

Penerapan Metode Haar Cascade terhadap Objek Botol menggunakan ESP32-Cam

Lukman Medriavin Silalahi^{*1}, Imelda Uli Vistalina Simanjuntak², Retno Bangun Rizki³, Nuralia Fajri⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Indonesia
Email: ¹lukman.medriavin@mercubuana.ac.id, ²imelda.simanjuntak@mercubuana.ac.id

Abstrak

Riset ini mengeksplorasi metode *Haar Cascade* untuk deteksi objek yang berfokus pada identifikasi botol menggunakan modul ESP32-Cam. Riset ini secara bertahap mengumpulkan dataset objek gambar botol yang beragam untuk melatih *Haar Cascade*. Kemudian, proses pelatihan menggunakan machine learning dan algoritma *Haar Cascade* untuk mengidentifikasi objek botol hingga akhirnya diimplementasikan pada perangkat ESP32-Cam. Hipotesis penelitian ini melibatkan integrasi mesin konveyor beserta komponen pendukung yaitu sensor infrared, buzzer, LED, relay, dan LM2596. Tujuan dari riset ini adalah menerapkan prinsip kerja sistem deteksi objek pada botol yang secara otomatis mendeteksi keberadaan botol dalam gambar atau video menggunakan ESP32-Cam sebagai papan mikrokontroler dan metode *Haar Cascade* sebagai algoritma pengenalan objek yang diintegrasikan ke mesin konveyor. Akhirnya, riset ini menyimpulkan bahwa hasil perancangan dan pengujian implementasi metode *Haar Cascade* menggunakan ESP32-Cam telah berhasil dan berfungsi optimal. Hasil pengujian diperoleh bahwa ESP32-Cam mampu mendeteksi objek botol pada rentang 16 hingga 22 detik dengan akurasi rata-rata 75% pada botol kaca dan 78% untuk botol berbahan plastik. Selanjutnya, ketika ESP32-Cam dihalang oleh kaca film diperoleh hasil akurasi rata-rata 44% pada botol kaca dan 77% pada botol plastik. Berdasarkan pengujian sistem keseluruhan diperoleh bahwa purwarupa ini hanya akan mendeteksi botol dengan menggeneralisasi botol dalam bentuk dimensi ukuran yang berbeda-beda.

Kata kunci: *computer vision, ESP32-Cam, dataset, haar cascade, machine learning*

Application of Haar Cascade Method to Bottle Objects using ESP32-Cam

Abstract

This research explores the Haar Cascade method for object detection focusing on bottle identification using the ESP32-Cam module. This research gradually collected a diverse dataset of bottle drawing objects to train Haar Cascade. Then, the training process uses machine learning and the Haar Cascade algorithm to identify bottle objects until finally implemented on the ESP32-Cam device. The hypothesis of this study involves the integration of conveyor machines and supporting components, namely infrared sensors, buzzers, LEDs, relays, and LM2596. The purpose of this research is to apply the working principle of an object detection system on bottles that automatically detects the presence of bottles in pictures or videos using ESP32-Cam as a microcontroller board and the Haar Cascade method as an object recognition algorithm integrated into the conveyor machine.

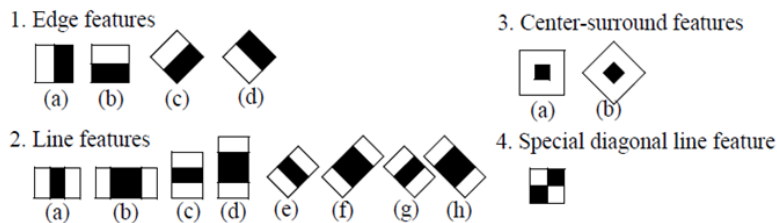
Keywords: *computer vision, ESP32-Cam, dataset, haar cascade, machine learning*

1. PENDAHULUAN

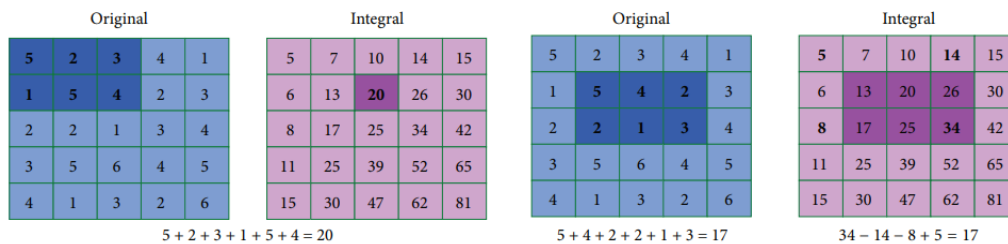
Perkembangan teknologi komputer dan pengolahan citra telah memungkinkan pengembangan sistem deteksi objek yang efektif dan efisien, salah satunya adalah sistem deteksi botol yang memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran. Pengenalan objek merupakan teknologi CV (*Computer Vision*) yang dapat mengenali sebuah objek dari tahapan proses sistem komputer dalam mengidentifikasi dan memahami objek yang terlihat dalam citra atau video [1]–[3]. Teknologi ini diterapkan untuk mengenali objek berdasarkan nilai sederhana dari fitur citra, tetapi bukan menggunakan nilai pixel dari citra objek tersebut sehingga memberikan kelebihan pada komputasi karena bergantung pada jumlah pixel dalam persegi fitur, tidak setiap nilai pixel dari sebuah citra [4]–[6].

Berdasarkan riset [7]–[9] mengungkapkan bahwa *Haar Cascade* merupakan metode deteksi objek yang mengumpulkan fungsi dari *Haar-like features*. *Haar-like features* dibagi menjadi empat kelompok yaitu: Edge feature, Line feature, Centre-surround feature, dan Special diagonal line feature. Kemudian digabungkan untuk

membentuk pengklasifikasi yang berasal dari gabungan piksel hitam dan piksel putih yang membentuk kotak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [10]–[12].



Gambar 1. Haar-like feature



Gambar 2. Contoh ilustrasi gambar integral

Identifikasi objek [13]–[15] menggunakan metode *Haar Cascade* didasarkan pada pengenalan pola melalui fitur visual yang dihasilkan oleh transformasi Haar dari *pre-processing* terhadap gambar integral. Gambar 2 menunjukkan gambar integral dihitung dari nilai piksel. Gambar integral dalam posisi apa pun x, y dihitung dari jumlah nilai piksel (*grayscale*) di atas dan di sebelah kiri x, y yang dikenal sebagai SAT (Summed Area Table). Metode SAT membuat array dua dimensi di mana setiap nilai (*grayscale*) digantikan oleh jumlah semua nilai *grayscale* dalam gambar yang dihitung dijelaskan dalam Persamaan 1 [16]–[18].

$$SAT_{(x,y)} = \sum_{(x' \leq x, y' \leq y)} I(x', y') \quad (1)$$

Framework deteksi objek yang signifikan berdasarkan essential group dari fitur Haar-like diperluas dengan serangkaian fitur berputar 45°. *Haar-like feature* merupakan satu set fitur komprehensif yang dapat dihitung dalam waktu yang konstan dan singkat, kemudian diperoleh metode klasifikasi yang dihasilkan dari peningkatan pengklasifikasi lemah yang berbeda yang karenanya meningkatkan efisiensinya. Untuk mengekstrak *object features* tergantung pada perbedaan *grayscale* antara persegi panjang dihitung dengan pengurangan jumlah sub-jendela dari jumlah jendela fitur yang tersisa. Set fitur putar 45° yang disebutkan disediakan ketika diterapkan pada objek dengan bentuk diagonal.

Pada riset ini, metode *Haar Cascade* diproses oleh mikrokontroler Esp32-Cam. Esp32-Cam merupakan mikrokontroler pengembangan IoT (*Internet of Things*) yang terintegrasi kamera dan memiliki kemampuan pemrosesan gambar dan memungkinkan pengiriman data secara real-time [19]–[21]. Penggunaan Esp32-Cam memberikan solusi hemat biaya, dan mudah diimplementasikan [22]–[24]. Cara kerja pendeteksian objek adalah menempatkan sesuatu disekitar objek yang melibatkan proses yakni klasifikasi jenis objek, dan menyatakan karakteristik objek tersebut [25]–[27].

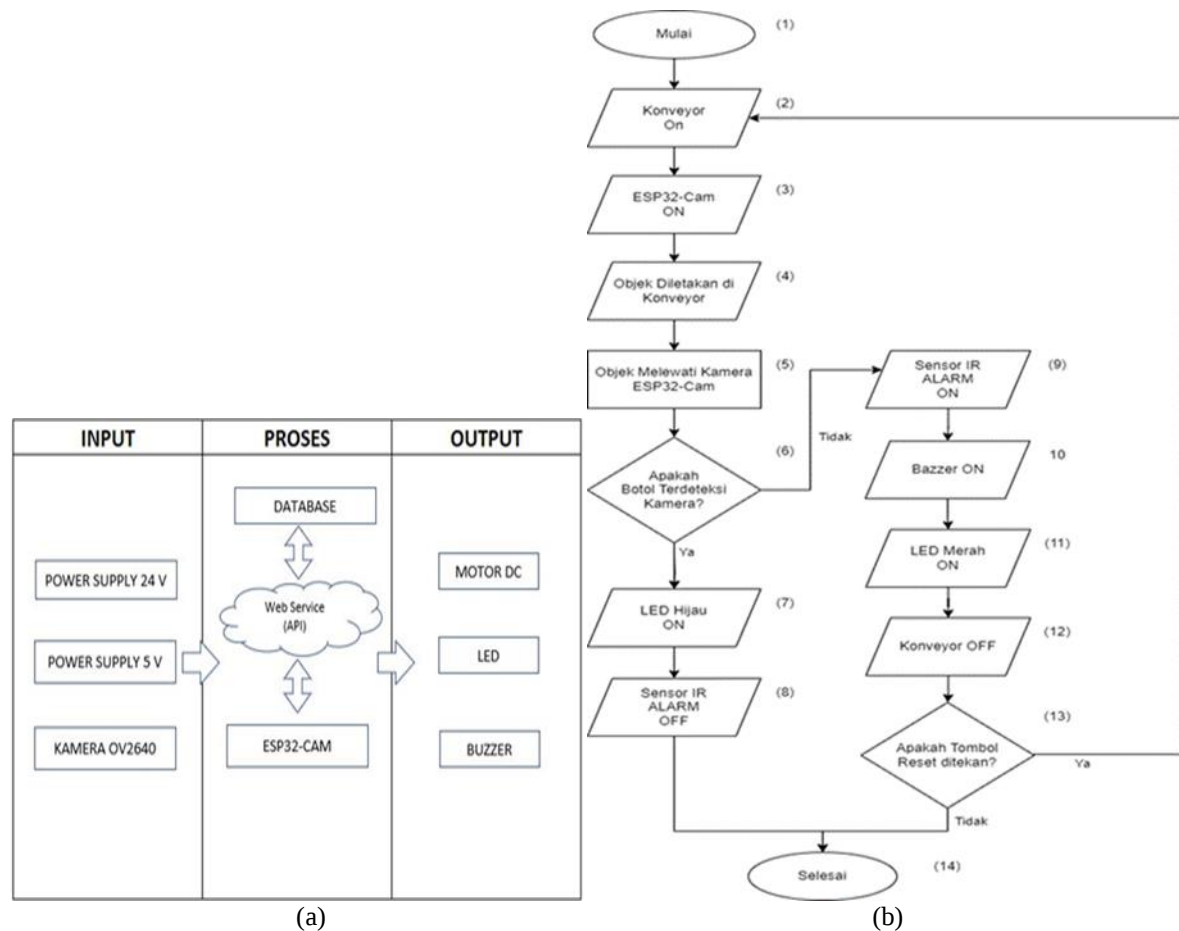
Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka riset ini memiliki state of art pada penerapan metode haar cascade terhadap objek botol menggunakan ESP32-CAM. Usulan metode ini ditujukan untuk memberikan pengambilan keputusan (*decision maker*) dalam memilih dan memilah objek botol agar mesin konveyor yang dirancang dapat difungsikan dengan optimal. tujuan riset ini adalah mereplikasi kecerdasan manusia untuk melihat objek menggunakan komputer.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Blok Diagram

Rancangan sistem telah dilengkapi sensor kamera, dan sensor *infrared*. Secara garis besar, prinsip kerja sistem ini yaitu ketika kamera berhasil mendeteksi objek, kemudian data diterima oleh kamera ESP32-Cam, data dikirim dan diproses oleh API atau *web service* untuk diproses sesuai dengan *class database*. Hasil proses klasifikasi kemudian diproses ESP32-Cam untuk dikirimkan ke layar yang pada layar menampilkan hasil klasifikasi objek yang telah sesuai dengan objek yang telah terdeteksi. Gambar 3 (a) menampilkan blok diagram

penerapan metode *Haar Cascade* terhadap objek botol menggunakan ESP32-CAM. Penjelasan fungsi blok diagram adalah.



Gambar 3. (a) Blok diagram ; (b) Diagram alir

a. Masukan

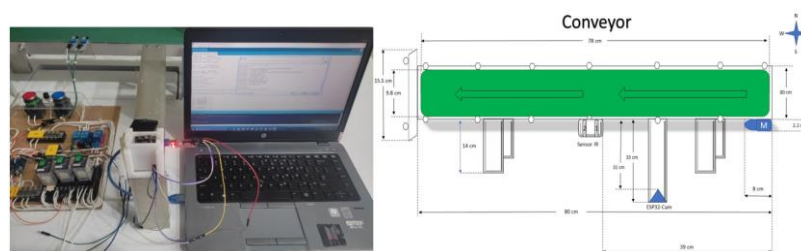
Kamera yang tertanam pada mikrokontroler ESP32-Cam sebagai masukan yang bertindak untuk menangkap keberadaan objek yang bergerak di lintasan mesin konveyor.

b. Proses

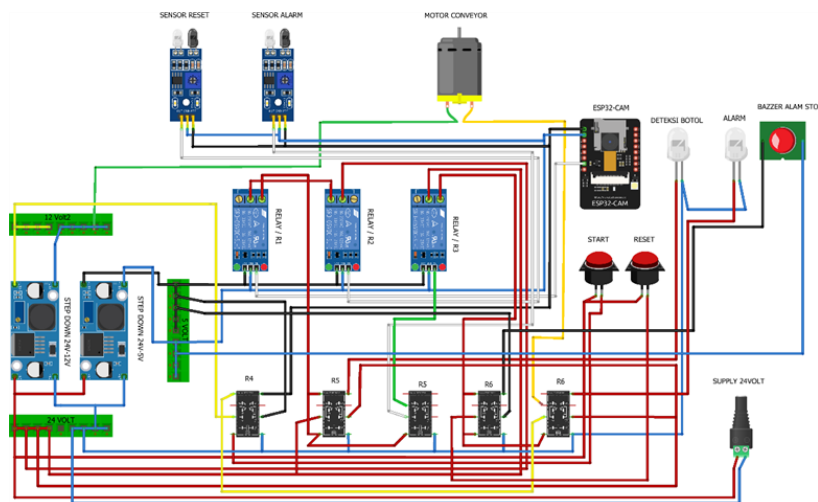
Mikrokontroler ESP32-Cam berperan sebagai pengambil keputusan untuk melakukan pengolahan data informasi yang diperoleh dari input. ESP32-Cam yang telah terhubung ke dalam jaringan internet, kemudian mengirimkan informasi data melalui API berbasis web service untuk kemudian ditampilkan pada layar monitor. Namun, tampilan tersebut merupakan hasil pengolahan data yang telah diklasifikasi berdasarkan skrip program perintah yang dituliskan ESP32-Cam yang menyatakan objek tersebut layak atau tidak layak bergerak dilintasan mesin konveyor.

c. Keluaran

Hasil keluaran yang sudah di program oleh sistem akan mengaktifkan perangkat yang telah terintegrasi oleh sistem seperti motor DC, LED, *buzzer*.



Gambar 4. Model rancangan



Gambar 5. Model pengkawatan

2.2. Diagram Alir

Gambar 3 (b) menunjukkan diagram alir proses metode haar cascade menggunakan ESP32-Cam. Penjelasan fungsi diagram alir dimulai saat konveyor aktif, lintasan konveyor bergerak. Lalu, modul ESP32-Cam yang telah mengaktifkan fungsi kamera bertindak untuk memproses setiap objek yang ditangkap kamera. Kemudian objek diletakkan dilintasan konveyor dan ketika melewati ESP32-Cam, kemudian memutuskan hasil tangkap objek merupakan objek botol atau tidak. Jika objek mendeteksi merupakan botol, maka lampu LED hijau akan menyala yang menghasilkan keluaran menonaktifkan sensor infrared serta menonaktifkan alarm. Namun, jika objek yang terdeteksi bukan objek botol, maka sensor infrared menyala, kemudian mengaktifkan fungsi alarm yang membuat fungsi buzzer juga ikut aktif, serta lampu indikator berwarna merah yang akhirnya menonaktifkan konveyor. Untuk menjalankan konveyor diperlukan menekan tombol reset.

2.3. Perancangan Pengkabelan

Gambar 4 merupakan hasil model rancangan yang terdiri dari perancangan elektrikal. Gambar 5 mendetailkan pengawatan setiap komponen yang digunakan dalam pembuatan alat, termasuk ESP32-Cam, Sensor IR (*Inframerah*), relay, buzzer 5Vdc, motor DC, dan lampu indikator.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan analisis perancangan sistem deteksi botol menggunakan Esp32-Cam menggunakan metode *Haar Cascade*. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi alat bekerja secara optimal. Gambar yang tertangkap Esp32-Cam dapat dilihat pada layar monitor dari modul Esp32-Cam.

3.1. Pengujian Botol berbahan kaca

Pengujian sebanyak 5 kali dilakukan terhadap objek botol berbahan kaca. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian deteksi objek berbahan kaca.

Tabel 1. Pengujian botol bahan kaca tanpa hambatan

No	Objek Botol	Tinggi (mm)	Status ESP32-Cam (Tangkapan)	Persentase Akurasi (%)	Pembacaan Awal (Detik)	Pembacaan Akhir (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
1	Bintang	282	4	78	18	34	16
2	Heineken	282	5	68	19	34	15
3	Guinness	282	4	79	19	34	15
4	You C1000	127	7	87	18	35	17
5	Aqua Botol	245	5	67	18	32	14

Namun, ketika kamera ESP32-Cam dihalangi kaca film untuk memberikan penghalang dan menguji tingkat deteksi ESP32-Cam membaca objek yang bergerak dilintasi konveyor telah dilakukan sebanyak 5 kali pengujian yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian gangguan botol bahan kaca

No	Objek Botol	Tinggi (mm)	Status ESP32-Cam (Tangkapan)	Persentase Akurasi (%)	Pembacaan Awal (Detik)	Pembacaan Akhir (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
1	Bintang	282	3	79	20	29	9
2	Heineken	282	0	0	0	0	0
3	Guinness	282	3	66	22	29	7
4	You C1000	127	6	78	18	34	16
5	Aqua Botol	245	0	0	0	0	0

Hasil pengujian tanpa penghalang menunjukkan objek botol Bintang, Guinness, You C1000 memiliki tingkat akurasi yang relatif tinggi, yaitu $\geq 78\%$. Sementara itu, Heineken dan Aqua memiliki akurasi rendah, yaitu $\leq 68\%$. Lebih lanjut, hasil pengujian ESP32-Cam yang dihalangi oleh kaca film menunjukkan objek botol Bintang, Guinness, dan You C1000 berhasil terdeteksi dengan akurasi berkisar $\geq 66\%$. Namun, botol Heineken dan Aqua tidak terdeteksi oleh ESP32-Cam.

3.2. Pengujian Botol Berbahan Plastik

Pengujian sebanyak 5 kali dilakukan terhadap objek botol berbahan plastik. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian deteksi objek berbahan kaca.

Tabel 3. Pengujian botol bahan plastik tanpa hambatan

No	Objek Botol	Tinggi (mm)	Status ESP32-Cam (Tangkapan)	Persentase Akurasi (%)	Pembacaan Awal (Detik)	Pembacaan Akhir (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
1	Good Day	146	7	67	17	35	18
2	Cleo	228	5	74	19	35	16
3	Floridina	175	6	89	18	34	16
4	Teh Sosro	190	6	81	19	34	15
5	Pocari	148	6	83	18	35	17

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian objek botol berbahan plastik dengan ESP32-Cam dihalangi kaca film untuk menguji tingkat pembacaan objek yang bergerak dilintasi konveyor.

Tabel 4. Pengujian gangguan botol bahan plastik

No	Objek Botol	Tinggi (mm)	Status ESP32-Cam (Tangkapan)	Persentase Akurasi (%)	Pembacaan Awal (Detik)	Pembacaan Akhir (Detik)	Selisih Waktu (Detik)
1	Good Day	146	6	77	17	35	18
2	Cleo	228	3	64	24	33	9
3	Floridina	175	5	86	18	31	13
4	Teh Sosro	190	7	76	18	35	17
5	Pocari	148	4	82	19	31	12

Tabel 3 menunjukkan bahwa tingkat akurasi tertinggi adalah 89% yaitu Floridina diuruti oleh Pocari, Teh Sosro, Cleo dan terendah adalah Good Day sebesar 67%. Sementara itu, terhadap kamera yang dihalangi kaca film, penurunan persentase akurasi antara rentang 6%-7% yang artinya objek berbahan plastik masih terdeteksi walau dihalangi oleh kaca film.

3.3. Pengujian Bukan Botol

Pengujian sebanyak 5 kali dilakukan terhadap objek bukan botol. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian deteksi objek bukan botol.

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian Sensor Infrared, Buzzer, Led Alarm (Merah) dan juga Konveyor. Dapat dianalisis bahwa sebanyak 5 kali percobaan objek bukan botol menunjukkan seluruh sistem untuk menghentikan konveyor dikarenakan objek yang ditangkap kamera ESP32-Cam merupakan bukan objek botol.

Tabel 5. Pengujian objek bukan botol tanpa hambatan

No	Objek Botol	Tinggi (mm)	Status ESP32-Cam (Tangkapan)	Sensor Infrared	Buzzer	Kondisi LED (Merah)	Kondisi Konveyor
1	Gelas	100	Terdeteksi	Aktif	Bunyi	On	Stop
2	Ultra Milk	120	Tidak Terdeteksi	Aktif	Bunyi	On	Stop
3	Pop Mie	197	Terdeteksi	Aktif	Bunyi	On	Stop
4	Isolatip	50	Tidak Terdeteksi	Aktif	Bunyi	On	Stop
5	Lem Aibon	58	Tidak Terdeteksi	Aktif	Bunyi	On	Stop

4. KESIMPULAN

Akhrnya, riset ini menyimpulkan bahwa hasil perancangan dan pengujian implementasi metode *Haar Cascade* menggunakan ESP32-Cam telah berhasil dan berfungsi optimal. Keberhasilan ini ditunjukkan ketika objek bergerak diatas lintasan konveyor merupakan botol maka konveyor akan terus berjalan. Namun, jika objek bukan botol, maka sistem berhenti disertai alarm buzzer juga lampu menyala merah. Hasil pengujian diperoleh bahwa ESP32-Cam mampu mendeteksi objek botol pada rentang 16 hingga 22 detik dengan akurasi rata rata 75% pada botol kaca dan 78% untuk botol berbahan plastik. Selanjutnya, ketika ESP32-Cam dihalang oleh kaca film diperoleh hasil akurasi rata-rata 44% pada botol kaca dan 77% pada botol plastik. Berdasarkan pengujian sistem keseluruhan diperoleh bahwa purwarupa ini hanya akan mendeteksi botol dengan mengeneralisasi botol dalam bentuk dimensi ukuran yang berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Riset ini ini didukung oleh Universitas Mercu Buana pada Penelitian Dasar Internal Dosen Muda Tahun Anggaran 2024, nomor kontrak 02-5/929/B-SPK/III/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Pachipala, M. Harika, B. Aakanksha, and M. Kavitha, "Object Detection using TensorFlow," in *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, Mar. 2022, pp. 1611–1619. doi: 10.1109/ICEARS53579.2022.9752263.
- [2] M. Ponika, K. Jahnavi, P. S. V. S. Sridhar, and K. Veena, "Developing a YOLO based Object Detection Application using OpenCV," in *2023 7th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Feb. 2023, pp. 662–668. doi: 10.1109/ICCMC56507.2023.10084075.
- [3] V. Goel, D. Arora, and S. Rizvi, "Object Detection Using TensorFlow 2 and Amazon SageMaker BT - Cyber Security and Digital Forensics," N. R. Roy, S. Tanwar, and U. Batra, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2024, pp. 361–373.
- [4] S. Namiki, K. Yokoyama, S. Yachida, T. Shibata, H. Miyano, and M. Ishikawa, "Online Object Recognition Using CNN-based Algorithm on High-speed Camera Imaging," pp. 2025–2032, 2021.
- [5] G. Singh, A. Yadav, I. Bhardwaj, and U. Chauhan, "Web-Page Interfaced Real-Time Object Detection Using TensorFlow," in *2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*, Dec. 2021, pp. 1439–1441. doi: 10.1109/ICAC3N53548.2021.9725742.
- [6] K. Gupta, S. Choubey, Y. N. P. William, V. T. N, and C. P. Kale, "Implementation of Motorist Weariness Detection System using a Conventional Object Recognition Technique," in *2023 International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)*, Jan. 2023, pp. 640–646. doi: 10.1109/IDCIoT56793.2023.10052783.
- [7] N. Muhammad, E. Ariyanto, and Y. A. S. Yudo, "Improved Face Detection Accuracy Using Haar Cascade Classifier Method And Esp32-Cam For Iot-Based Home Door Security," *JUPI (Jurnal Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Inform.)*, vol. 8, no. 1, pp. 154–161, 2023.
- [8] F. A. Mahaputra, I. U. V. Simanjuntak, Yuliza, Heryanto, A. D. Rochendi, and L. M. Silalahi, "Comparative Study Of Convolutional Neural Network And Haar Cascade Performance On Mask

- Detection Systems Using Matlab,” in *2022 9th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Oct. 2022, pp. 74–78. doi: 10.23919/EECSI56542.2022.9946467.
- [9] S. Budiyanto, F. A. Silaban, L. M. Silalahi, S. Kurniawan, and S. Andryana, “Design and monitoring body temperature and heart rate in humans based on WSN using star topology,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 326–334, 2021.
- [10] Z.-Q. Zhao, P. Zheng, S. Xu, and X. Wu, “Object detection with deep learning: A review,” *IEEE Trans. neural networks Learn. Syst.*, vol. 30, no. 11, pp. 3212–3232, 2019.
- [11] J. Jumadi, Y. Yupianti, and D. Sartika, “Pengolahan Citra Digital Untuk Identifikasi Objek Menggunakan Metode Hierarchical Agglomerative Clustering,” *JST (Jurnal Sains Dan Teknol.)*, vol. 10, no. 2, pp. 148–156, 2021.
- [12] G. P. Bhat and N. G. Cholli, “Effective object detection using Tensorflow facilitated YOLOv3 model,” in *2021 IEEE International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, Dec. 2021, pp. 1–8. doi: 10.1109/CSITSS54238.2021.9683109.
- [13] S. Satpute, H. Shende, V. Shukla, and B. Patil, “Real Time Object Detection using Deep-Learning and OpenCV,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 07, no. 04, pp. 3243–3246, 2020.
- [14] C. Mukabe, N. Suresh, V. Hashiyana, T. Haiduwa, and W. Sverdlik, “Object Detection and Classification Using Machine Learning Techniques: A Comparison of Haar Cascades and Neural Networks,” in *Proceedings of the International Conference on Data Science, Machine Learning and Artificial Intelligence*, in DSMLAI “21.” New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022, pp. 86–97. doi: 10.1145/3484824.3484895.
- [15] G. Ghosh and K. S. Swarnalatha, “A Detail Analysis and Implementation of Haar Cascade Classifier BT - Recent Advances in Artificial Intelligence and Data Engineering,” P. Shetty D. and S. Shetty, Eds., Singapore: Springer Singapore, 2022, pp. 341–359.
- [16] S. S. Beknazarova, N. M. Latipova, M. J. Maxmudova, V. S. Alekseeva, and A. S. Turakulova, “Machine learning algorithms are used to detect and track objects on video images,” in *Proc.SPIE*, Feb. 2024, p. 130650K. doi: 10.1117/12.3025015.
- [17] C. Rahmad, R. A. Asmara, D. R. H. Putra, I. Dharma, H. Darmono, and I. Muhiqqin, “Comparison of Viola-Jones Haar Cascade Classifier and Histogram of Oriented Gradients (HOG) for face detection,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 732, no. 1, p. 12038, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/732/1/012038.
- [18] D. Vartak, Y. Maheshwari, T. Kothari, and D. K. Srivastava, “Analytical Study and Recommendations for Computer Vision Methods,” in *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Jul. 2023, pp. 1–8. doi: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10308209.
- [19] L. Medriavin Silalahi, I. Uli Vistalina Simanjuntak, F. Artadima Silaban, S. Budiyanto, Heryanto, and M. Ikhsan, “Integration of opencv raspberry pi 3b+ and camera sensor in access control of vehicle ignition key system,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 909, no. 1, p. 012002, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/909/1/012002.
- [20] S. Budiyanto and L. M. Silalahi, “Internet of Things for 4.0 Industry Revolution,” *J. Innov. Community Engagem.*, vol. 4, no. 3 SE-Articles, pp. 164–173, Aug. 2023, doi: 10.28932/ice.v4i3.7316.
- [21] S. Budiyanto, L. M. Silalahi, A. Adriansyah, U. Darusalam, S. Andryana, and A. D. Rochendi, “Development of Internet of Things Based Fertigation System for Improving Productivity of Patchouli Plantation,” in *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)*, 2021, pp. 230–233.
- [22] N. Mehendale, “Object Detection using ESP 32 CAM,” *SSRN Electron. J.*, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4152378.
- [23] L. M. Silalahi, A. D. Rochendi, I. Kampono, M. Husni, R. Sutiadi, and others, “Alat Bantu Training Elektronika Berbasis Internet Of Things dengan Logika Fuzzy Menggunakan NODEMCU,” *KILAT*, vol. 10, no. 2, pp. 287–300, 2021.
- [24] L. M. Silalahi, G. Osman, F. A. Silaban, I. U. V. Simanjuntak, and A. D. Rochendi, “Design An Infant Warmer With Android-Based Temperature Monitoring: Design An Infant Warmer With Android-Based Temperature Monitoring,” *J. Informatics Commun. Technol.*, vol. 3, no. 2 SE-Articles, pp. 67–73, Dec. 2021, doi: 10.52661/j_ict.v3i2.86.

-
- [25] L. M. Silalahi, M. Ikhsan, S. Budiyanto, I. U. Vistalina Simanjuntak, G. Osman, and A. D. Rochendi, "Designing a Thief Detection Prototype using Banana Pi M2+ Based Image Visual Capture Method and Email Notifications," in *2022 5th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*, 2022, pp. 293–296. doi: 10.1109/IC2IE56416.2022.9970065.
- [26] L. M. Silalahi and A. Novantoro, "Rancang Bangun Prototipe Water Flow Meter Dan Level Air Pompa Dewatering Dengan Monitor Thingspeak Menggunakan Sumber Daya Tenaga Surya: Rancang Bangun Prototipe Water Flow Meter Dan Level Air Pompa Dewatering Dengan Monitor Thingspeak Menggunakan Sumber ,," *PETIR*, vol. 16, no. 1 SE-Articles, Apr. 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.itpln.ac.id.aiotech.id/petir/article/view/1615>
- [27] Lukman Medriavin Silalahi, I. U. V. Simanjuntak, and A. D. Rochendi, "Internet of Things Education Teaching and Learning Centre Harapan Bunda School Jakarta," *ABDIMAS J. Pengabd. Masy.*, vol. 6, no. 4 SE-Articles, pp. 4439–4448, Oct. 2023, doi: 10.35568/abdimas.v6i4.3862.