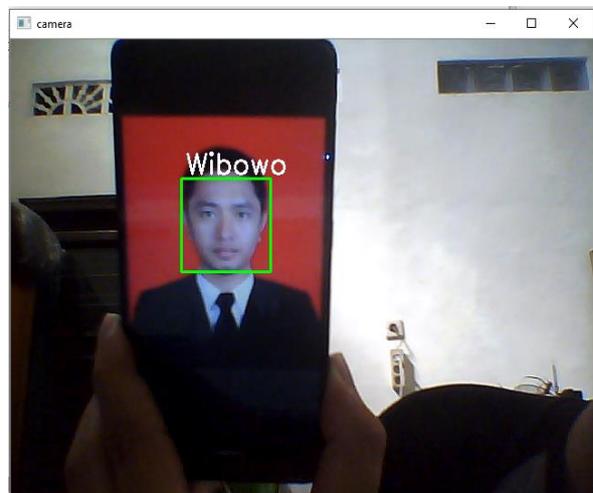
Wajah yang diambil dari kamera ini berjumlah 240 wajah dalam dataset. Dalam proses pembuatan ini membutuhkan beberapa menit tergantung dari jumlah wajah yang diambil dari *web camera*. Gambar yang sudah diambil dirubah menjadi citra *grayscale* atau gambar hitam putih. Gambar 3 menunjukkan gambar dataset yang sudah dirubah menjadi *grayscale*.



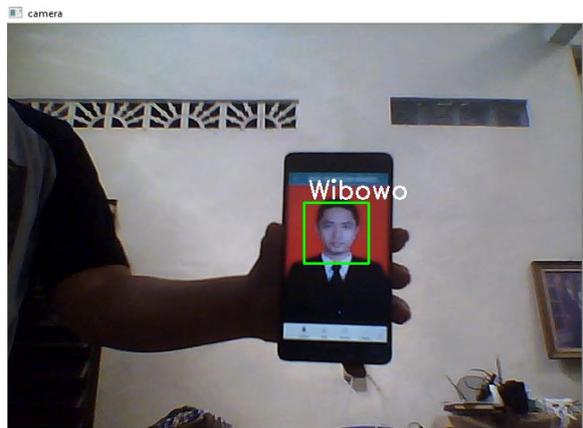
Gambar 3. Dataset setelah menjadi *grayscale* (a) tampak depan, (b) tampak samping kiri, dan (c) tampak samping kanan

3.2 Pendeteksian dan Pengenalan Wajah

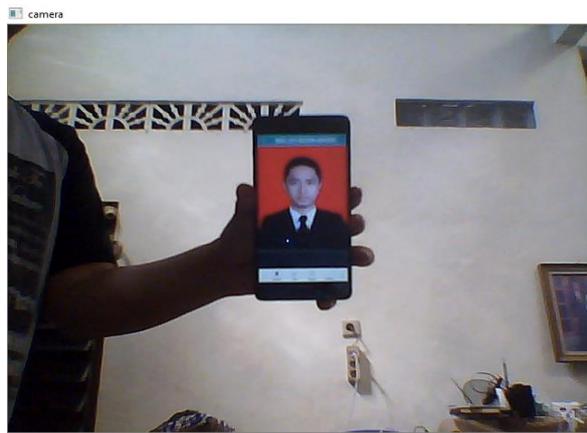
Pada bagian ini, dilakukan pendeteksian dan pengenalan wajah setelah pembuatan dataset dan *training*. Hadapkan foto wajah ke kamera dengan beberapa jarak yang berbeda. Pada gambar 4 poin (a) jarak yang digunakan adalah 30 cm. Pada poin (b) penulis mencoba pada jarak 40 cm. Dan pada poin (c) penulis mencoba pada jarak di atas 40 cm. Dari percobaan tersebut sistem bisa mendeteksi wajah foto di *smartphone* pada jarak kurang lebih dari 40 cm. Karena lebih dari 40 cm, sistem tidak bisa mendeteksi wajah tersebut karena terkendala dengan jarak, cahaya dan tingkat fokus pada *web camera*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Ujicoba deteksi dan pengenalan wajah pada foto (a) jarak 30 cm, (b) jarak 40 cm, dan (c) jarak di atas 40 cm

IV. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Penelitian “Pendeteksian dan Pengenalan Wajah Pada Foto Secara Real Time Dengan Haar Cascade dan LBPH” yang penulis ajukan memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pendeteksian dan pengenalan wajah secara real time pada foto dengan haar cascade dan LBPH menghasilkan output yang baik,
2. Sistem ini bisa mendeteksi objek wajah secara *realtime* pada foto pada jarak 0-40 cm,
3. Sistem ini belum bisa mendeteksi objek wajah secara *realtime* pada foto pada jarak lebih dari 40 cm,
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk objek wajah secara *realtime* pada foto yang bisa mendeteksi dan mengenali untuk jarak yang lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Al-Aidid and D. Pamungkas, “Sistem Pengenalan Wajah dengan Algoritma Haar Cascade dan Local Binary Pattern Histogram,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 1, pp. 62–67, 2018, doi: 10.17529/jre.v14i1.9799.
- [2] W. Sulistiyo, B. Suyanto, I. Hestningsih, Mardiono, and Sukamto, “Rancang Bangun Prototipe Aplikasi Pengenalan Wajah untuk Sistem Absensi Alternatif dengan Metode Haar Like Feature dan Eigenface,” *Jtet*, vol. 3, no. 2, pp. 93–98, 2014.
- [3] A. Zein, “Pendeteksian Multi Wajah dan Recognition Secara Real Time Menggunakan Metoda Principal Component Analysis (PCA) dan Eigenface,” *Esit*, vol. 12, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [4] T. Hidayat and M. Lutfi, “Pengamanan Ruang Dengan Pengenalan Pola Wajah Secara Realtime Menggunakan Metode Viola Jones,” *JASIEK (Jurnal Apl. Sains, Informasi, Elektron. dan Komputer)*, vol. 1, no. 2, pp. 106–110, 2019, doi: 10.26905/jasiek.v1i2.3446.
- [5] P. Purwanto, B. Dirgantoro, and A. N. Jati, “Implementasi Face Identification Dan Face Recognition Pada Kamera Pengawas Sebagai Pendeteksi Bahaya,” *eProceedings Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 718–724, 2015.
- [6] David, “(Journal of Informatics and Telecommunication Engineering),” vol. 2, no. 2, pp. 62–68, 2019.
- [7] D. A. Ratnasari, H. Fitriah, M. Hannats, and H. Ichsan, “Sistem Deteksi Perhatian Operator Kamera Pengawas Terhadap Monitor Menggunakan Haar Cascade Classifier,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 12, pp. 6315–6321, 2018.
- [8] H. Al Fatta, “Sistem presensi karyawan berbasis pengenalan wajah dengan algoritma,” *Image (Rochester, N.Y.)*, pp. 164–170, 2006.
- [9] P. Choirina and R. A. Asmara, “Deteksi Jenis Kelamin Berdasarkan Citra Wajah Jarak Jauh Dengan Metode Haar Cascade Classifier,” *J. Inform. Polinema*, vol. 2, no. 4, p. 164, 2016, doi: 10.33795/jip.v2i4.77.
- [10] V. Bruce and A. Young, “Understanding face recognition,” *Br. J. Psychol.*, vol. 77,

- no. 3, pp. 305–327, 1986, doi: 10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.x.
- [11] A. Sharifara, M. S. Mohd Rahim, and Y. Anisi, “A general review of human face detection including a study of neural networks and Haar feature-based cascade classifier in face detection,” *Proc. - 2014 Int. Symp. Biometrics Secur. Technol. ISBAST 2014*, pp. 73–78, 2015, doi: 10.1109/ISBAST.2014.7013097.
- [12] D. Tyas Purwa Hapsari, C. Gusti Berliana, P. Winda, and M. Arief Soeleman, “Face Detection Using Haar Cascade in Difference Illumination,” *Proc. - 2018 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. Creat. Technol. Hum. Life, iSemantic 2018*, pp. 555–559, 2018, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2018.8549752.
- [13] V. Singh, V. Shokeen, and B. Singh, “Face Detection By Haar Cascade Classifier With Simple And Complex Backgrounds Images Using Opencv Implementation,” *Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 12, pp. 33–38, 2013.
- [14] C. Li, Z. Qi, N. Jia, and J. Wu, “Human face detection algorithm via Haar cascade classifier combined with three additional classifiers,” *ICEMI 2017 - Proc. IEEE 13th Int. Conf. Electron. Meas. Instruments*, vol. 2018-Janua, pp. 483–487, 2017, doi: 10.1109/ICEMI.2017.8265863.
- [15] D. Dan, R. Fitur, and M. Pada, “Citra Wajah Menggunakan Haar Cascade,” pp. 298–305, 2015.
- [16] E. F. Siagian, “Sistem Pendeteksi Kantuk pada Pengendara Mobil Menggunakan Haar Cascade Clasifier dan Sobel Edge Filtering,” 2018.
- [17] H. A. Saputra, F. Utamingrum, and W. Kurniawan, “Deteksi dan Pengenalan Wajah sebagai Pendukung Keamanan Menggunakan Algoritme Haar-Classifer dan Eigenface Berbasis,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 3, no. 2, pp. 8928–8936, 2019.
- [18] A. Kasinski and A. Schmidt, “The architecture and performance of the face and eyes detection system based on the Haar cascade classifiers,” *Pattern Anal. Appl.*, vol. 13, no. 2, pp. 197–211, 2010, doi: 10.1007/s10044-009-0150-5.
- [19] A. Schmidt and A. Kasiński, “The performance of the haar cascade classifiers applied to the face and eyes detection,” *Adv. Soft Comput.*, vol. 45, pp. 816–823, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-75175-5_101.
- [20] N. Wahyudiana and S. Budi, “Perbandingan Performa Pre-Trained Classifier dLib dan HAAR Cascade (OpenCV) Untuk Mendeteksi Wajah,” vol. 1, no. November, pp. 374–385, 2019.
- [21] E. Hjelmås and B. K. Low, “Face detection: A survey,” *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 83, no. 3, pp. 236–274, 2001, doi: 10.1006/cviu.2001.0921.
- [22] X. M. Zhao and C. B. Wei, “A real-time face recognition system based on the improved LBPH algorithm,” *2017 IEEE 2nd Int. Conf. Signal Image Process. ICSIP 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 72–76, 2017, doi: 10.1109/SIPROCESS.2017.8124508.
- [23] A. Rastogi and B. S. Ryuh, “Teat detection algorithm: YOLO vs. Haar-cascade,” *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 4, pp. 1869–1874, 2019, doi: 10.1007/s12206-019-0339-5.
- [24] M. S. Karis, N. R. A. Razif, N. M. Ali, M. A. Rosli, M. S. M. Aras, and M. M. Ghazaly, “Local Binary Pattern (LBP) with application to variant object detection: A survey and method,” *Proceeding - 2016 IEEE 12th Int. Colloq. Signal Process. its Appl. CSPA 2016*, no. March, pp. 221–226, 2016, doi: 10.1109/CSPA.2016.7515835.
- [25] 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.
- [26] N. Stekas and D. Van Den Heuvel, “Face recognition using local binary patterns histograms (LBPH) on an FPGA-based system on chip (SoC),” *Proc. - 2016 IEEE 30th Int. Parallel Distrib. Process. Symp. IPDPS 2016*, pp. 300–304, 2016, doi: 10.1109/IPDPSW.2016.67.