

Optimalisasi Preprocessing untuk Peningkatan Akurasi Pengenalan Plat Nomor pada Citra Tidak Ideal

^{1*} Yanuangga Galahartlambang, ² Titik Khotiah, ³ Ilham Basri K, ⁴ Masrur Anwar, ⁵ David Fahmi Abdillah

^{1,2,3,4,5} Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, ITB Ahmad Dahlan Lamongan, Indonesia
¹yanuangga.id@gmail.com, ²titikjagad@ahmaddahlan.ac.id, ³ilham@ahmaddahlan.ac.id,
⁴masruranwar19@gmail.com, ⁵davidfahmi18@ahmaddahlan.ac.id

Article Info

Article history:

Received November 17th, 2024
Revised December 23th, 2024
Accepted December 28th, 2024

Keyword:

Pengenalan Plat Nomor
YOLO
OCR
Perbaikan Kualitas Gambar

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of Optical Character Recognition (OCR) in recognizing text on vehicle license plate images taken using a digital camera. The dataset used consists of 10 vehicle license plate images with characteristics of vehicle traffic images, including low lighting, perspective distortion, noise, and small image size. Various image quality improvement techniques are applied, such as Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), Bilateral Filtering, Wavelet Denoising, Unsharp Masking, and Super-Resolution GAN using bicubic interpolation. Accuracy measurements are carried out using two main metrics, namely Character Accuracy Rate (CAR) and Word Accuracy Rate (WAR), with average values of 96.91% and 90.00%, respectively. The results of the study show that the image quality improvement method is able to improve the visibility of characters on the license plate, so that OCR can recognize text with high accuracy even though there is noise and distortion in the image. This study provides insight into the effectiveness of the image improvement and OCR pipeline in vehicle traffic conditions, as well as being a foundation for the development of better license plate recognition systems.

Copyright © 2024 Nucleus Journal
All rights reserved.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v3i2.3206>

Corresponding Author:

Yanuangga Galahartlambang,
Teknologi Informasi, ITB Ahmad Dahlan Lamongan,
Jl. KH. Ahmad Dahlan No.41, Jetis, Kec. Lamongan, Kabupaten Lamongan.
Email: yanuangga.id@gmail.com

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa Optical Character Recognition (OCR) dalam mengenali teks pada gambar plat nomor kendaraan yang diambil menggunakan kamera digital. Dataset yang digunakan terdiri dari 10 gambar plat nomor kendaraan dengan karakteristik gambar lalu lintas kendaraan, termasuk pencahayaan rendah, distorsi perspektif, noise, dan ukuran gambar yang kecil. Berbagai teknik perbaikan kualitas gambar diterapkan, seperti Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), Bilateral Filtering, Wavelet Denoising, Unsharp Masking, dan Super-Resolution GAN menggunakan bicubic interpolation.

Pengukuran akurasi dilakukan menggunakan dua metrik utama, yaitu Character Accuracy Rate (CAR) dan Word Accuracy Rate (WAR), dengan nilai rata-rata masing-masing sebesar 96,91% dan 90,00%. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa metode perbaikan kualitas gambar mampu meningkatkan visibilitas karakter pada plat nomor, sehingga OCR dapat mengenali teks dengan akurasi tinggi meskipun terdapat noise dan distorsi pada gambar. Penelitian ini memberikan wawasan tentang efektivitas pipeline perbaikan gambar dan OCR pada kondisi lalu lintas kendaraan, serta menjadi landasan untuk pengembangan sistem pengenalan plat nomor yang lebih baik.

I. Pendahuluan

Kemacetan lalu lintas telah menjadi permasalahan krusial di berbagai kota besar di dunia, termasuk di negara-negara berkembang. Fenomena ini tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi akibat pemborosan waktu dan bahan bakar, tetapi juga berdampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan masyarakat [1]. Salah satu faktor utama penyebab kemacetan adalah sistem transportasi yang tidak efisien, termasuk sistem parkir, pengawasan lalu lintas, dan sistem pembayaran tol yang belum optimal.

Sistem parkir konvensional seringkali mengalami berbagai kendala, seperti keterbatasan lahan parkir, kesulitan mencari tempat parkir kosong, dan antrian panjang di pintu masuk dan keluar. Hal ini mengakibatkan pemborosan waktu, peningkatan emisi gas buang, dan stres bagi pengemudi [2]. Studi yang dilakukan oleh Arifianto et al. [3] di Jakarta menunjukkan bahwa pengemudi menghabiskan rata-rata 15-20 menit untuk mencari tempat parkir, terutama pada jam-jam sibuk. Kondisi ini diperparah dengan sistem pengawasan lalu lintas yang masih manual dan kurang responsif terhadap perubahan kondisi lalu lintas secara real-time.

Di sisi lain, sistem pembayaran tol di banyak negara masih mengandalkan transaksi tunai atau kartu elektronik yang mengharuskan kendaraan berhenti di gerbang tol. Antrian panjang di gerbang tol menjadi pemandangan umum, terutama pada saat liburan atau jam-jam sibuk. Hal ini menyebabkan kemacetan dan menghambat arus lalu lintas [4].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan solusi inovatif yang mengintegrasikan teknologi canggih dalam sistem transportasi. Pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan (AI) dan Internet of Things (IoT) memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi sistem parkir, kemudahan pengawasan lalu lintas, dan otomatisasi pembayaran tol [5].

Salah satu teknologi AI yang berkembang pesat dan telah diterapkan di berbagai bidang adalah You Only Look Once (YOLO). YOLO merupakan algoritma deep learning yang mampu mendeteksi objek secara real-time dengan akurasi dan kecepatan tinggi [6]. Keunggulan YOLO dalam mendeteksi objek secara akurat dan cepat menjadikannya sangat relevan untuk diterapkan dalam sistem transportasi cerdas. Dalam konteks sistem parkir, YOLO dapat digunakan untuk mendeteksi ketersediaan tempat parkir kosong secara real-time. Informasi tersebut kemudian dapat diberikan kepada pengemudi melalui aplikasi smartphone atau sistem navigasi di kendaraan. Dengan demikian, pengemudi dapat menemukan tempat parkir dengan lebih cepat dan mudah, sehingga mengurangi waktu pencarian dan kemacetan di area parkir [7]. Pada sistem pengawasan lalu lintas, YOLO dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi berbagai jenis kendaraan, pelanggaran lalu lintas, dan kepadatan lalu lintas secara real-time. Data tersebut dapat digunakan oleh pihak berwenang untuk mengoptimalkan pengaturan lalu lintas, menangani kemacetan, dan meningkatkan keselamatan berkendara [8].

Penerapan YOLO pada sistem pembayaran tol memungkinkan otomatisasi proses pembayaran tanpa mengharuskan kendaraan berhenti di gerbang tol. YOLO dapat digunakan untuk mendeteksi nomor plat kendaraan dan secara otomatis memotong saldo dari akun pengguna yang terhubung dengan sistem pembayaran elektronik. Hal ini akan memperlancar arus lalu lintas di gerbang tol dan meningkatkan efisiensi waktu [9]. Penelitian ini berfokus pada pengenalan plat nomor kendaraan dengan memanfaatkan algoritma YOLO sebagai deteksi objek. Tantangan utama dalam penelitian ini adalah mengembangkan sistem yang akurat, robust, dan dapat diimplementasikan secara real-time di lingkungan yang kompleks. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi performa sistem yang dikembangkan dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem.

II. Metode Penelitian

A. Metode

Metode penelitian yang diusulkan meliputi tahapan akuisisi data, preprocessing, deteksi objek, pengenalan karakter (OCR), dan evaluasi kinerja. Berikut uraian dari setiap tahapan:

1. Deteksi Objek YOLO

Algoritma YOLO (You Only Look Once) digunakan untuk mendeteksi plat nomor pada citra. Model YOLO dilatih menggunakan data latih yang telah di-preprocessing. Arsitektur YOLO yang akan digunakan adalah YOLOv8 atau versi yang lebih baru, karena menawarkan kecepatan dan akurasi yang tinggi dalam mendeteksi objek. Proses pelatihan melibatkan optimasi parameter model dan tuning hyperparameter untuk mencapai performa yang optimal pada data plat nomor. [10].

2. Preprocessing

Tahapan preprocessing bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra dan menonjolkan fitur plat nomor, sehingga memudahkan proses deteksi dan pengenalan karakter. Berikut teknik preprocessing yang diusulkan:

- a. Peningkatan Kontras: CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) diterapkan untuk meningkatkan kontras lokal pada citra dan mengatasi variasi pencahayaan [11].
- b. Penajaman Citra: Unsharp Masking digunakan untuk mempertajam tepi objek, khususnya batas plat nomor dan karakter [12].
- c. Filter Noise: Bilateral Filter diimplementasikan untuk menghilangkan noise pada citra tanpa mengaburkan detail penting [13].
- d. Wavelet Denoising: Mengurangi noise tanpa mengorbankan detail halus pada gambar. Teknik berbasis wavelet yang sering digunakan dalam pengolahan gambar yang memerlukan kejelasan tinggi seperti OCR [14].
- e. SR-GAN: Peningkatan resolusi gambar kecil, menggunakan jaringan GAN untuk merekonstruksi detail gambar dengan resolusi tinggi tanpa mengorbankan kejelasan [15].

3. Pengenalan Karakter (OCR)

Setelah plat nomor terdeteksi, tahapan selanjutnya adalah pengenalan karakter menggunakan metode OCR (Optical Character Recognition). Metode OCR yang diusulkan adalah paddleOCR dengan training data khusus plat nomor Indonesia untuk meningkatkan akurasi pengenalan karakter [16].

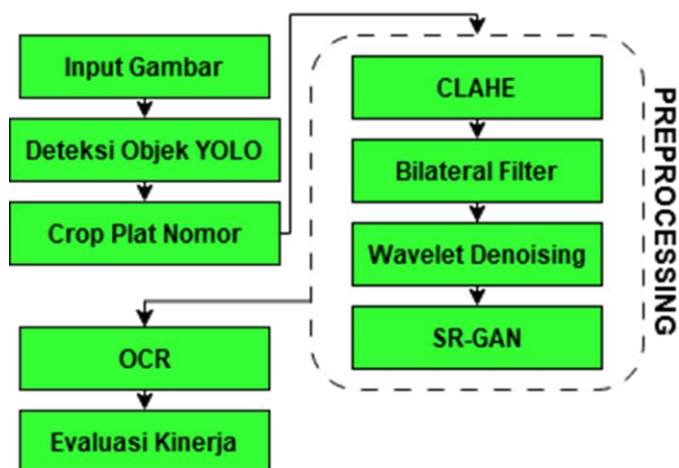
4. Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja sistem dilakukan menggunakan metrik akurasi pengenalan karakter yaitu *Character Accuracy Rate* (CAR) dan *Word Accuracy Rate* (WAR) [17][18][19][20].

B. Gambar Diagram Alir Penelitian

1. Akuisisi Gambar: Mengumpulkan data citra plat nomor dari berbagai sumber.
2. Preprocessing: Menerapkan teknik preprocessing untuk meningkatkan kualitas citra.
3. OCR: Mengenali karakter pada plat nomor yang terdeteksi menggunakan paddleOCR.
4. Evaluasi Kinerja: Mengevaluasi kinerja sistem deteksi dan pengenalan plat nomor menggunakan metrik yang relevan.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

Dataset yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari gambar-gambar kendaraan roda dua, roda empat, truk beserta plat nomor kendaraan yang diambil menggunakan kamera digital. Gambar tersebut memiliki karakteristik berikut :

Sebagian gambar dalam kondisi buram, kurang pencahayaan, atau miring. Resolusi gambar beragam, dengan beberapa gambar berukuran kecil. Gambar diambil di lingkungan outdoor dengan pencahayaan alami. Dataset yang digunakan untuk pengujian sebanyak 10 gambar plat nomor kendaraan. Serta memiliki noise akibat pencahayaan rendah atau refleksi. Beberapa gambar diambil miring atau tidak sejajar. Dataset ini mencerminkan kondisi nyata dalam pengambilan gambar plat nomor kendaraan, sehingga relevan untuk menguji robustness dari sistem OCR dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Dataset Kendaraan dengan Plat Nomor

Dari dataset yang akan diujikan di input ke dalam sistem, kemudian dilakukan proses deteksi objek menggunakan YOLO v8 menggunakan model YOLO yang sudah *pre-train* sebelumnya. *Pre-train* model ini telah mempelajari fitur-fitur visual yang relevan untuk membedakan objek termasuk plat nomor kendaraan. Model tersebut akan memproses gambar dan melakukan prediksi keberadaan objek plat nomor. Output dari prediksi keberadaan objek ini akan ditandai berupa *bounding box* disertai *confidence score* yang mengidentifikasi lokasi keberadaan gambar. Hasil *bounding box* atau penanda berupa area persegi untuk objek yang berhasil dideteksi, sedangkan *confidence score* pada umumnya terletak didekat *bounding box* yang menunjukkan tingkat keyakinan model terhadap deteksi tersebut. Yang kemudian dilakukan *cropping* atau pemotongan objek, yang berguna untuk memisahkan objek hasil deteksi dengan objek lainnya. Dapat dilihat pada gambar 3

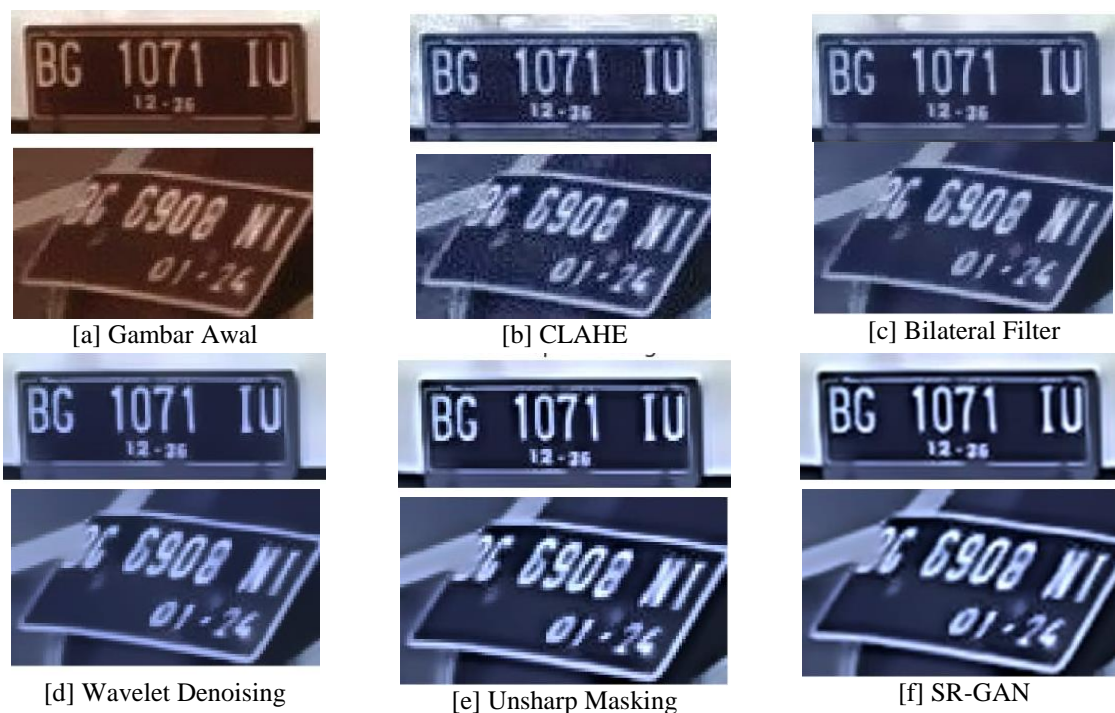


Gambar 3. Bounding box dan Confidence Score Deteksi Objek YOLO

Setelah objek plat nomor di potong dari gambar utama, tahap selanjutnya adalah Pre-processing peningkatan kualitas gambar agar mudah dibaca dan dideteksi oleh system pengenalan plat nomor.

- a. Gambar asal
Hasil pemotongan gambar area plat nomor yang berhasil di deteksi oleh YOLO v8 (gambar 4[a])
- b. CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)
Meningkatkan kontras gambar secara adaptif, teruatom pada area yang kurang terang ataupun terlalu terang. Membantu menonjolkan detail plat nomor yaitu karakter huruf dan angka (gambar 4[b])
- c. Bilateral Filter
Menghaluskan gambar dengan tetap mempertahankan tepi objek, mengurangi noise pada gambar tanpa mengaburkan detail penting seperti batas tepi karakter pada plat nomor (gambar 4[c])
- d. Wavelet Denoising
Menghilangkan noise dengan memanfaatkan transformasi wavelet, efektif untuk mengurangi noise jenis gaussian dan noise yang terkonsentrasi pada frekwensi tertentu (gambar 4[d]).
- e. Unsharp Masking
Mempertajam gambar dengan menonjolkan tepi objek, membuat karakter huruf dan angka pada plat nomor terlihat lebih jelas dan tajam (gambar 4[e])
- f. SR-GAN (Super Resolution Generative Adversarial Network)
Meningkatkan resolusi gambar dengan memanfaatkan deep learning, menghasilkan gambar plat nomor dengan resolusi lebih tinggi dan detail yang lebih baik, terutama jika gambar asli beresolusi rendah atau buram (gambar 4[f]).

Proses gambar plat dapat dilihat pada gambar 5



Gambar 4. Pre-processing gambar plat nomor

Hasil gambar SR-GAN dibaca oleh Optical Character Recognition (OCR) dan diterjemahkan dalam bentuk teks (tabel 1).

Tabel 1. Hasil pengenalan karakter plat nomor kendaraan

Nama Gambar	Groundtruth	OCR Result	Correct Char	Total Char	Correct Words	Total Words	CAR (%)	WAR (%)
Gambar 1	BG 1071 IU	BG 1071 IU	10	10	3	3	100	100
Gambar 2	BG 6908 NI	BG 6908 WI	9	10	2	3	90	66,6
Gambar 3	BK 1123 NY	BK 1123 MY	9	10	2	3	90	66,6
Gambar 4	N 1954 XL	N 1954 XL	9	9	3	3	100	100
Gambar 5	BG 2190 ADX	BG 2190 ADX	11	11	3	3	100	100
Gambar 6	P 1324 OK	P 1324 OK	9	9	3	3	100	100
Gambar 7	BG 5388 AAI	BG 5388 AA1	10	11	2	3	90,9	66,6
Gambar 8	P 1917 PG	P 1917 PG	9	9	3	3	100	100
Gambar 9	P 1015 HI	P 1015 HI	9	9	3	3	100	100
Gambar 10	P 1002 GP	P 1002 GP	9	9	3	3	100	100

Evaluasi kinerja sistem menggunakan dua pendekatan utama untuk menghitung akurasi pengenalan teks :

A. Perhitungan Character Accuracy Rate (CAR):

Mengukur seberapa banyak karakter yang dikenali dengan benar dibandingkan total karakter dalam groundtruth.

Formula:

$$CAR = \frac{\text{Jumlah Karakter yang Tepat}}{\text{Jumlah Total Karakter Groundtruth}} \times 100\% \quad (1)$$

Dari formula CAR tersebut maka persentase karakter yang dikenali dengan benar adalah 96,91 %

B. Perhitungan Word Accuracy Rate (WAR):

Mengukur seberapa banyak kata yang dikenali dengan benar dibandingkan total kata dalam groundtruth.

Formula:

$$WAR = \frac{\text{Jumlah Kata yang Tepat}}{\text{Jumlah Total Kata Groundtruth}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari formula WAR tersebut maka persentase kata yang dikenali dengan benar adalah 90,00 %

Analisis Kesalahan pengenalan plat nomor kendaraan, Gambar dengan karakter salah Gambar 2: BG 6908 NI => BG 6908 WI (Kesalahan pada huruf "N" menjadi "W"). Gambar 3: BK 1123 NY => BK 1123 MY (Kesalahan pada huruf "N" menjadi "M"). Gambar 7: BG 5388 AAI => BG 5388 AA1 (Kesalahan huruf "I" menjadi angka "1"). Kemungkinan disebabkan :

- a. Visual Similarity (Kemiripan Visual), kesalahan terjadi pada karakter dengan bentuk serupa, seperti "N" dan "W", atau "I" dan "1". Hal ini dapat disebabkan oleh font plat nomor atau ketajaman gambar yang kurang optimal.
- b. Resolusi dan Noise, meskipun telah dilakukan perbaikan kualitas, noise residual atau resolusi gambar yang kurang baik masih memengaruhi pengenalan karakter.
- c. Algoritma OCR, Model OCR mungkin tidak dioptimalkan untuk menangani font atau karakteristik spesifik plat nomor

IV. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi pre-processing perbaikan kualitas gambar, termasuk teknik CLAHE, Bilateral Filtering, Wavelet Denoising, Unsharp Masking, dan Super-Resolution GAN, mampu meningkatkan akurasi OCR dalam mengenali teks pada gambar plat nomor kendaraan yang diambil menggunakan kamera digital. Dengan rata-rata Character Accuracy Rate (CAR) sebesar 96,91% dan Word Accuracy Rate (WAR) sebesar 90,00%, sistem OCR terbukti efektif dalam mengenali teks meskipun terdapat noise, distorsi perspektif, dan pencahayaan yang kurang optimal. Hasil ini menegaskan pentingnya tahap preprocessing gambar untuk meningkatkan performa OCR, terutama pada kondisi lalu lintas kendaraan.

Sebagai Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah

- a. Peningkatan Algoritma OCR
Menggunakan model OCR yang dilatih khusus untuk dataset plat nomor dengan mempertimbangkan font lokal dan karakteristik pencahayaan.
- b. Penerapan Teknologi STN (*Spatial Transformer Network*)
Untuk mengatasi distorsi perspektif secara otomatis, penerapan STN dapat meningkatkan akurasi pengenalan karakter pada gambar miring.
- c. Peningkatan Resolusi
Menggunakan model deep learning seperti ESRGAN untuk super-resolution guna menghasilkan gambar berkualitas tinggi.
- d. Menambah jumlah Dataset
Menggunakan dataset yang lebih besar dengan variasi pencahayaan, sudut pandang, dan kondisi lingkungan untuk menguji robusta sistem OCR secara lebih komprehensif.
- e. Penggunaan Kamera Berkualitas Tinggi
Untuk aplikasi praktis, disarankan menggunakan kamera dengan kemampuan noise reduction bawaan untuk menghasilkan gambar yang lebih bersih.

Dengan langkah-langkah tersebut, performa OCR dalam mengenali plat nomor kendaraan dapat ditingkatkan secara signifikan, terutama pada aplikasi nyata

V. Daftar Pustaka

- [1] 2013 John R. Giudicessi, Michael J. Ackerman, and Rowe, "Air pollution and health risks due to vehicle traffic," *Bone*, vol. 23, no. 1, pp. 1–7, 2008, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074.
- [2] S. S. Channamallu, S. Kermanshachi, J. M. Rosenberger, and A. Pamidimukkala, "A review of smart parking systems," *Transp. Res. Procedia*, vol. 73, no. October, pp. 289–296, 2023, doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.920.
- [3] I. G. A. G. SURYADARMAWAN, A. A. R. R. WANGSA, and I. B. G. A. S. LAKSMANA, "Analisis Kebutuhan Ruang Parkir Pada Objek Wisata Pantai Sanur," *Ganec Swara*, vol. 18, no. 3, p. 1769, 2024, doi: 10.35327/gara.v18i3.1053.
- [4] R. Y. -, D. G. -, D. D. -, V. A. -, and M. D. -, "A Review on Automatic Toll Collection System," *Int. J. Multidiscip. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–14, 2024, doi: 10.36948/ijfmr.2024.v06i03.19354.
- [5] M. R. Alam, S. Saha, M. B. Bostami, M. S. Islam, M. S. Aadeeb, and A. K. M. M. Islam, "A Survey on IoT Driven Smart Parking Management System: Approaches, Limitations and Future Research Agenda," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 119523–119543, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3327306.
- [6] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An Incremental Improvement," 2018, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1804.02767>
- [7] J. Yang, J. He, and X. Wang, "Design of Intelligent Parking System Based on Internet of Things and Cloud Platform," *Int. J. Grid High Perform. Comput.*, vol. 15, no. 2, pp. 1–18, 2023, doi: 10.4018/IJGHPC.316836.
- [8] L. Liu et al., "Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 128, no. 2, pp. 261–318, 2020, doi: 10.1007/s11263-019-01247-4.
- [9] S. Awang and N. M. A. Nik Azmi, "Automated Toll Collection System based on Vehicle Type Classification using Sparse-Filtered Convolutional Neural Networks with Layer-Skipping Strategy (SF-CNNLS)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1061, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1061/1/012009.
- [10] O. Russakovsky et al., "ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 115, no. 3, pp. 211–252, 2015, doi: 10.1007/s11263-015-0816-y.
- [11] A. R. Youssef, A. A. Ali, and F. R. Sayed, "Real-time Egyptian License Plate Detection and Recognition using YOLO," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 13, no. 7, pp. 853–858, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130799.
- [12] R. . Gonzales, R.C, & Woods, "Digital Image Processing Digital Image Fundamental," *Radiol. Technol.*, 2018.
- [13] A. Vyas, S. Yu, and J. Paik, "Fundamentals of digital image processing," *Signals Commun. Technol.*, pp. 3–11, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-7272-7_1.
- [14] ponce; forsyth, "Computer Vision: a Modern Approach," pp. 1–23, 2016.
- [15] & S. Shapiro, L. G., "Computer Vision," *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019, [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- [16] R. Smith, "An overview of the Tesseract OCR engine," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 167 CCIS, no. PART 2, pp. 686–691, 2011, doi: 10.1007/978-3-642-22027-2_57.
- [17] D. M. W. Powers, "Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation," pp. 37–63, 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2010.16061>
- [18] M. Everingham, L. Van Gool, C. K. I. Williams, J. Winn, and A. Zisserman, "The pascal visual object classes (VOC) challenge," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 88, no. 2, pp. 303–338, 2010, doi: 10.1007/s11263-009-0275-4.
- [19] S. Rice, F. Jenkins, and T. Nartker, "The fourth annual test of OCR accuracy," 1995 Annu. Rep. ISRI, ..., vol. 1, no. April, pp. 1–39, 1995, [Online]. Available: <http://stephenvrice.com/images/AT-1995.pdf>
- [20] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Ha, "Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition," *Proc. IEEE*, no. November, pp. 1–46, 1998.