ISSN: 3063-556X

Prototipe sistem parkir otomatis berbasis ID Card dan optical character recognition (OCR) untuk pengenalan pelat nomor kendaraan

Andreas Nanda Wijananto, Linggo Sumarno*
Universitas Sanata Dharma
*lingsum@usd.ac.id

Volume: 4

Tahun: 2026

Halaman: 41–56

DOI:
https://doi.org/10.24071/usdb.v4.555

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstrak: Tingginya sirkulasi kendaraan di area parkir menuntut sistem pengelolaan yang cepat dan aman guna meminimalisir risiko kehilangan dan kesalahan pencatatan manual. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe sistem parkir otomatis gerbang masuk dan keluar dengan verifikasi ganda berbasis kartu identitas dan pelat nomor kendaraan. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pengendali sensor ultrasonik HC-SR04, modul RFID RC522, dan motor servo. Pada sisi perangkat lunak, Python difungsikan sebagai pusat komputasi bagi model YOLOv5 untuk segmentasi pelat nomor, Tesseract *Optical Character Recognition* (OCR) untuk ekstraksi teks di pelat nomor, dan basis data SQLite untuk pencatatan riwayat transaksi. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu beroperasi secara *real-time* dengan waktu respons 1,39 detik. Evaluasi perangkat keras mencatatkan kesalahan pembacaan sensor ultrasonik ±1 cm, jangkauan RFID 4 cm, serta keberhasilan servo 100%. Pengujian perangkat lunak menunjukkan akurasi Tesseract OCR mencapai 100% pada intensitas 20–30 lux dengan kemiringan 0°. Namun, akurasi menurun menjadi 50% pada kemiringan +5° dan gagal total (0%) pada -10° akibat efek distorsi perspektif. Integrasi basis data SQLite terbukti andal dalam memperbarui status log riwayat transaksi secara otomatis tanpa redudansi data.

Kata kunci: kartu identitas, *Optical Character Recognition*, pelat nomor kendaraan, sistem parkir otomatis

PENDAHULUAN

Fenomena tingginya kendaraan di area publik terutama di lingkungan kampus dan perkantoran saat ini menjadi tantangan besar untuk keamanan area parkir (Smart & Utomo, 2025). Sistem manual dapat menimbulkan persoalan, seperti sistem yang lemah, resiko kehilangan, dan lain-lain oleh oknum yang tidak bertanggung jawab. Situasi ini menuntut adanya sebuah terobosan sistem yang tidak hanya efisien dalam hal waktu, tetapi juga dapat memberikan proteksi maksimal terhadap kendaraan yang terparkir pada area tersebut.

Dalam sistem parkir otomatis, penggunaan teknologi RFID dipilih untuk mempermudah dan memperketat sistem dimana hanya pengguna yang memiliki kartu akses yang diizinkan untuk lewat gerbang (Taufik et al., 2025). Taufik et al. melaporkan bahwa sistem keamanan parkir yang digabungkan dengan modul identifikasi berbasis RFID dalam bidang keparkiran dapat diandalkan dan memiliki tingkat keberhasilan pengujian yang sempurna. Sistem ini lebih baik dari sistem manual dalam menghindari penyalahgunaan dan pemalsuan identitas kendaraan.

Keamanan sistem parkir otomatis di setiap jalur transaksi kendaraan masuk dan keluar harus melalui lebih dari satu sistem verifikasi. Hal ini berkaitan dengan risiko sistem verifikasi yang menggunakan kartu yang hilang atau dipinjamkan kepada orang lain (Ridwan et al., 2025). Teknologi *Optical Character Recognition* (OCR) dapat digunakan sebagai langkah antisipasi pengamanan tambahan. OCR dapat diintegrasikan dengan kamera untuk secara otomatis mengekstraksi dan mencocokkan nomor pelat kendaraan dengan data pada database.

Dengan menggunakan algoritma OCR, identifikasi pelat nomor pada sistem parkir otomatis meningkat pada tingkat presisi yang lebih tinggi (Ridwan et al., 2025). Penelitian menunjukkan bahwa sistem parkir otomatis dapat membaca dan memahami karakter pelat yang dituju dalam kondisi penglihatan yang kurang atau *noise*. Dalam kisaran tingkat akurasi 88% dan 91%, kendaraan yang melintas tanpa tercatat di sistem parkir otomatis dapat diminimalisir. Otomatisasi ini dapat digunakan sebagai pengaman pada area parkir agar pelat nomor tidak dimanipulasi.

Teknik manajemen data terintegrasi juga berpengaruh dalam sistem keamanan yang. Dengan adanya sistem yang mencatat setiap transaksi keluar dan masuk ke dalam database secara otomatis, kemungkinan terjadinya penipuan dan manipulasi data secara internal menjadi sangat kecil. Manajemen data parkir memungkinkan untuk melakukan *auditing*, deteksi anomali, dan pemantauan secara *real-time* menggunakan sistem digital terintegrasi.

Secara umum, integrasi RFID sebagai kontrol akses, OCR sebagai pengenalan identitas kendaraan, dan sentralisasi database, dapat dikatakan sebagai solusi parkir yang komprehensif. Sebagai langkah awal untuk pembuktian konsep (*proof of concept*), sistem yang dikembangkan pada penelitian ini diimplementasikan dalam bentuk purwarupa (prototipe) berskala kecil berupa miniatur gerbang masuk dan keluar. Purwarupa fisik ini menjadi model simulasi operasional guna mengevaluasi keandalan integrasi sistem sebelum nantinya diterapkan pada infrastruktur parkir skala nyata. Dalam skema ini, petugas pintu keluar berfungsi sebagai pengawas teknis yang menangani situasi di luar dan kegagalan sistem. Dengan demikian, verifikasi harian dapat berjalan secara penuh otomatis. Pendekatan ini secara langsung meningkatkan tingkat keamanan dan secara tidak langsung meningkatkan manajemen parkir yang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem parkir otomatis yang mengolaborasikan *Unique Identification* (UID) dan algoritma YOLOv5 serta Tesseract OCR untuk mendeteksi karakter pelat nomor secara waktu nyata (*real-time*) sekaligus mencatat riwayat akses keluar masuk kendaraan ke dalam basis data terintegrasi. Selain itu, kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pendekatan verifikasi ganda (*dual-verification*) yang berjalan secara sinkron dan waktu nyata melalui kombinasi antara mikrokontroler dengan pusat komputasi Python. Berbeda dengan sistem konvensional yang umumnya hanya mengandalkan RFID atau deteksi visual secara terpisah, purwarupa ini menggabungkan pemindaian fisik dengan algoritma *deep learning* YOLOv5 untuk melokalisasi area pelat nomor secara presisi, yang kemudian diekstraksi menggunakan mesin Tesseract OCR. Seluruh proses pengenalan visual, validasi identitas, dan pembaruan basis data SQLite dieksekusi secara terpusat untuk memicu aktuator mekanis pada Arduino secara otomatis. Arsitektur ini menawarkan solusi keamanan berlapis yang efisien pada transaksi parkir.

Spesifikasi dan batasan masalah

Sistem parkir otomatis ini terdiri dari dua perangkat utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang digunakan berupa mikrokontroler Arduino Mega 2560, sensor ultrasonik HC-SR04, modul pembaca RFID RC522, kamera web Logitech C270, motor servo MG996R, tombol tekan (*push button*), LED, dan *buzzer*. Sedangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah bahasa pemrograman Python, C++ (untuk Arduino), SQLite untuk basis data, YOLOv5 untuk deteksi objek, dan Tesseract OCR untuk pengenalan karakter. Berikut ini merupakan spesifikasi yang telah ditentukan:

1. GUI (*Graphical User Interface*) digunakan sebagai antarmuka pengguna utama untuk memantau gerbang masuk dan gerbang keluar.

2. Sistem menggunakan bahasa pemrograman Python untuk pengolahan citra dan basis data, serta C++ untuk pengendali mikrokontroler.
3. Sistem memadukan verifikasi ganda menggunakan masukan berupa data UID dari kartu RFID dan hasil ekstraksi citra pelat nomor.
4. Proses ekstraksi teks menggunakan algoritma YOLOv5 untuk pemotongan area pelat nomor (ROI) dan Tesseract OCR untuk pembacaan karakter.
5. Data keluaran yang ditampilkan pada GUI berupa teks pelat nomor, UID, waktu, dan foto pelat kendaraan yang secara otomatis tersimpan di basis data SQLite.

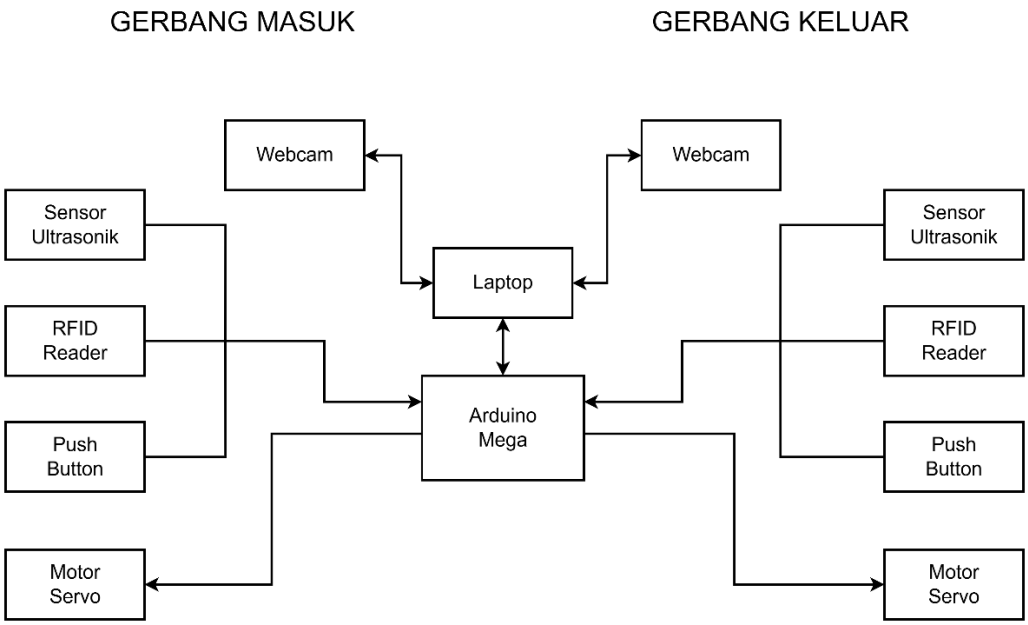
Agar penelitian ini berfokus pada tujuan utama dan menghindari adanya permasalahan yang lebih kompleks, maka perlu ada batasan-batasan masalah. Berikut merupakan batasan masalah yang telah ditentukan:

1. Implementasi dan pengujian sistem terbatas pada bentuk prototipe berskala kecil (miniatur) gerbang masuk dan keluar.
2. Pengujian sistem menggunakan objek miniatur sepeda motor dan 5 variasi pelat nomor kustom yang terbuat dari kertas.
3. Pengenalan karakter terbatas pada pelat nomor kendaraan bermotor standar Indonesia dengan warna dasar hitam (bertulisan putih) dan warna dasar putih (bertulisan hitam).
4. Proses pengenalan pelat nomor dan UID RFID bersifat waktu nyata.
5. Jarak pembacaan kamera terhadap pelat nomor dibatasi pada rentang fokus 20 cm hingga 50 cm.
6. Jarak pemindaian maksimal kartu pada modul RFID dibatasi hingga 4 cm.
7. Sudut kemiringan pelat nomor kendaraan terhadap lensa kamera dibatasi maksimal 5 derajat (kondisi ideal pada 0 derajat).
8. Intensitas pencahayaan lingkungan dibatasi pada kondisi stabil di rentang 20 *lux* hingga 30 *lux*.
9. Terdapat tombol tekan darurat sebagai solusi kendali manual apabila sistem OCR mengalami kegagalan pembacaan.

METODE

Perancangan sistem keseluruhan

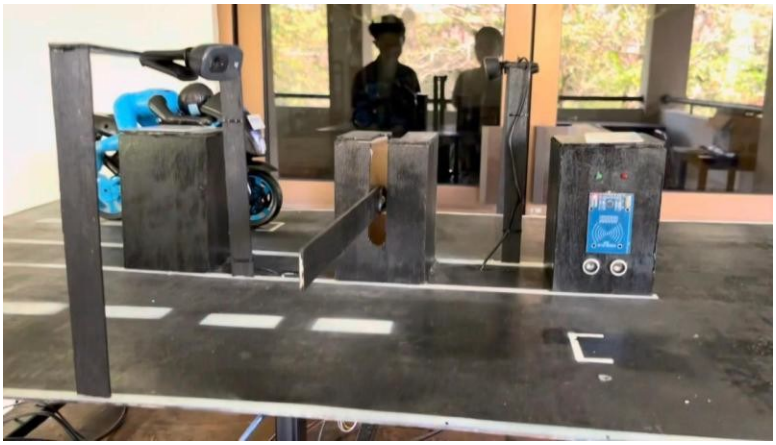
Sistem bekerja dengan memadukan mikrokontroler dan YOLOv5 serta Tesseract OCR secara sinkron untuk memverifikasi identitas ganda kendaraan. Diagram blok sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1. Masukan yang ada di dalam sistem berupa sinyal pendeteksian jarak dari sensor ultrasonik, data UID dari modul RFID, serta citra visual kendaraan dari kamera web. Keluaran dari sistem ini adalah data teks identitas kendaraan yang ditampilkan menggunakan antarmuka pengguna (*user interface*) yaitu GUI, serta aksi mekanis berupa pergerakan motor servo pada palang gerbang dan nyala lampu indikator LED.



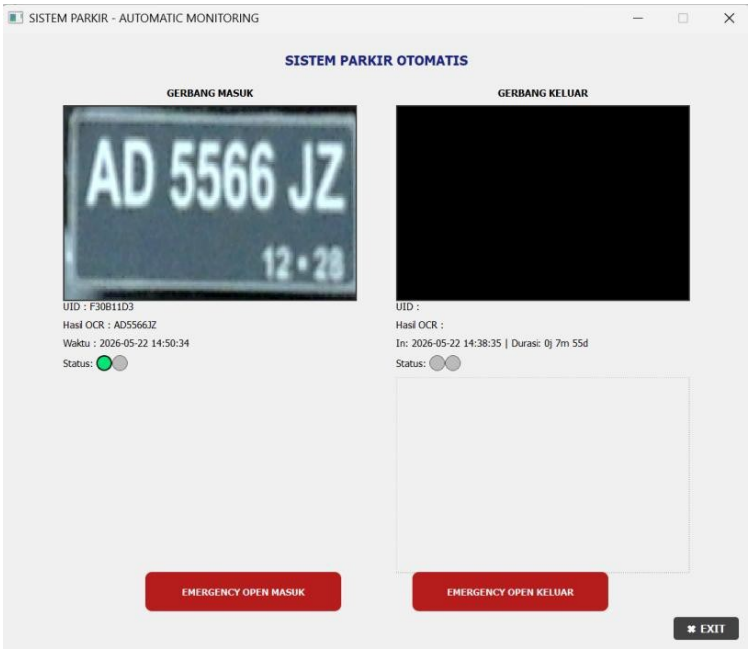
Gambar 1. Diagram blok keseluruhan sistem parkir otomatis

Masukan

Proses akuisisi data pada sistem parkir ini melibatkan kolaborasi antara sensor fisik dan perangkat visual untuk menangkap parameter kendaraan (lihat Gambar 2 dan 3). Pendeteksian awal dilakukan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang bekerja dengan memancarkan gelombang suara dan mengukur waktu pantulannya untuk mendeteksi keberadaan objek (Nadyawan, 2021). Sistem dikonfigurasi agar proses lanjutan hanya dipicu apabila kendaraan terdeteksi pada batas jarak yang ditentukan. Bersamaan dengan itu, pengguna diwajibkan melakukan pemindaian kartu identitas menggunakan modul RFID RC522 (Gaikwad, 2020). Penggunaan teknologi RFID terbukti efektif untuk otomatisasi akses kontrol dan pemantauan di area parkir (Smart & Utomo, 2025). Apabila kedua kondisi fisik tersebut terpenuhi, sistem akan menginstruksikan perangkat Logitech C270 Webcam HD 720p untuk mengambil citra visual bagian depan kendaraan (Tokocamzone.com, t.t.).



Gambar 2. Setup penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. Setup tampilan penelitian pada laptop.

Pelokalan objek berbasis YOLOv5

Citra kendaraan (lihat Gambar 4) yang telah ditangkap kemudian diproses menggunakan arsitektur *You Only Look Once* (YOLO) (lihat Gambar 5) untuk melokalisasi area pelat nomor secara spesifik. Pendekatan berbasis *deep learning* seperti lini algoritma YOLO dapat diandalkan dalam sistem transportasi cerdas di Indonesia karena mampu mendeteksi objek dengan presisi tinggi (Martadinata et al., 2025). Keluaran dari tahap ini adalah titik koordinat spasial yang digunakan oleh sistem untuk memotong (*crop*) area citra. Penentuan kotak pembatas (*bounding box*) yang presisi untuk mengisolasi teks pelat nomor dari latar belakang (*background*), sehingga mempermudah tahapan pengenalan karakter (Sania et al., 2023).



Gambar 4. Bentuk fisik Kendaraan.



Gambar 5. Pelat nomor Setelah proses YOLO.

Prapemrosesan citra digital

Matriks citra ROI (*Region of Interest*) yang dihasilkan oleh proses pemotongan tidak dapat langsung dibaca oleh mesin akibat adanya derau visual. Oleh karena itu, diterapkan proses peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) yang bertujuan untuk mempertajam detail karakter, sehingga akurasi sistem OCR dapat meningkat secara signifikan (Sutriawan et al., 2024). Tahapan ini meliputi konversi citra, reduksi derau, serta metode binerisasi/ *thresholding* untuk mengubah citra menjadi hitam- putih mutlak agar batas kontur antara karakter teks dan latar belakang menjadi tajam (Sania et al., 2023).

Pemotongan area pajak (cropping)

Pelat nomor di Indonesia memuat angka masa berlaku pajak di bagian bawah yang kerap mengganggu proses ekstraksi. Sistem secara matematis memotong 20% area terbawah dari citra ROI untuk mengeliminasi angka tersebut (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Pemotongan area pajak

Konversi grayscale dan Reduksi Derau

Citra berformat RGB (*Red, Green, Blue*) dikonversi menjadi derajat keabuan (*grayscale*) untuk mengurangi beban komputasi dimensi warna, yang kemudian disaring menggunakan *Gaussian Blur* untuk menghaluskan piksel derau (lihat Gambar 7).



Gambar 7. *Grayscale* dan Reduksi Derau

Binerisasi (thresholding)

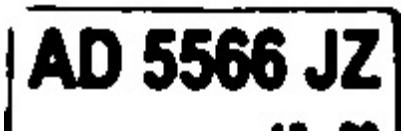
Sistem menerapkan metode *Otsu Thresholding* untuk mengubah citra menjadi format hitam-putih mutlak, sehingga batas kontur antara karakter teks dan latar belakang menjadi lebih tajam (lihat Gambar 8).



Gambar 8. Binerisasi (*thresholding*)

Inversi warna adaptif

Karena mesin OCR lebih sensitif dalam mengenali teks berwarna gelap di atas latar belakang terang, sistem dilengkapi algoritma penghitung rasio piksel. Apabila pelat terdeteksi memiliki warna dasar hitam, sistem akan melakukan inversi warna (*bitwise_not*) agar karakter berubah menjadi hitam dengan latar belakang putih (lihat Gambar 9).



Gambar 9. Inversi warna adaptif

Ekstraksi karakter (Tesseract OCR)

Citra biner yang telah dioptimalkan diumpankan ke mesin *Optical Character Recognition* (OCR) Tesseract untuk menerjemahkan pola piksel menjadi teks digital. Teknologi OCR memungkinkan identifikasi karakter pada citra diekstraksi secara otomatis tanpa memerlukan proses masukan data secara manual (Ridwan et al., 2025). Parameter *Page Segmentation Mode* (PSM) dikonfigurasi pada

mode 7, dan parameter daftar putih (*whitelist*) diterapkan agar mesin OCR hanya mengidentifikasi karakter alfabet (A-Z) dan bilangan numerik (0-9). Pendekatan berbasis citra ini terbukti mampu membaca teks pada pelat kendaraan dengan tingkat presisi yang dapat diandalkan untuk otomasi sistem parkir (Ginting et al., 2024). Teks mentah tersebut kemudian dibersihkan menggunakan *Regular Expression* (Regex) untuk diformat secara baku.

Verifikasi basis data dan aktuasi keluaran

Tahap akhir melibatkan verifikasi otentikasi ganda dengan membandingkan data UID dan teks pelat nomor pada basis data SQLite. SQLite merupakan mesin basis data relasional yang efisien dan tertanam langsung di dalam aplikasi, sehingga cocok untuk pengelolaan data berukuran kecil hingga menengah (Gaffney et al., 2022). Jika data cocok, program memperbarui status log menjadi "KELUAR" dan mengirimkan instruksi serial ke mikrokontroler. Mikrokontroler Arduino Mega merespons dengan memberikan sinyal PWM kepada motor servo MG996R untuk membuka palang pintu secara otomatis. Penggabungan sistem keamanan parkir berbasis pemrosesan citra dengan modul RFID menciptakan sistem verifikasi ganda yang andal dan jauh lebih aman dibandingkan sistem manual (Taufik et al., 2025).

Skenario pengujian sistem

Dalam perancangan sistem pendeteksian pelat nomor kendaraan berbasis kecerdasan buatan, kualitas lokalisasi dan klasifikasi dipengaruhi oleh beberapa parameter komputasi, yaitu jumlah *epoch*, *batch size*, resolusi citra masukan (*image size*), dan *Page Segmentation Mode* (PSM) pada OCR. Untuk menemukan konfigurasi terbaik, dilakukan pengujian dengan variasi nilai pada tiap parameter. Perbandingan ini bertujuan menilai pengaruh perubahan parameter terhadap akurasi sekaligus mengevaluasi kinerja sistem dari segi ketepatan dan efisiensi waktu komputasi.

Pengaruh jumlah epoch

Epoch merupakan satuan yang menyatakan berapa kali seluruh himpunan data latih (*dataset*) sebanyak 215 citra digunakan untuk memperbarui bobot pada jaringan sistem deteksi (Martadinata et al., 2025). Peningkatan jumlah *epoch* memungkinkan model mempelajari pola fitur pelat nomor secara lebih optimal, tetapi jumlah *epoch* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *overfitting*. Oleh karena itu, dilakukan pengujian untuk menentukan jumlah *epoch* yang optimal, dan berdasarkan hasil pengujian ditetapkan sebanyak 100 *epoch*.

Pengaruh ukuran batch size

Batch size adalah jumlah data citra yang digunakan dalam satu kali iterasi proses penyesuaian bobot parameter jaringan saraf. *Batch size* yang kecil (seperti 1 atau 2) cenderung menghasilkan proses pelatihan yang lebih detail dan mampu menangkap fitur spesifik pelat nomor, namun membutuhkan waktu pelatihan yang lebih lama. Sebaliknya, *batch size* yang besar memang mempercepat proses komputasi karena lebih banyak data diproses secara bersamaan, tetapi berisiko menurunkan kemampuan sistem dalam mendeteksi objek berskala kecil di dalam gambar. *Batch size* yang divariasikan adalah dengan ukuran 1, 2, 4, 8, dan 16. Dengan melakukan variasi terhadap *batch size*, dapat diketahui ukuran yang paling seimbang antara ketepatan deteksi dan efisiensi penggunaan memori komputasi.

Pengaruh resolusi citra masukan (image size)

Resolusi citra masukan menentukan tingkat kompleksitas dan detail visual yang akan diekstraksi oleh lapisan konvolusi pada algoritma YOLOv5 (Sania et al., 2023). Semakin besar resolusi yang digunakan, semakin tinggi pula kemampuan sistem untuk mengidentifikasi kontur karakter pelat nomor dari jarak jauh. Namun demikian, penggunaan resolusi yang terlalu besar dapat menyebabkan sistem menjadi lambat dan beban pemrosesan komputasi (*latency*) menjadi kurang efisien saat

diimplementasikan pada gerbang parkir. Oleh karena itu, dilakukan pengujian dengan dimensi piksel yang berbeda untuk memperoleh konfigurasi yang paling sesuai, yaitu 320x320, 416x416, dan 640x640 piksel.

Pengaruh Page Segmentation Mode (PSM) pada OCR

Tahap ekstraksi karakter menggunakan mesin Tesseract OCR bergantung pada konfigurasi *Page Segmentation Mode* (PSM) yang mengatur bagaimana sistem membaca pola biner. Data hasil pemotongan (*cropping*) YOLOv5 menghasilkan citra yang berisi karakter alfanumerik pelat nomor yang saling berdekatan. Mode PSM mencerminkan asumsi mesin terhadap tata letak teks, pemilihan mode yang tidak tepat dapat menyebabkan hilangnya karakter penting atau membaca ruang kosong sebagai derau visual, sedangkan mode yang tepat akan memperjelas pembacaan satu baris teks. Oleh sebab itu, dilakukan pengujian terhadap beberapa nilai parameter masukan PSM (seperti PSM 6, PSM 7, PSM 8, dan PSM 11) untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap hasil akhir akurasi pengenalan *string* pelat nomor.

Pengujian

Pengujian sistem pada tahap akhir ini dilakukan pada lingkungan operasional untuk mengevaluasi kinerja purwarupa secara komprehensif. Pada fase ini, pengujian model kecerdasan buatan murni berfokus pada tahap inferensi (*forward propagation*) terhadap citra masukan baru, dan tidak lagi melakukan pembaruan parameter bobot jaringan (Sutriawan et al., 2024).

Sistem dirancang untuk beroperasi secara otomatis tanpa intervensi tombol kendali manual. Rangkaian pengujian diawali dengan simulasi kedatangan kendaraan di area gerbang parkir. Pembacaan kartu identitas yang divalidasi oleh sensor RFID akan memicu kamera web secara *real-time* untuk mengakuisisi citra bagian depan kendaraan, yang selanjutnya diproses oleh program atau OCR (Ridwan et al., 2025).

Pengujian kinerja akuisisi dan prapemrosesan

Pengujian tahap pertama mengevaluasi ketepatan respons perangkat keras. Sistem dinilai berdasarkan kelancaran komunikasi serial antara mikrokontroler dengan program Python untuk memicu pengambilan gambar secara instan. Selain itu, tahap ini juga menguji keberhasilan algoritma prapemrosesan dalam mengubah citra mentah menjadi format biner beresolusi optimal. Kualitas citra yang telah melalui proses perbaikan kualitas (*image enhancement*) sangat krusial dalam menentukan tingkat keberhasilan ekstraksi teks pada langkah berikutnya (Sutriawan et al., 2024).

Pengujian akurasi ekstraksi karakter teks

Fokus utama pada tahap ini adalah mengukur tingkat ketepatan algoritma dalam memotong (*cropping*) area pelat nomor dan kinerja mesin OCR dalam menerjemahkan pola visual menjadi teks digital. Sistem pengenalan otomatis ini dievaluasi berdasarkan kemampuannya dalam membedakan karakter huruf dan angka secara presisi di tengah gangguan visual, seperti derau atau variasi cahaya (Ginting et al., 2024). Pengujian dilakukan menggunakan berbagai sampel pelat nomor kendaraan yang mematuhi standar format wilayah di Indonesia (CNN Indonesia, 2023). Masing-masing sampel kendaraan uji dievaluasi sebanyak 10 kali percobaan berturut-turut untuk melihat konsistensi pembacaan mesin.

Pengujian integrasi dan otomatisasi basis data

Tahap akhir menguji keseluruhan alur logika sistem terintegrasi, yaitu proses pencocokan antara teks hasil pembacaan OCR dan UID kartu RFID terhadap data yang tersimpan di dalam basis data SQLite (Gaffney et al., 2022). Jika algoritma mendeteksi kecocokan data yang sah, sistem dievaluasi apakah program Python berhasil mengirimkan kembali sinyal aktuasi secara nirkabel atau serial kepada mikrokontroler untuk menggerakkan motor servo pembuka palang pintu (Smart & Utomo, 2025).

Metrik evaluasi keberhasilan

Tingkat keberhasilan sistem diukur secara empiris berdasarkan ketepatan identifikasi karakter. Sebuah percobaan dianggap berhasil (bernilai benar) hanya jika keseluruhan *string* karakter pelat nomor yang diekstraksi oleh mesin sama persis secara absolut dengan teks fisik pada pelat nomor uji. Perhitungan tingkat akurasi pengenalan sistem diformulasikan menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$\text{Tingkat Akurasi} = \frac{\sum v}{\text{Banyaknya Percobaan}} \times 100\%$$

Dengan $\sum v$ merupakan akumulasi frekuensi keberhasilan sistem dalam mengenali dan mengekstraksi seluruh karakter pelat nomor kendaraan dengan benar pada setiap sesi pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

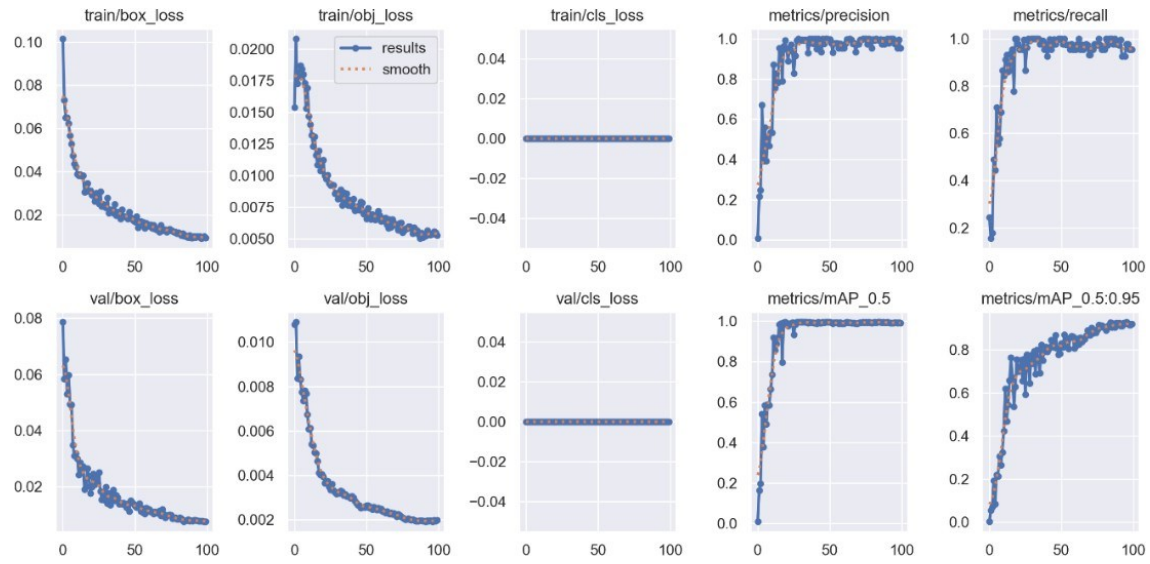
Hasil pelatihan model YOLOv5

Pengujian tahap pertama pada sistem pengenalan pelat nomor kendaraan berfokus pada evaluasi kinerja model deteksi objek YOLOv5s. Pelatihan komputasi jaringan saraf tiruan ini dieksekusi menggunakan parameter 100 *epoch*, *batch size* 1, dan resolusi citra masukan sebesar 320x320 piksel. Parameter keberhasilan model ditinjau melalui empat grafik metrik utama yang dihasilkan pascapelatihan.

Evaluasi konvergensi dan tingkat kesalahan (loss)

Analisis tingkat kesalahan komputasi ditinjau melalui metrik *box loss* (kesalahan pembatas) dan *objectness loss* (kesalahan objek) (lihat Gambar 10). Pada grafik pelatihan maupun validasi, kurva mengalami penurunan yang tajam pada 20 iterasi pertama dan terus melandai secara konsisten mendekati angka 0,01 pada akhir pelatihan. Penurunan ini membuktikan bahwa algoritma semakin presisi dari waktu ke waktu dalam memprediksi titik koordinat matriks kotak pembatas (*bounding box*) terhadap letak aktual pelat nomor di dalam gambar.

Di sisi lain, grafik *classification loss* menunjukkan garis datar statis pada angka nol mutlak. Kondisi ini terjadi karena arsitektur sistem dirancang secara khusus untuk mendeteksi kelas tunggal (*single-class*), yaitu pelat-lisence saja, sehingga sistem tidak melakukan komputasi tebakan untuk kelas objek lain. Secara keseluruhan, pergerakan kurva validasi senantiasa selaras dengan kurva pelatihan tanpa adanya lonjakandrastis, membuktikan bahwa model telah mencapai titik generalisasi yang optimal dan terhindar dari indikasi *overfitting*.

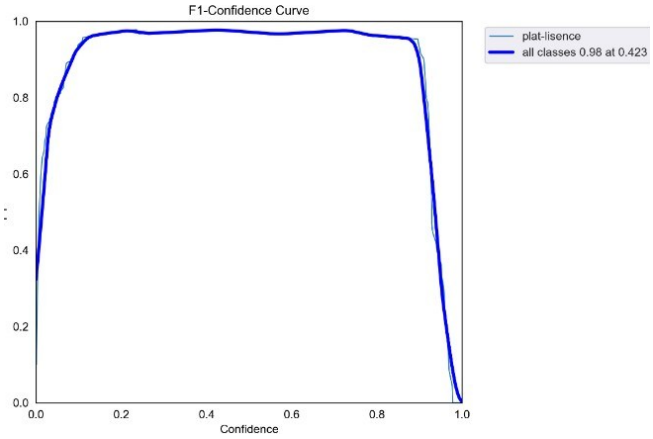


Gambar 10. Grafik matrik pelatihan YOLOV5

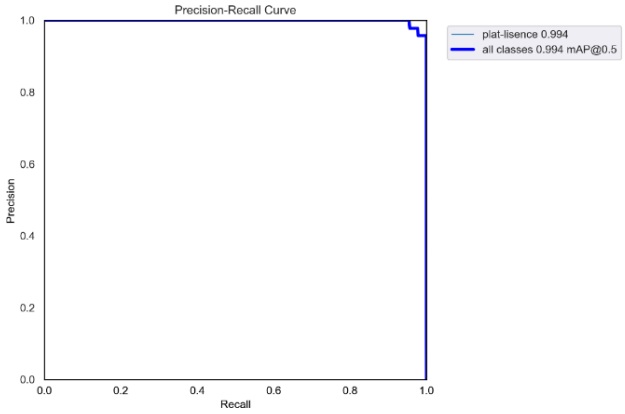
Evaluasi presisi, recall, dan mean average Precision (mAP)

Keseimbangan kinerja algoritma dalam mendeteksi objek dianalisis menggunakan metrik *F1-Score* (lihat Gambar 11). Berdasarkan kurva yang dihasilkan, kinerja model mencapai titik puncak keseimbangan maksimal sebesar 0,98 pada saat ambang batas kepercayaan (*confidence threshold*) berada di angka 0,423. Pencapaian nilai yang mendekati angka mutlak 1,0 ini mengonfirmasi bahwa model memiliki kapabilitas yang seimbang, sistem tidak hanya akurat dalam mengklaim sebuah objek sebagai pelat nomor tanpa salah tebak, tetapi juga peka sehingga tidak ada objek pelat aktual yang terlewat.

Selanjutnya, evaluasi tingkat akurasi model secara komprehensif divisualisasikan melalui kurva *Precision-Recall* (lihat Gambar 12). Luas area di bawah kurva tersebut mencatatkan nilai *Mean Average Precision* pada ambang batas irisan 50 persen (mAP@0.5) sebesar 0,994. Perolehan metrik tersebut mengonfirmasi bahwa algoritma YOLOv5s yang telah dilatih memiliki tingkat akurasi deteksi spasial mencapai 99,4%.



Gambar 11. Kurva F1-SCORE



Gambar 12. Kurva Precision-Recall

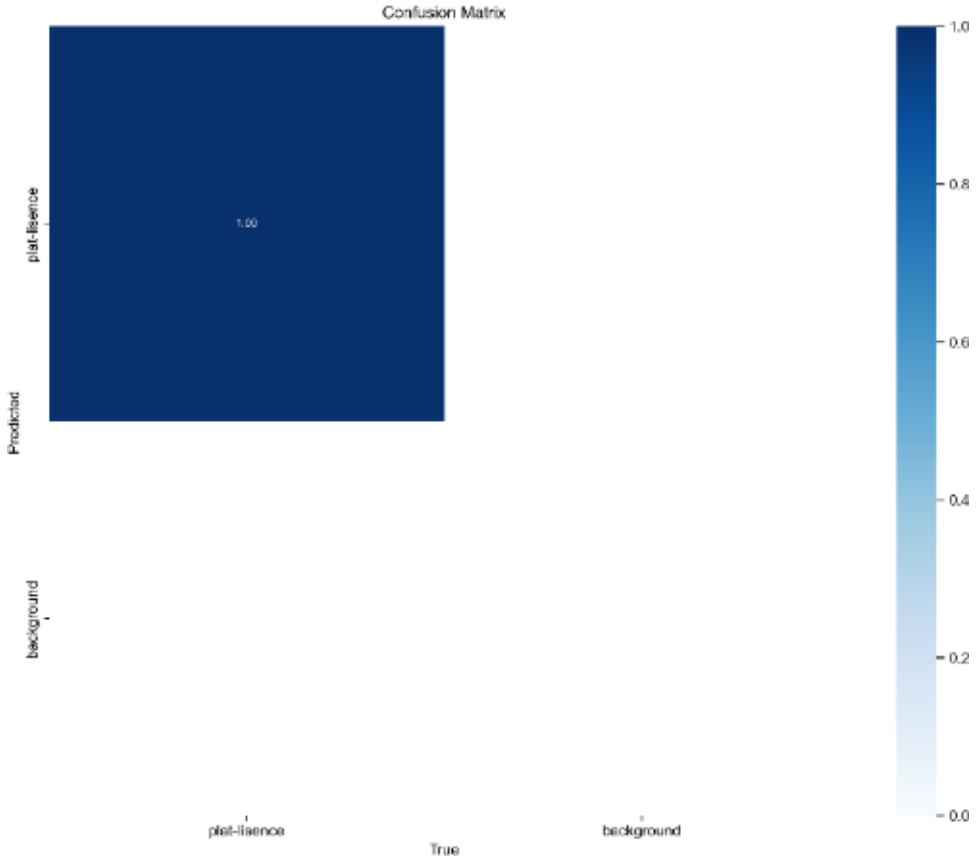
Evaluasi matriks kebingungan (Confusion Matrix)

Tingkat keberhasilan klasifikasi kelas objek secara spesifik divisualisasikan melalui Matriks Kebingungan (*Confusion Matrix*). (lihat Gambar 13). Pada kotak pertemuan antara kelas target aktual dan kelas prediksi, sistem mencatatkan nilai kebenaran (*True Positive*) sebesar 1,00. Perolehan angka absolut tersebut menandakan bahwa model memiliki kepastian visual yang meyakinkan dan hampir tidak pernah gagal saat mengenali pola pelat nomor kendaraan.

Tingkat kesalahan komputasi, baik berupa *False Positive* (mendeteksi latar belakang sebagai pelat) maupun *False Negative* (gagal mengenali pelat), berada pada angka yang minim, yaitu 0,00. Tingginya kepastian klasifikasi ini menjamin bahwa operasi pemotongan (*cropping*) hanya akan mengeksekusi area gambar yang benar-benar memuat pelat nomor. Dengan demikian, aliran data yang diumpankan ke mesin Tesseract OCR pada tahapan selanjutnya terbebas dari citra sampah (*noise*), sehingga akurasi ekstraksi teks dapat dimaksimalkan secara penuh.

Hasil pengujian sistem

Tahapan pengujian sistem dilaksanakan untuk mengevaluasi kinerja dan tingkat keandalan purwarupa secara komprehensif. Proses pengambilan data dilakukan secara berulang pada antarmuka gerbang masuk dan gerbang keluar dengan menghimpun total 200 sampel data pengujian. Pengujian ini mengevaluasi akurasi pembacaan Optical Character Recognition (OCR), batas toleransi sudut dan pencahayaan, kinerja komponen fisik, serta efisiensi waktu respons sistem.



Gambar 13. Matriks Kebingungan.

Pengujian jarak deteksi dan akurasi OCR

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa sistem dalam mengekstraksi teks pada variasi jarak 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Pengujian menggunakan lima jenis pelat nomor kustom dengan pengulangan masing-masing gerbang (lihat Tabel 1). Hasil rekapitulasi menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi. Dari total 200 percobaan, sistem berhasil mengekstraksi karakter secara tepat sebanyak 193 kali, menghasilkan persentase akurasi total sebesar 96,5%. Sebagian besar kegagalan pembacaan (6 dari 7 kegagalan) ditemukan pada gerbang keluar. Kegagalan ini mengindikasikan bahwa penyebab utama kesalahan bukan berasal dari faktor jarak fokus kamera, melainkan dipengaruhi oleh fluktuasi intensitas cahaya dan variabel kemiringan pelat yang tidak stabil.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Jarak dan OCR

No.	Gerbang	Jarak Deteksi (cm)	Jumlah Pengujian	Pembacaan Berhasil	Pembacaan Gagal	Tingkat Akurasi (%)
1.	Masuk	20	25	24	1	96%
2.	Masuk	30	25	25	0	100%
3.	Masuk	40	25	25	0	100%
4.	Masuk	50	25	25	0	100%
5.	Keluar	20	25	23	2	92%
6.	Keluar	30	25	24	1	96%
7.	Keluar	40	25	25	0	100%
8.	Keluar	50	25	22	3	88%
		Total	200	193	7	96,5%

Pengujian pengaruh sudut kemiringan pelat kendaraan

Tingkat keandalan mesin OCR Tesseract dievaluasi terhadap pergeseran sudut (skew) pelat nomor kendaraan pada lima parameter sudut: 0°, +5°, -5°, +10°, dan -10° (lihat Tabel 2). Pada kondisi ideal (0°), tingkat keberhasilan sistem mencapai 100%. Namun, penurunan drastis terjadi saat pelat dimiringkan pada sudut +5° (akurasi 50%) dan -5° (akurasi 40%). Kondisi paling kritis terjadi pada kemiringan ekstrem -10° di mana sistem mengalami kegagalan total (0%). Kemiringan ini memicu distorsi spasial yang menyebabkan perubahan bentuk huruf dan angka saat citra dibinerisasi, sehingga sistem kehilangan kemampuan mengenali pola teks secara utuh.

Tabel 2. Pengujian Pengaruh Sudut

No	Sudut Kemiringan (°)	Jumlah Percobaan	Pembacaan Berhasil	Pembacaan Gagal	Tingkat Akurasi (%)
1	0	10	10	0	100%
2	+5	10	5	5	50%
3	-5	10	4	6	40%
4	+10	10	1	9	10%
5	-10	10	0	10	0%

Pengujian pengaruh intensitas cahaya (kondisi ekstrem)

Sistem dievaluasi pada kondisi lingkungan non-ideal, yakni pada intensitas cahaya sangat minim (*low light*) dan cahaya berlebih (*overexposure*).

Kondisi Kurang Cahaya

Pengujian pada rentang intensitas 5 hingga 10 lux (lihat Tabel 3) menyebabkan nilai kontras antara teks hitam dan latar belakang putih membaur. Hal ini mengakibatkan kegagalan pada tahap thresholding, sehingga OCR menerima matriks gambar yang penuh derau (noise) dan gagal memunculkan teks.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem pada Kondisi Kurang Cahaya (*Low Light*)

No	Pelat Nomor Aktual	Intensitas Cahaya (lux)	Hasil Pembacaan OCR	Keterangan
1	AB 2424 C	10	(Kosong)	Gagal mendeteksi seluruh karakter
2	AD 5566 JZ	8	(Kosong)	Gagal mendeteksi seluruh Karakter
3	BK 8122 EF	8	K8122EF	Karakter awal 'B' tidak terbaca
4	E 10011 KL	8	1001KL	Karakter awal 'E' tidak terbaca
5	K 1234 AG	5	(Kosong)	Gagal mendeteksi seluruh karakter

Kondisi Kelebihan Cahaya

Pengujian pada intensitas 40 hingga 45 lux memicu efek silau (*glare*) yang menyebabkan *overexposure* (lihat Tabel 4). Pantulan ekstrem ini memutihkan piksel karakter hingga menyatu dengan latar belakang, membuat OCR salah menginterpretasikan sisa bayangan menjadi karakter acak yang tidak relevan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem pada Kondisi Kelebihan Cahaya(*Overexposure*)

No	Pelat Nomor Aktual	Intensitas Cahaya (Lux)	Hasil Pembacaan OCR	Keterangan
1	AB 2424 C	45	EE	Gambar memutih total, karakter asli tidak terbaca
2	AD 5566 JZ	44	ADS866J2	Bentuk karakter terdistorsi, silau cahaya
3	BK 8122 EF	40	T	Hampir seluruh area memutih (overexposed)
4	E 1001 KL	40	OO	Karakter asli hilang akibat efek Pantulan
5	K 1234 AG	40	OO	Karakter asli hilang akibat efek pantulan

Pengujian kinerja perangkat keras

Evaluasi pada komponen perangkat keras difokuskan pada kepresisian sensor ultrasonik, batas jangkauan RFID, dan fungsionalitas motor servo.

Sensor Ultrasonik HC-SR04

Hasil pengujian menunjukkan performa yang presisi dengan rata-rata persentase error sebesar 3,208% (lihat Tabel 5). Fluktuasi simpangan maksimal hanya sebesar ±1 cm yang dipicu oleh pemantulan gelombang suara pada permukaan kendaraan yang tidak rata, namun masih aman untuk batas toleransi sistem (≤ 50 cm).

Tabel 5. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

No	Jarak Aktual (cm)	Jarak Pembacaan Sensor (cm)	Selisih Pembacaan (*Error*)	Status (Berdasarkan Toleransi)
1	20	19 – 20	5,00%	Baik
2	30	29 – 30	3,33%	Baik
3	40	39 – 41	2,50%	Baik
4	50	49 – 50	2,00%	Baik
		Rata-rata *Error*	3,208%	

Modul RFID RC522

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca Unique Identifier (UID) kartu secara konsisten mulai dari titik sentuh 0 cm hingga batas maksimal 4 cm (lihat Tabel 6). Pada jarak 5 cm, pemindaian gagal akibat keterbatasan daya pancar frekuensi radio modul tersebut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Jarak Pemindaian RFID RC522

No	Jarak Pemindaian (cm)	Respons Sistem	Status
1	0	UID Terbaca	Berhasil
2	1	UID Terbaca	Berhasil
3	2	UID Terbaca	Berhasil
4	3	UID Terbaca	Berhasil
5	4	UID Terbaca	Berhasil
6	5	Tidak ada respons	Gagal

Aktuator motor servo MG996R

Hasil pengujian menunjukkan bahwa dari 20 tahapan instruksi mekanis untuk gerbang masuk dan keluar, motor servo menunjukkan keberhasilan mutlak sebesar 100% (lihat Tabel 7). Poros motor responsif berputar menuju 90° saat akses dibuka dan kembali ke 0° saat reset, tanpa adanya tundaan atau hambatan mekanis.

Tabel 7. Hasil pengujian fungsionalitas aktuator motor servo

No	Target Aktuator	Perintah Serial	Sudut Target (°)
1	Motor Servo Masuk	A	90
2	Motor Servo Masuk	R	0
3	Motor Servo Masuk	A	90
4	Motor Servo Masuk	R	0
5	Motor Servo Masuk	A	90
6	Motor Servo Masuk	R	0
7	Motor Servo Masuk	A	90
8	Motor Servo Masuk	R	0
9	Motor Servo Masuk	A	90
10	Motor Servo Masuk	R	0
11	Motor Servo Keluar	B	90
12	Motor Servo Keluar	S	0
13	Motor Servo Keluar	B	90
14	Motor Servo Keluar	S	0
15	Motor Servo Keluar	B	90
16	Motor Servo Keluar	S	0
17	Motor Servo Keluar	B	90
18	Motor Servo Keluar	S	0
19	Motor Servo Keluar	B	90
20	Motor Servo Keluar	S	0

Pengujian waktu komputasi dan respons sistem keseluruhan

Pengujian ini mengukur total waktu pemrosesan secara akumulatif, terhitung sejak sensor ultrasonik mendeteksi kendaraan, pengambilan citra kamera, inferensi YOLOv5, ekstraksi Tesseract OCR, pencocokan basis data SQLite, hingga mikrokontroler mengeksekusi pergerakan motor servo (lihat Tabel 8). Berdasarkan sepuluh kali percobaan, purwarupa mencatatkan rata-rata waktu respons operasional sebesar 1,39 detik. Pencapaian durasi ini membuktikan bahwa integrasi komputasi kecerdasan buatan dan aktuator mekanis mampu beroperasi secara sinkron (real-time) tanpa menimbulkan penundaan (lag) yang dapat mengganggu sirkulasi kendaraan.

Tabel 8. Hasil Pengujian Waktu Respons Sistem Keseluruhan

No. Percobaan	Durasi Waktu Pemrosesan Keseluruhan (Detik)	Keterangan
1	1.35	Respons sistem sinkron, palang terbuka
2	1.42	Respons sistem sinkron, palang terbuka
3	1.38	Respons sistem sinkron, palang terbuka
4	1.45	Respons sistem sinkron, palang terbuka
5	1.32	Respons sistem sinkron, palang terbuka
6	1.41	Respons sistem sinkron, palang terbuka
7	1.39	Respons sistem sinkron, palang terbuka
8	1.46	Respons sistem sinkron, palang terbuka
9	1.36	Respons sistem sinkron, palang terbuka
10	1.40	Respons sistem sinkron, palang terbuka
Rata-rata	1.39	Kinerja sistem berjalan efisien

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis data yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya mengenai purwarupa sistem parkir otomatis berbasis pengolahan citra digital dan mikrokontroler, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Pertama, purwarupa sistem parkir otomatis gerbang masuk dan keluar telah berhasil diintegrasikan dengan waktu respons komputasi keseluruhan sebesar 1,39 detik. Waktu operasional tersebut mencakup keseluruhan siklus verifikasi, mulai dari pemindaian kartu RFID, pelokalan objek oleh YOLOv5, ekstraksi karakter oleh Tesseract OCR, hingga pembaruan status log pada basis data SQLite.

Kedua, pengujian pada subsistem perangkat keras menunjukkan bahwa aktuator motor servo merespons perintah dengan tingkat keberhasilan fungsional mencapai 100% tanpa adanya tundaan mekanis. Sementara itu, komponen sensorik memiliki rentang operasional yang spesifik, di mana toleransi kesalahan maksimal sensor ultrasonik adalah ±1 cm, pemindaian modul RFID RC522 efektif hanya pada jarak dekat (maksimal 4 cm), serta kamera web Logitech C270 membutuhkan rentang fokus statis sejauh 20 cm hingga 50 cm agar objek pelat kendaraan tidak mengalami kekaburan (*blur*).

Ketiga, kinerja algoritma OCR mencapai tingkat akurasi ekstraksi maksimal sebesar 100% khusus pada pengenalan pelat nomor standar (warna dasar hitam atau putih) ketika dioperasikan pada intensitas cahaya yang stabil antara 20 lux hingga 30 lux. Paparan cahaya berlebih (*overexposure*) maupun kekurangan cahaya (*underexposure*) memicu kegagalan sistem akibat hilangnya batas kontras piksel antara karakter dan latar belakang pelat.

Terakhir, tingkat keberhasilan pembacaan teks sangat rentan terhadap distorsi spasial geometris dan anomali fisik. Akurasi pengenalan karakter menurun secara drastis menjadi 50% pada kemiringan objek ±5°, dan mengalami kegagalan total (0%) pada sudut kemiringan ±10° atau lebih. Sistem juga dipastikan mengalami kegagalan ekstraksi apabila pelat nomor dalam kondisi kotor, cat terkelupas, menggunakan modifikasi huruf (*font*) yang tidak standar, atau memiliki warna dasar selain hitam dan putih.

Saran

Meskipun sistem telah beroperasi sesuai dengan perancangan awal, masih terdapat beberapa batasan fungsional yang memerlukan penyempurnaan. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, terdapat beberapa saran yang direkomendasikan bagi pengembangan penelitian selanjutnya. Perlu ditambahkan algoritma prapemrosesan citra tingkat lanjut berupa transformasi perataan sudut otomatis (*perspective transformation* atau *deskewing*) pada perangkat lunak pengolahan citra. Penambahan ini direkomendasikan untuk menanggulangi permasalahan kegagalan pembacaan OCR saat fisik pelat nomor kendaraan berada pada posisi yang miring (lebih dari 5°). Penambahan modul pencahayaan buatan, seperti proyektor LED (*LED illuminator*), pada infrastruktur gerbang parkir ini direkomendasikan guna menjaga kestabilan cahaya objek antara 20-30 lux , sehingga kualitas piksel tangkapan kamera tetap optimal saat dioperasikan pada kondisi malam hari atau lingkungan dengan pencahayaan minim.

PERNYATAAN TERKAIT PENGGUNAAN GENERATIVE AI

Dalam penyusunan naskah ini, penulis menggunakan model generative AI Gemini, yang peruntukannya hanya untuk membantu perbaikan tata bahasa, ejaan, dan penyempurnaan alur kalimat. Seluruh gagasan, rancangan sistem, analisis data, dan struktur utama naskah murni merupakan hasil pemikiran orisinal penulis. Penulis menyatakan bahwa seluruh saran teks dari generative AI tersebut telah diteliti, dievaluasi secara saksama, dan disunting kembali oleh penulis untuk memastikan akurasi keilmuan sebelum naskah ini diserahkan.

REFERENSI

CNN Indonesia. (2023, 24 Oktober). *Daftar pelat nomor kendaraan dari seluruh daerah di Indonesia*. https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20231013164347-584-1012133/daftar-pelat-nomor-kendaraan-dari-seluruh-daerah-di-indonesia

Gaffney, K. P., Hipp, D. R., Prammer, M., Kennedy, D., Brasfield, L., & Patel, J. M. (2022). SQLite: Past, present, and future. *Proceedings of the VLDB Endowment*, *15*(12), 3535–3547. https://doi.org/10.14778/3554821.3554842

Gaikwad, O. (2020). RFID attendence using RC522. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *8*(5), 2386–2392. https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.5392

Ginting, R. F. A., Djawas, J. F., & Kaesmetan, Y. R. (2024). Pengenalan plat kendaraan otomatis berbasis citra menggunakan metode optical character recognition (OCR). *Journal Software, Hardware and Information Technology*, *4*(2), 11–17. https://doi.org/10.24252/shift.v4i2.135

Martadinata, F., Firdaus, A., & Amal, M. R. T. (2025). *Detection and identification of vehicle license plates in Indonesia transportation system based on deep learning using YOLOv11 and Easyocr*. *14*(4), 573–578. https://doi.org/10.32736/sisfokom.v14i4.2524

Nadyawan, A. H. (2021). Aplikasi sensor ultrasonic HC-SR04 pada robot anti penghalang. *Seminar Nasional Fortei7-4*, 306–312. https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/98/53

Ridwan, M., Pratama, B., Faradis, A., & Agustin, S. (2025). Implementasi metode optical character recognition (OCR) untuk deteksi karakter pada citra plat nomor kendaraan bermotor. *Merkurius: Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknik Informatika*, *3*(4), 171–180. https://doi.org/10.61132/merkurius.v3i4.938

Sania, W. R., Sari, C. A., Rachmawanto, E. H., & Doheir, M. (2023). Bounding box and thresholding in optical character recognition for car license plate recognition. *Sinkron*, *8*(4), 2716–2726. https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i4.12944

Smart, V. G., & Utomo, I. C. (2025). System smart parking berbasis mikrokontroler ESP32 dan RFID untuk otomatisasi akses parkir di PT. Glory Industrial Semarang. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, *5*(7), 2055–2067. https://doi.org/10.52436/1.jpti.899

Sutriawan, Kurniawan, A., & Rosyid, R. (2024). Improving the quality of optical character recognition (OCR) based on neural network with the image enhancement process. *Scientific: Journal of Computer Science and Informatics*, *1*(2), 58–67. https://doi.org/10.34304/scientific.v1i2.334

Taufik, A., Paisal, Farhan Fathun Nur, M., & Ikhwan, M. I. A. (2025). Pengembangan security parking system berbasis image processing dan RFID. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, *23*(1), 46–53. https://doi.org/10.31963/sinergi.v23i1.5007

Tokocamzone.com. (t.t.). *Logitech C270 Webcam HD 720P*. https://www.tokocamzone.com/Logitech-C270-Webcam-HD-720P-Jual-Harga-Murah-Sale-Hemat-Asli-Original-Terpercaya-Spec-Spesifikasi-Specification-Indonesia-Jakarta-Jabodetabek-Bandung- Review-Foto-Deskripsi