

Implementasi Sistem Parkir Mandiri Berbasis QR Code dan Computer Vision untuk Smart Campus

^{1*} Ahmad Fajar Permadi

¹ Sistem Informasi, Universitas Nusantara PGRI Kediri
E-mail: _1ahmadfajarpermadi@gmail.com

Penulis Korespondens : Ahmad Fajar Permadi

Abstrak—Sistem parkir konvensional masih menghadapi berbagai kendala seperti antrean kendaraan, ketergantungan terhadap petugas parkir, serta risiko kesalahan pencatatan data. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem parkir mandiri berbasis QR Code dan Computer Vision untuk mendukung konsep Smart Campus. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C++, framework Qt, pustaka qrcodegen.hpp untuk pembangkitan QR Code, serta OpenCV QRCodeDetector untuk proses deteksi QR Code. Sistem mampu melakukan check-in kendaraan, pembuatan tiket parkir PDF, pemindaian QR Code saat check-out, perhitungan tarif parkir, serta pencetakan struk keluar secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi QR Code sebesar 100% pada 10 kali percobaan berturut-turut dengan jarak optimal kurang dari 30 cm menggunakan webcam standar. Waktu pembuatan tiket, pemindaian QR Code, dan pencetakan struk masing-masing berada pada kisaran kurang dari 2 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendukung efisiensi operasional layanan parkir kampus secara mandiri dan berbiaya rendah.

Kata Kunci— Computer Vision, QR Code, Smart Campus, Sistem Parkir

Abstract— *Conventional parking systems still face various challenges, including vehicle queues, dependence on parking attendants, and potential data recording errors. This study aims to implement a self-service parking system based on QR Code and Computer Vision to support the Smart Campus concept. The system was developed using C++, the Qt framework, qrcodegen.hpp for QR Code generation, and OpenCV QRCodeDetector for QR Code detection. The system supports vehicle check-in, PDF parking ticket generation, QR Code scanning during check-out, parking fee calculation, and automatic receipt printing. Experimental results showed a QR Code detection success rate of 100% in 10 consecutive trials with an optimal scanning distance of less than 30 cm using a standard webcam. The ticket generation, QR Code scanning, and receipt printing processes required less than 2 seconds each. The results indicate that the proposed system can improve the operational efficiency of campus parking services through a low-cost and self-service approach.*

Keywords— *Computer Vision, Parking System, QR Code, Qt, Smart Campus*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan di lingkungan perguruan tinggi menyebabkan kebutuhan akan sistem pengelolaan parkir yang semakin efektif dan efisien. Sistem parkir konvensional yang masih mengandalkan pencatatan manual dan keterlibatan petugas parkir sering menimbulkan berbagai permasalahan, seperti antrean kendaraan, kesalahan pencatatan, risiko kehilangan tiket, serta tingginya ketergantungan terhadap sumber daya manusia. Kondisi tersebut mendorong kebutuhan akan transformasi digital layanan parkir sebagai bagian dari implementasi konsep Smart Campus [1], [2].

Smart Parking System merupakan salah satu solusi yang banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan pengelolaan parkir modern [3]. Rana dan Painuly [1] menyatakan bahwa sistem

parkir cerdas mampu membantu pengguna memperoleh layanan parkir yang lebih efisien melalui pemanfaatan teknologi digital. Penelitian lain yang dilakukan oleh Elfaki dkk. [4] menunjukkan bahwa sistem parkir berbasis teknologi cerdas mampu meningkatkan efisiensi penggunaan area parkir sekaligus mengurangi kemacetan dan waktu pencarian tempat parkir. Selain itu, Channamallu dkk. [5] menjelaskan bahwa perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), sensor nirkabel, dan sistem berbasis visi komputer telah membuka peluang baru dalam pengembangan sistem parkir yang lebih adaptif dan otomatis.

Seiring dengan perkembangan teknologi identifikasi digital, QR Code menjadi salah satu alternatif yang menarik untuk diterapkan pada sistem parkir. Teknologi QR Code memiliki kemampuan menyimpan informasi dalam bentuk kode dua dimensi yang dapat dibaca dengan cepat menggunakan kamera digital, sehingga sangat sesuai untuk diterapkan pada sistem identifikasi kendaraan. Pada bidang parkir, integrasi QR Code dengan teknologi pengenalan visual telah menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam proses identifikasi kendaraan [6]. Penelitian Ashari dkk. [6] juga menunjukkan bahwa integrasi QR Code dengan teknologi pengenalan visual mampu menghasilkan sistem parkir yang memiliki tingkat akurasi tinggi dalam proses identifikasi kendaraan.

Di sisi lain, perkembangan Computer Vision memberikan kemampuan bagi sistem komputer untuk melakukan deteksi dan interpretasi objek secara otomatis melalui citra digital [7]. Teknologi ini semakin banyak dimanfaatkan pada berbagai sistem otomatisasi karena mampu meningkatkan kecepatan dan akurasi proses identifikasi objek [8], [9]. Pada lingkungan kampus, penerapan teknologi digital dan sistem cerdas menjadi salah satu komponen penting dalam mewujudkan konsep Smart Campus. Polin dkk. [2] menjelaskan bahwa Smart Campus merupakan implementasi transformasi digital yang memanfaatkan teknologi informasi untuk meningkatkan kualitas layanan, efisiensi operasional, serta pengelolaan sumber daya kampus. Hal serupa juga disampaikan oleh Li dkk. [10] yang menyatakan bahwa integrasi teknologi digital pada lingkungan kampus dapat meningkatkan kualitas pengelolaan dan pelayanan institusi pendidikan.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, sebagian besar penelitian smart parking masih memanfaatkan infrastruktur tambahan seperti sensor IoT, RFID, maupun perangkat khusus lainnya yang memerlukan biaya implementasi relatif tinggi [1], [4], [5]. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan QR Code, Computer Vision, serta otomatisasi pencetakan tiket dan struk parkir dalam satu sistem parkir mandiri berbasis desktop masih relatif terbatas, khususnya pada lingkungan kampus. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang pengembangan sistem parkir yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan tanpa memerlukan investasi perangkat keras yang kompleks.

Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan sistem parkir mandiri berbasis QR Code dan Computer Vision untuk Smart Campus. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C++, framework Qt, pustaka qrcodegen.hpp untuk pembangkitan QR Code, serta OpenCV QRCodeDetector untuk proses deteksi QR Code. Sistem yang dihasilkan mampu melakukan proses check-in kendaraan, pembuatan tiket parkir otomatis, pemindaian QR Code saat check-out, perhitungan tarif parkir, serta pencetakan struk keluar secara otomatis. Kontribusi utama penelitian ini adalah implementasi sistem parkir mandiri berbiaya rendah yang mengintegrasikan QR Code, Computer Vision, dan otomatisasi dokumen untuk mendukung efisiensi operasional layanan parkir kampus.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan dan mengevaluasi sistem parkir mandiri berbasis QR Code dan Computer Vision untuk mendukung efisiensi operasional layanan parkir dalam lingkungan Smart Campus.

II. METODE

A. Analisis Kebutuhan Sistem

Penelitian ini menggunakan pendekatan implementatif dengan membangun sistem parkir mandiri berbasis QR Code dan Computer Vision. Sistem dirancang untuk mengotomatisasi proses masuk dan keluar kendaraan tanpa memerlukan petugas parkir secara langsung. Pengguna hanya perlu melakukan check-in untuk memperoleh tiket parkir yang berisi QR Code, kemudian melakukan pemindaian QR Code saat keluar area parkir.

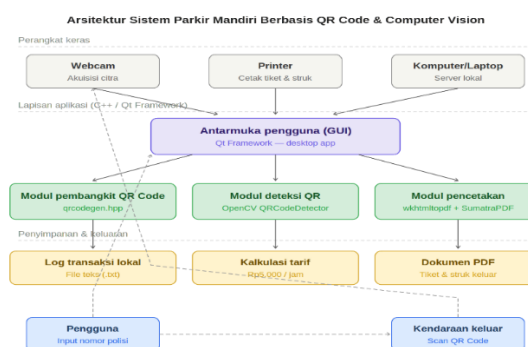
Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi komputer atau laptop sebagai server lokal, webcam sebagai perangkat akuisisi citra, dan printer untuk mencetak tiket maupun struk parkir. Adapun perangkat lunak yang digunakan terdiri dari bahasa pemrograman C++, framework Qt sebagai antarmuka pengguna, OpenCV untuk proses deteksi QR Code, qrcodegen.hpp untuk pembuatan QR Code, wkhtmltopdf untuk konversi dokumen HTML menjadi PDF, serta SumatraPDF untuk mendukung pencetakan dokumen secara otomatis.

B. Arsitektur Sistem

Sistem parkir mandiri yang dikembangkan terdiri atas beberapa komponen utama yaitu antarmuka pengguna (GUI), modul pembangkit QR Code, modul pencetakan tiket, modul deteksi QR Code, modul perhitungan tarif, serta modul pencetakan struk keluar.

Alur kerja sistem dimulai ketika pengguna melakukan check-in kendaraan melalui aplikasi desktop. Sistem kemudian menghasilkan QR Code yang berisi informasi kendaraan dan waktu masuk. QR Code tersebut dicetak dalam bentuk tiket parkir. Pada saat kendaraan keluar, pengguna melakukan pemindaian QR Code menggunakan webcam yang terhubung dengan sistem. Data hasil pemindaian digunakan untuk menghitung durasi parkir dan biaya yang harus dibayarkan. Setelah proses validasi selesai, sistem mencetak struk keluar secara otomatis.

Gambar 1 menunjukkan arsitektur keseluruhan sistem parkir mandiri yang dikembangkan, mencakup lapisan perangkat keras, lapisan aplikasi berbasis Qt, modul-modul perangkat lunak, serta keluaran sistem berupa dokumen PDF dan log transaksi lokal.



[Gambar 1. Arsitektur Sistem Parkir Mandiri Berbasis QR Code dan Computer Vision]

C. Mekanisme Check-In Kendaraan

Tahap check-in diawali dengan pengguna memasukkan nomor polisi kendaraan pada aplikasi. Sistem kemudian menghasilkan QR Code unik menggunakan pustaka qrcodegen.hpp. Informasi

kendaraan beserta waktu masuk dicatat pada log transaksi lokal yang tersimpan dalam format teks. Selanjutnya sistem membuat tiket parkir dalam format HTML yang dikonversi menjadi PDF menggunakan wkhtmltopdf dan dicetak secara otomatis menggunakan SumatraPDF.

Langkah-langkah proses check-in adalah sebagai berikut:

1. Pengguna memasukkan nomor polisi kendaraan.
2. Sistem mencatat waktu masuk kendaraan.
3. Sistem menghasilkan QR Code unik.
4. Data transaksi disimpan pada log lokal.
5. Tiket parkir PDF dibuat secara otomatis.
6. Tiket dicetak dan diberikan kepada pengguna.

Alur proses check-in secara keseluruhan disajikan pada Gambar 2 berikut.



[Gambar 2. Flowchart Proses Check-In Kendaraan]

D. Mekanisme Check-Out Kendaraan

Pada proses check-out, pengguna memilih menu pemindaian QR Code. Webcam akan diaktifkan dan OpenCV QRCodeDetector digunakan untuk mendeteksi QR Code yang terdapat pada tiket parkir. Setelah QR Code berhasil dibaca, sistem melakukan pencocokan data transaksi, menghitung lama parkir berdasarkan selisih waktu masuk dan waktu keluar, kemudian menghitung biaya parkir.

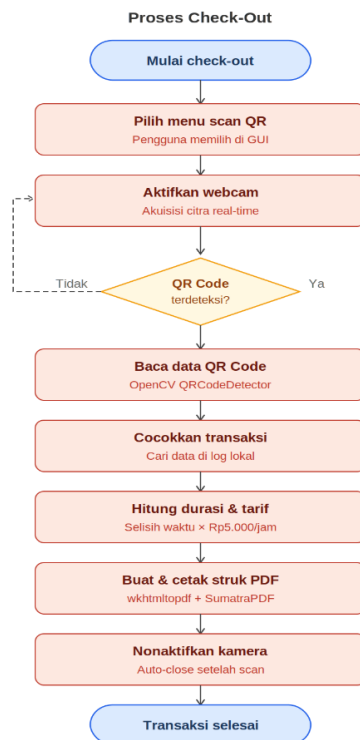
Tarif parkir yang digunakan pada penelitian ini adalah tarif tetap sebesar Rp5.000 per jam. Setelah proses perhitungan selesai, sistem menghasilkan struk keluar dalam format PDF dan mencetaknya secara otomatis. Untuk menghindari pembacaan QR Code berulang, kamera akan ditutup secara otomatis setelah proses pemindaian berhasil dan dapat diaktifkan kembali melalui tombol scan.

Langkah-langkah proses check-out adalah sebagai berikut:

1. Pengguna memilih menu scan QR Code.
2. Webcam melakukan akuisisi citra secara real-time.
3. OpenCV QRCodeDetector mendeteksi dan membaca QR Code.
4. Sistem mencocokkan data transaksi kendaraan.

5. Sistem menghitung durasi parkir.
6. Sistem menghitung biaya parkir.
7. Struk keluar dibuat dalam format PDF.
8. Struk dicetak secara otomatis.
9. Kamera dinonaktifkan setelah proses selesai.

Alur lengkap proses check-out kendaraan disajikan pada Gambar 3 berikut.



[Gambar 3. Flowchart Proses Check-Out Kendaraan]

E. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem parkir mandiri yang telah dikembangkan. Pengujian meliputi pengujian fungsional sistem, pengujian deteksi QR Code, dan pengujian waktu proses.

Pengujian deteksi QR Code dilakukan pada dua variabel yaitu variasi jarak pemindaian dan variasi kondisi pencahayaan. QR Code dicetak pada tiket parkir berukuran 10 cm × 8,5 cm dengan ukuran QR Code sebesar 4,2 cm × 4,2 cm. Pengujian jarak dilakukan pada enam titik jarak berbeda (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, dan 100 cm) menggunakan webcam standar. Pengujian pencahayaan dilakukan pada dua kondisi yaitu pencahayaan cukup dan pencahayaan minim. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak 5 kali percobaan untuk mengukur konsistensi sistem. Pengujian dilakukan menggunakan satu tiket parkir cetak yang sama pada seluruh skenario untuk menjaga konsistensi variabel uji. Webcam yang digunakan adalah webcam standar built-in laptop dengan resolusi 720p.

Pengujian waktu proses dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan sistem untuk menghasilkan tiket parkir, melakukan pemindaian QR Code, serta mencetak struk keluar.

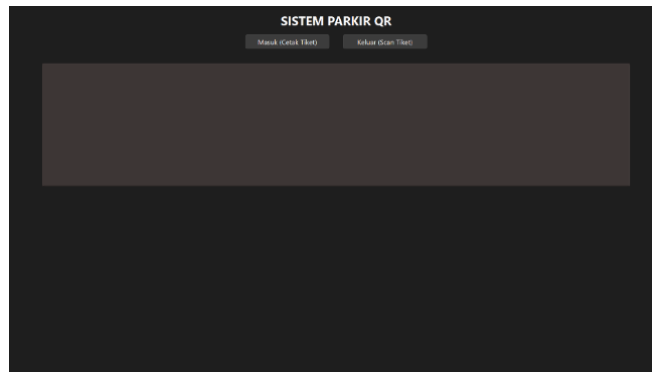
Parameter yang diamati meliputi waktu pembuatan tiket PDF, waktu deteksi QR Code, dan waktu pembuatan struk keluar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Penelitian ini menghasilkan sebuah aplikasi desktop sistem parkir mandiri yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan framework Qt. Sistem dirancang untuk mendukung proses parkir kendaraan secara mandiri tanpa memerlukan petugas parkir pada proses masuk maupun keluar kendaraan. Integrasi teknologi QR Code dan Computer Vision digunakan untuk mengotomatisasi identifikasi transaksi parkir sehingga proses pelayanan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien.

Antarmuka utama sistem menyediakan dua fungsi utama yaitu proses check-in kendaraan dan proses scan QR Code untuk check-out kendaraan. Pada proses check-in, pengguna memasukkan nomor polisi kendaraan yang kemudian digunakan untuk menghasilkan tiket parkir yang berisi QR Code unik. Pada proses check-out, sistem memanfaatkan webcam dan OpenCV QRCodeDetector untuk membaca QR Code yang terdapat pada tiket parkir.

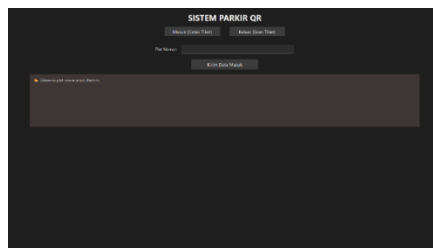


[Gambar 4. Tampilan Menu Utama Sistem]

B. Implementasi Proses Check-In

Proses check-in dilakukan dengan memasukkan nomor polisi kendaraan melalui antarmuka aplikasi. Setelah data dimasukkan, sistem secara otomatis mencatat waktu masuk kendaraan dan menghasilkan QR Code menggunakan pustaka qrcodegen.hpp. QR Code yang dihasilkan digunakan sebagai identitas transaksi parkir.

Data transaksi kemudian dicatat pada log lokal dan digunakan sebagai referensi pada saat proses check-out. Selanjutnya sistem menghasilkan tiket parkir dalam format HTML yang dikonversi menjadi file PDF menggunakan wkhtmltopdf. Tiket yang telah dibuat dicetak secara otomatis menggunakan SumatraPDF.



[Gambar 5. Proses Check-In dan Pembuatan QR Code]

Contoh informasi yang terdapat pada tiket parkir meliputi nomor polisi kendaraan, waktu masuk kendaraan, dan QR Code yang digunakan untuk proses validasi saat keluar area parkir.



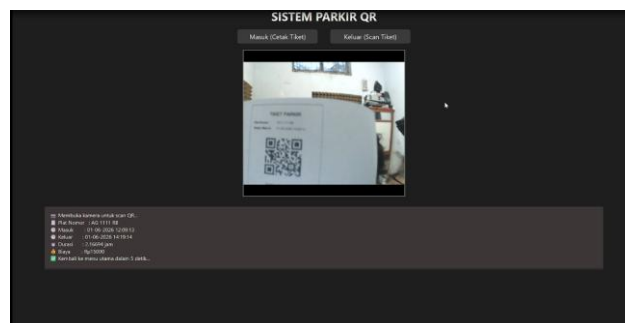
[Gambar 6. Contoh Tiket Parkir PDF]

C. Implementasi Proses Check-Out

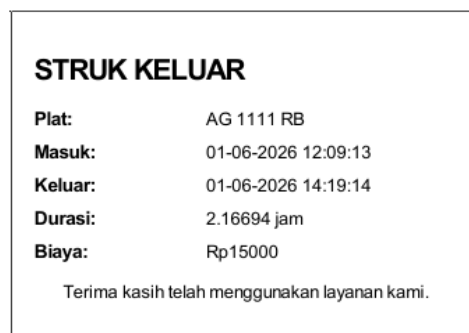
Pada proses check-out, pengguna memilih menu scan QR Code sehingga webcam akan aktif dan melakukan akuisisi citra secara real-time. Sistem menggunakan OpenCV QRCodeDetector untuk mendeteksi serta membaca informasi yang tersimpan pada QR Code.

Setelah QR Code berhasil dibaca, sistem melakukan pencocokan data transaksi yang tersimpan pada log lokal. Selanjutnya sistem menghitung durasi parkir berdasarkan selisih waktu masuk dan waktu keluar kendaraan. Berdasarkan durasi tersebut, sistem menentukan biaya parkir yang harus dibayarkan.

Struk keluar kemudian dibuat dalam format PDF dan dicetak secara otomatis. Untuk menghindari pembacaan QR Code secara berulang, kamera akan ditutup secara otomatis setelah proses pemindaian berhasil dilakukan.



[Gambar 7. Proses Pemindaian QR Code]



[Gambar 8. Contoh Struk Keluar PDF]

D. Pengujian Deteksi QR Code

Pengujian deteksi QR Code dilakukan pada dua variabel yaitu variasi jarak pemindaian dan variasi kondisi pencahayaan. QR Code dicetak pada tiket parkir berukuran 10 cm × 8,5 cm dengan

ukuran QR Code sebesar 4,2 cm × 4,2 cm. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Seluruh percobaan dilakukan menggunakan satu tiket parkir yang sama dengan QR Code yang telah dicetak. Pada setiap percobaan, tiket diposisikan kembali di depan webcam dari awal proses pemindaian untuk mensimulasikan kondisi penggunaan nyata. Variabel yang diubah pada setiap skenario pengujian hanya jarak pemindaian dan kondisi pencahayaan, sedangkan variabel lainnya seperti ukuran QR Code, jenis webcam, dan resolusi kamera dijaga tetap konstan. Hasil pengujian variasi jarak disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Deteksi QR Code pada Variasi Jarak

Jarak (cm)	Jumlah Percobaan	Berhasil	Gagal	Keberhasilan (%)
10	5	5	0	100
20	5	5	0	100
30	5	5	0	100
40	5	0	5	0
50	5	0	5	0
100	5	0	5	0

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sistem mampu mendeteksi QR Code dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak 10 cm hingga 30 cm. Pada jarak 40 cm dan seterusnya, deteksi QR Code mengalami kegagalan total. Kegagalan tersebut disebabkan oleh gambar QR Code yang menjadi blur pada jarak yang lebih jauh akibat keterbatasan resolusi dan fokus webcam standar yang digunakan. Hasil ini menunjukkan bahwa jarak optimal pemindaian QR Code pada sistem ini berada pada rentang 10 cm hingga 30 cm.

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi pencahayaan terhadap keberhasilan deteksi QR Code. Pengujian dilakukan pada dua kondisi pencahayaan yang berbeda dengan jarak pemindaian pada rentang optimal (≤ 30 cm). Setiap kondisi diuji sebanyak 5 kali percobaan. Hasil pengujian kondisi pencahayaan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Deteksi QR Code pada Variasi Pencahayaan

Kondisi Pencahayaan	Jumlah Percobaan	Berhasil	Gagal	Keberhasilan (%)
Pencahayaan cukup	5	5	0	100
Pencahayaan minim	5	5	0	100

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi pencahayaan tidak berpengaruh signifikan terhadap keberhasilan deteksi QR Code selama jarak pemindaian berada pada rentang optimal. Baik pada kondisi pencahayaan cukup maupun pencahayaan minim, sistem tetap mampu mendeteksi QR Code dengan tingkat keberhasilan 100%.

E. Pengujian Waktu Proses Sistem

Pengujian waktu dilakukan untuk mengetahui performa sistem dalam menjalankan setiap proses utama. Parameter yang diamati meliputi waktu pembuatan tiket parkir, waktu pemindaian QR Code, dan waktu pencetakan struk keluar.

Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu Proses

Aktivitas	Waktu Rata-rata
Generate Tiket PDF	$\leq 1,5$ detik
Scan QR Code	$\pm 1,5$ detik
Cetak Struk PDF	± 2 detik

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh proses dapat diselesaikan dalam waktu yang relatif singkat. Waktu pembuatan tiket dan pemindaian QR Code berada pada kisaran 1,5 detik, sedangkan proses pencetakan struk membutuhkan waktu sekitar 2 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons yang cukup cepat untuk mendukung operasional parkir pada lingkungan kampus.

F. Pembahasan

Implementasi sistem parkir mandiri berbasis QR Code dan Computer Vision berhasil mengotomatisasi proses parkir kendaraan mulai dari check-in hingga check-out. Penggunaan QR Code memungkinkan identifikasi transaksi dilakukan secara sederhana tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti kartu RFID atau sensor khusus.

Integrasi OpenCV QRCodeDetector memungkinkan proses pembacaan QR Code dilakukan secara real-time menggunakan webcam standar. Pendekatan ini memberikan keuntungan dari sisi biaya implementasi karena tidak memerlukan perangkat keras khusus yang mahal. Selain itu, penggunaan tiket dan struk dalam format PDF memungkinkan proses dokumentasi transaksi dilakukan secara otomatis. Sistem juga mampu mengurangi ketergantungan terhadap petugas parkir karena sebagian besar proses dilakukan secara mandiri oleh pengguna.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya penyimpanan data transaksi yang masih menggunakan log lokal berbasis file teks dan performa deteksi QR Code yang dipengaruhi oleh kualitas kamera yang digunakan.

Apabila dibandingkan dengan penelitian terkait, sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan signifikan dari segi biaya implementasi. Penelitian Elfaki dkk. [3] menggunakan sensor ultrasonik dan modul ESP32 pada setiap slot parkir, yang menurut Channamallu dkk. [4] memerlukan biaya perangkat keras sensor IoT berkisar \$50–\$200 per slot tergantung jenis sensor yang digunakan. Untuk area parkir dengan 50 slot, biaya sensor saja dapat mencapai \$2.500–\$10.000 (sekitar Rp40 juta–Rp160 juta). Sistem berbasis RFID juga memerlukan RFID reader (\$100–\$500 per unit) dan RFID tag untuk setiap kendaraan [1], [4]. Sebagai perbandingan, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya memerlukan komputer atau laptop (yang umumnya sudah tersedia), webcam standar (Rp100.000–Rp300.000), dan printer (Rp500.000–Rp1.500.000), dengan total estimasi biaya implementasi kurang dari Rp2.000.000. Selain itu, seluruh perangkat lunak yang digunakan bersifat open-source sehingga tidak memerlukan biaya lisensi. Meskipun demikian, penelitian Ashari dkk. [8] yang mengkombinasikan face recognition dengan QR Code menawarkan keamanan yang lebih tinggi dengan biaya komputasi yang lebih berat. Sistem dalam penelitian ini mampu mencapai tingkat keberhasilan deteksi QR Code 100% pada jarak optimal dengan waktu respons di bawah 2 detik, menjadikannya solusi yang paling ekonomis untuk lingkungan dengan anggaran terbatas. Sehingga menjadi solusi yang lebih ekonomis dan mudah direplikasi di lingkungan kampus.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem parkir mandiri berbasis QR Code dan Computer Vision untuk mendukung konsep Smart Campus. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C++, framework Qt, pustaka qrcodegen.hpp untuk pembangkitan QR Code, serta OpenCV QRCodeDetector untuk proses deteksi dan pembacaan QR Code. Sistem mampu mengotomatisasi proses parkir kendaraan mulai dari check-in, pembuatan tiket parkir dalam format PDF, proses validasi kendaraan saat check-out, perhitungan tarif parkir, hingga pencetakan struk keluar secara otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi QR Code dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak pemindaian 10 cm hingga 30 cm dengan 5 kali percobaan per kondisi menggunakan webcam standar, baik pada kondisi pencahayaan cukup maupun pencahayaan minim. Deteksi QR Code mengalami kegagalan pada jarak 40 cm dan seterusnya akibat keterbatasan resolusi webcam. Selain itu, waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan tiket parkir, melakukan pemindaian QR Code, dan mencetak struk keluar masing-masing berada pada kisaran kurang dari 2 detik sehingga sistem mampu mendukung proses operasional parkir secara efisien. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan berpotensi menjadi alternatif solusi parkir mandiri yang sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan untuk mendukung transformasi digital layanan kampus menuju Smart Campus.

Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan mengintegrasikan basis data relasional, menambahkan fitur monitoring kapasitas parkir secara real-time, serta meningkatkan kualitas perangkat akuisisi citra.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rana and S. Painuly, "Automated Parking Systems: A Review," in *2023 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 914–919. doi: 10.1109/ICCCIS60361.2023.10425588.
- [2] K. Polin, T. Yigitcanlar, M. Limb, and T. Washington, "The Making of Smart Campus: A Review and Conceptual Framework," *Buildings*, vol. 13, no. 4, p. 891, Mar. 2023, doi: 10.3390/buildings13040891.
- [3] E. J. de Visser *et al.*, "Trust in automated parking systems: A mixed methods evaluation," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 96, pp. 185–199, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.trf.2023.05.018.
- [4] A. O. Elfaki, W. Messoudi, A. Bushnag, S. Abuzneid, and T. Alhmiedat, "A Smart Real-Time Parking Control and Monitoring System," *Sensors*, vol. 23, no. 24, p. 9741, Dec. 2023, doi: 10.3390/s23249741.
- [5] S. S. Channamallu, S. Kermanshachi, J. M. Rosenberger, and A. Pamidimukkala, "A review of smart parking systems," *Transportation Research Procedia*, vol. 73, pp. 289–296, 2023, doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.920.
- [6] Ilham Firman Ashari, M. Idri, and M. A. Nasrulah, "Analysis of Combination of Parking System with Face Recognition and QR Code using Histogram of Oriented Gradient Method," *IT Journal Research and Development*, vol. 7, no. 1, pp. 94–110, Aug. 2022, doi: 10.25299/itjrd.2022.9958.
- [7] X. Wang and Z. Zhu, "Context understanding in computer vision: A survey," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 229, p. 103646, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.cviu.2023.103646.
- [8] S. Paneru and I. Jeelani, "Computer vision applications in construction: Current state, opportunities & challenges," *Autom. Constr.*, vol. 132, p. 103940, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103940.
- [9] M.-H. Guo *et al.*, "Attention mechanisms in computer vision: A survey," *Comput. Vis. Media (Beijing)*, vol. 8, no. 3, pp. 331–368, Sep. 2022, doi: 10.1007/s41095-022-0271-y.
- [10] W. Li, "Design of smart campus management system based on internet of things technology," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 40, no. 2, pp. 3159–3168, Feb. 2021, doi: 10.3233/JIFS-189354.