
Optimasi Sistem *Smart Parking* Menggunakan Metode YOLO dan Algoritma A*(A-star)

Alfandharu Dhutanggara^{1*}, Dewi Handayani Untari Ningsih², Eri Zuliarso³

Teknik Informatika, Universitas Stikubank, Semarang, Indonesia

*e-mail *Corresponding Author*: alfandharudhutanggara@mhs.unisbank.ac.id

Abstract

The number of four-wheeled vehicles in Indonesia increases every year. Based on data from the Central Statistics Agency, the increase in vehicles from 2020 to 2022 is 3,52 % (2020-2021) and 4,15 % (2021-2022). This affects the availability of parking spaces. The more vehicles using the parking lot have the potential to cause increasingly dense parking lot traffic. Then car drivers who want to use the parking lot experience difficulty in parking their vehicles. Much research has been carried out regarding parking spot detection. This research proposes additional features, namely directing vehicles entering the parking lot to empty parking spaces using the A algorithm. In this study, the YOLO method was used to detect the availability of parking spaces. The system performance results detect a parking space of 80% and able to direct it to an empty parking slot with efficient optimum route*

Keywords: *Parking slot; Yolo Method; A-star Algorithm*

Abstrak

Sesuai data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik, jumlah kendaraan roda empat mengalami peningkatan sebesar 3,52 % dari 2020 hingga 2021 dan 4,15 % dari tahun 2021 hingga 2022. Hal ini berpengaruh pada ketersediaan lahan parkir. Semakin banyak kendaraan yang menggunakan lahan parkir berpotensi menyebabkan lalu lintas lahan parkir semakin padat. Kemudian pengendara mobil yang akan menggunakan lahan parkir mengalami kesulitan dalam parkir kendaraan. Penelitian mengenai deteksi tempat parkir sudah banyak dilakukan. Penelitian ini mengusulkan penambahan fitur yaitu mengarahkan kendaraan masuk lahan parkir ke tempat parkir kosong menggunakan algoritma A*. Metode YOLO diterapkan pada penelitian untuk melacak ketersediaan fasilitas parkir. Hasil performa sistem mendeteksi tempat parkir sebesar 80% dan sistem mampu mengarahkan kendaraan ke slot parkir yang kosong dengan efisiensi rute yang optimal

Kata kunci: *Slot Parkir; Metode Yolo; Algoritma A-star*

1. Pendahuluan

Jumlah kendaraan, terutama roda empat, telah meningkat pesat. Pulau Jawa memiliki 10.857.993 kendaraan roda 4 pada tahun 2020. Jumlah tersebut meningkat menjadi 11.240.621 pada tahun 2021 dan 11.707.447 pada tahun 2022 [1]. Jumlah tempat parkir publik yang diperlukan juga meningkat sebagai akibat dari peningkatan tersebut. Akibatnya, sebuah sistem diperlukan untuk memantau dan mengawasi penggunaan tempat parkir [2].

Teknologi informasi berkembang pesat yang mendorong terciptanya sistem yang dapat membantu mengatasi masalah yang terjadi, khususnya permasalahan pada parkir. Sistem smart parking adalah salah satu solusi yang ditawarkan untuk mengetahui ketersediaan slot tempat parkir [3]. Sistem smart parking dikembangkan dengan beberapa pendekatan oleh beberapa peneliti, seperti berbasis sistem deteksi dengan bantuan berbagai sensor [4] seperti Magnetometer, *Infra Red* (IR), *Agent*, *Cellular Sensor*, *Radio Frequency Identification* (RFID), *Magento Resistive*, *Ultrasonic*, *Acoustic Array*, sensor kamera, LiDAR, *Inductive Loop Detector*, dan RADAR [5]. Teknologi sensor tersebut dimanfaatkan untuk pengembangan *smart parking* berbasis teknologi *internet of things* (IoT). Pemanfaatan sistem IoT dalam sistem *smart parking* menggunakan beberapa pendekatan, seperti pemanfaatan teknologi *multisource data fusion* dengan memanfaatkan teknologi *wireless vehicle detectors* (WVDs) dan *smart card* [6].

Peneliti lain menggunakan teknologi aplikasi telepon yang menunjukkan ketersediaan tempat parkir, keamanan dan keselamatan tempat parkir yang terintegrasi dengan Raspberry Pi sebagai pengontrol dari beberapa sistem yang terpasang [7]. Selain dengan bantuan beberapa teknologi di atas, pengembangan *smart parking* juga dengan memanfaatkan teknologi pengolahan citra digital dan kecerdasan buatan yang melakukan pengenalan atau deteksi ketersediaan area kosong pada lokasi parkir [8]. Selain itu, pada penelitian lain juga dikembangkan sistem penghitungan kendaraan yang masuk sehingga dapat diidentifikasi jumlah ketersediaan slot parkir [9].

Selain menggunakan *Internet of Things* sistem parkir pintar juga dapat memanfaatkan teknologi *Computer Vision* salah satunya YOLO. Penelitian mengenai sistem parkir sudah dilakukan oleh Evan Tanuwijaya, Chastine Fatichah dengan judul "Penandaan Otomatis Tempat Parkir Menggunakan YOLO untuk Mendeteksi Ketersediaan Tempat Parkir Mobil pada Video CCTV" pada tahun 2020. Tujuan dari penelitian tersebut adalah memudahkan pengemudi menemukan tempat parkir kosong. Teknik *You Only Look Once* (YOLO) dapat digunakan oleh seperangkat aturan inspeksi untuk menemukan tempat parkir di zona parkir mobil lalu menempatkan penanda di sana. Setiap penanda di zona parkir mobil akan menunjukkan apakah tempat parkir tersebut ditempati atau tidak setelah diberi tanda [10].

Dari penelitian yang sudah dilakukan ada fitur yang bisa ditambahkan yaitu fitur untuk mengarahkan kendaraan masuk ke tempat parkir yang kosong. Salah satu algoritma yang bisa digunakan adalah algoritma A^* (*A-Star*). Algoritma A^* salah satu strategi pencarian yang memecahkan rekor. sebagai solusi teknik pencarian jalur, rangkaian aturan ini luar biasa. Algoritma ini mencari jalur terpendek yang memungkinkan dari garis start ke tujuan [11]. Penggunaan algoritma A^* untuk mengelola tempat parkir sudah pernah diteliti oleh Zhiliang Deng dan Dong Wang dari *Nanjing University of Information Science and Technology* pada tahun 2023 dengan judul "*Research on Parking Path Planning Based on A-Star Algorithm*". Dalam penelitian ini, algoritma A^* digunakan untuk menemukan cara tercepat untuk pergi pada posisi awal ke tujuan akhir. Studi ini menerapkan simulasi tempat parkir sederhana dalam dua dimensi. Simulasi ini memiliki objek rintangan untuk menambah panjang jalur yang harus ditempuh [12].

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini membuat sistem pemantauan tempat parkir menggunakan metode YOLO dan algoritma A^* . Sistem mendeteksi kekosongan tempat parkir kemudian mengarahkan kendaraan masuk ke tempat parkir yang kosong. Penelitian ini dilakukan untuk mengelola lalu lintas tempat parkir agar tidak terhambat dan lebih efisien.

2. Tinjauan Pustaka

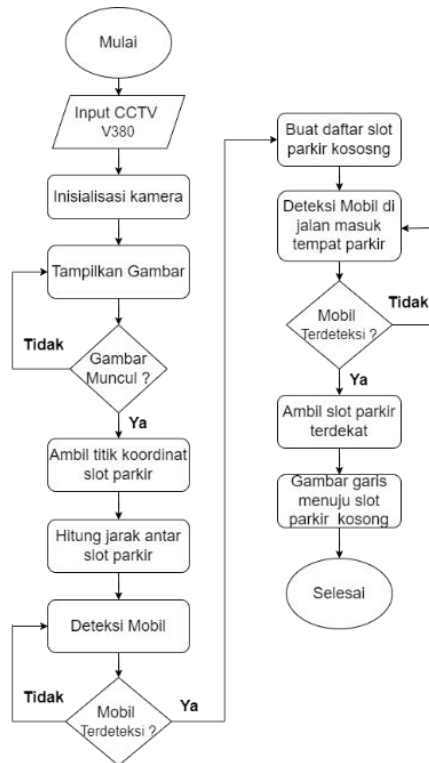
Terdapat beberapa penelitian terkait penggunaan YOLOv5 untuk mendeteksi tempat parkir dan algoritma A^* untuk menentukan rute jalan.

Penelitian mengenai penggunaan YOLO untuk mendeteksi tempat parkir dilakukan oleh Evan Tanuwijaya dan Chastine Fatichah dengan judul "Penandaan Otomatis Tempat Parkir Menggunakan YOLO untuk Mendeteksi Ketersediaan Tempat Parkir Mobil pada Video CCTV" pada tahun 2020. Tujuan dari penelitian tersebut adalah memudahkan pengemudi menemukan tempat parkir kosong. Teknik YOLO dapat digunakan oleh algoritma dalam penelitian ini untuk mengetahui tempat parkir mana saja yang ada di dalam tempat parkir dan kemudian menandainya. Sesuai dengan temuan penelitian ini, alat tersebut memiliki akurasi 95,07% di pagi hari dan 91,89% di sore hari untuk mendeteksi kendaraan yang diparkir. Penelitian ini dibatasi oleh kurangnya kemampuan untuk menemukan mobil yang gambarnya telah terpotong dan kendaraan yang berada di belakang objek seperti pohon. Kemudian saat cuaca cerah dengan matahari terik mobil berwarna putih tidak dapat terdeteksi dengan baik karena warna putih menjadi tidak jelas sehingga memengaruhi program untuk mendeteksi kendaraan.

Selanjutnya penelitian oleh Zhiliang Deng dan Dong Wang pada tahun 2023 membahas tentang perencanaan jalur tempat parkir menggunakan algoritma A^* . Penelitian ini menjelaskan model algoritma A^* yang optimal menggunakan parameter jarak dan waktu tempuh untuk mengalokasikan kendaraan yang masuk ke tempat parkir. Metode penelitian yang digunakan adalah metode pustaka, analisis, dan simulasi. Simulasi yang dilakukan menyesuaikan tata letak dari salah satu area parkir yang memiliki banyak slot parkir. Tugas algoritma A^* di penelitian ini adalah menentukan jalur terpendek dari titik awal ke salah satu slot parkir yang menjadi titik tujuan. Hasil simulasi dari penelitian tersebut adalah algoritma A^* mampu menemukan jalur terpendek dari satu awal ke titik tujuan.

3. Metode Penelitian

Secara umum penelitian ini menggabungkan algoritma Yolov5 dan algoritma A* menjadi satu kesatuan sistem. Adapun diagram alur sistem tersebut digambarkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Penelitian ini memerlukan beberapa tahap untuk mempersiapkan komponen penelitian. Komponen yang diperlukan yaitu model untuk mendeteksi mobil menggunakan YoloV5 dan *grid* sebagai area untuk path planning menggunakan algoritma A*. Proses persiapan komponen penelitian adalah sebagai berikut.

3.1. You Only Look Once(YOLO)

Algoritme *You Only Look Once* (YOLO) dirancang untuk mendeteksi objek secara akurat dan cepat dalam waktu nyata. Pengklasifikasi atau pelokalan yang dapat digunakan kembali digunakan untuk deteksi. Gambar dimodelkan pada skala dan lokasi yang berbeda. Area tempat gambar memiliki skor tertinggi dianggap sebagai deteksi [13]. Karena dapat mengubah nilai matriks RGB gambar, kedalaman cahaya memengaruhi deteksi objek. Penilaian warna memainkan fungsi utama dalam deteksi objek dengan YOLO, dengan setiap warna menerima nilai matriks yang paling penting dan dibandingkan dengan statistik pelatihan. Jarak dan kedalaman cahaya pada cahaya yang gelap merupakan faktor tambahan yang memengaruhi deteksi. Karena algoritme YOLO dapat membedakan objek, tingkat akurasi cukup tinggi, maka beradaptasi dengan objek yang dideteksi, kotak pembatas memiliki tingkat spesifisitas setengah [9]. Pengujian performa model YOLO dalam mendeteksi objek dilakukan dengan perhitungan menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* terdiri dari beberapa variabel yaitu *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN) [14]. Dalam konteks deteksi objek, TP berarti model YOLO memprediksi objek dan terdeteksi dengan benar. TN berarti model YOLO memprediksi contoh negatif dan terdeteksi sebagai negatif, biasanya kebalikan dari TP. FP berarti model YOLO salah memprediksi keberadaan objek namun tetap terdeteksi. FN berarti tidak ada objek namun terdeteksi oleh model. Rumus menghitung performa model YOLO dapat dilihat di persamaan 1, 2, dan 3.

$$Akurasi = \frac{TP}{TP + FP + FN} \times 100\% \tag{1}$$

$$Presisi = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \tag{2}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \tag{3}$$

Nilai akurasi adalah nilai perbandingan prediksi benar (TP) dengan total semua prediksi baik benar maupun salah. Nilai presisi adalah nilai perbandingan dari prediksi benar dengan semua prediksi positif. Presisi mengukur seberapa banyak prediksi yang tepat. Nilai *recall* adalah nilai perbandingan prediksi benar terhadap total objek sebenarnya. *Recall* mengukur kinerja model dalam menemukan objek yang ada [15].

3.2. Algoritma A*(A-Star)

Salah satu algoritma yang termasuk dalam kategori metode pencarian terinformasi adalah algoritma A*. Perhitungan A* menggunakan perhitungan jarak terpendek yang akan ditempuh dari titik awal ke titik tujuan. Algoritma A* menggunakan nilai heuristik ketika mempertimbangkan pilihan jalur. Algoritma A* merupakan salah satu yang terbaik dalam menemukan solusi ketika berhadapan dengan titik (node) terbanyak untuk menemukan rute terpendek. Algoritma A* dapat menemukan rute terpendek dengan akurasi maksimum menggunakan estimasi heuristik. Dengan mengevaluasi setiap titik dan menggabungkannya dengan g(n), nilai untuk mencapai titik n dari titik awal, dan h(n), nilai estimasi untuk mencapai tujuan dari titik (n), algoritma ini bekerja berdasarkan basis pencarian terbaik pertama [16].

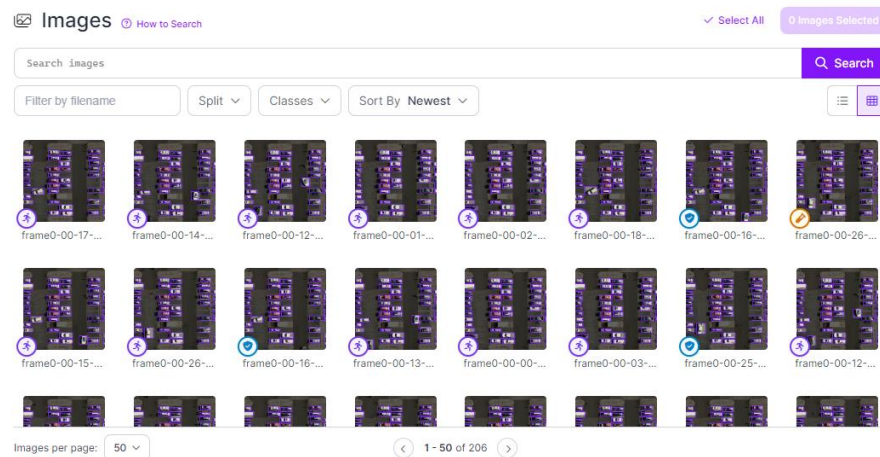
3.3. Pengumpulan Dataset

Tahap pengumpulan *dataset* untuk deteksi mobil menggunakan algoritma YoloV5 didapat dari video – video area parkir yang ada di internet. Kemudian video tersebut diubah menjadi beberapa gambar sebagai *dataset*. Contoh *dataset* tertera dalam gambar 2.



Gambar 2. Contoh *Dataset*

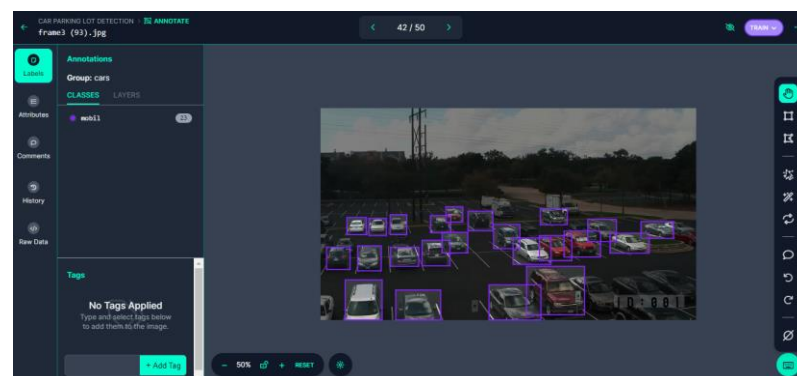
Total *dataset* yang diperoleh adalah 206 *dataset*. *Dataset* terdiri dari gambar tempat parkir di kondisi cerah dan gelap, mobil dengan bermacam warna, dan jenis mobil yang berbeda. Perolehan Hasil *dataset* tertera dalam gambar 3.



Gambar 3. Kumpulan *Dataset*

3.4. *Pre-processing Dataset*

Tahap selanjutnya yaitu *pre-processing dataset*. Tahap *pre-processing* berupa melakukan anotasi *dataset*. Anotasi *dataset* dilakukan dengan menggambar *bounding box* di sekitar objek dan label kelas objek, dalam hal ini objek yang dianotasi dan kelasnya adalah mobil. Hasil anotasi *dataset* terdiri dari koordinat pusat, lebar, dan tinggi *bounding box*. Anotasi *dataset* dilakukan menggunakan *platform* Roboflow. Proses anotasi *dataset* tertera dalam gambar 4.



Gambar 4. Proses Anotasi *Dataset*

Setelah proses anotasi, *dataset* melalui beberapa tahap *pre-processing* lanjutan yaitu menyamakan resolusi *dataset* menjadi 640×640, kemudian diaugmentasi dengan diputar 90° berputar ke arah kanan dan berputar ke arah kiri. Jumlah *dataset* setelah melalui *pre-processing* adalah 416 *dataset* dengan alokasi 70% data dialokasikan untuk pelatihan, 20% untuk validasi, dan 10% untuk pengujian

3.5. *Training Dataset*

Tahap berikutnya yaitu *training dataset*. tahap *training dataset* berupa melakukan *training* untuk menghasilkan model Yolov5 dari anotasi *dataset*. Arsitektur Yolov5 sebenarnya sudah memiliki *pre-trained model* yang dapat digunakan langsung. Untuk memperbaiki akurasi sesuai dengan kebutuhan penelitian ini maka dilakukan *training* menggunakan *custom dataset*. parameter *training dataset* terlampir dalam tabel 1.

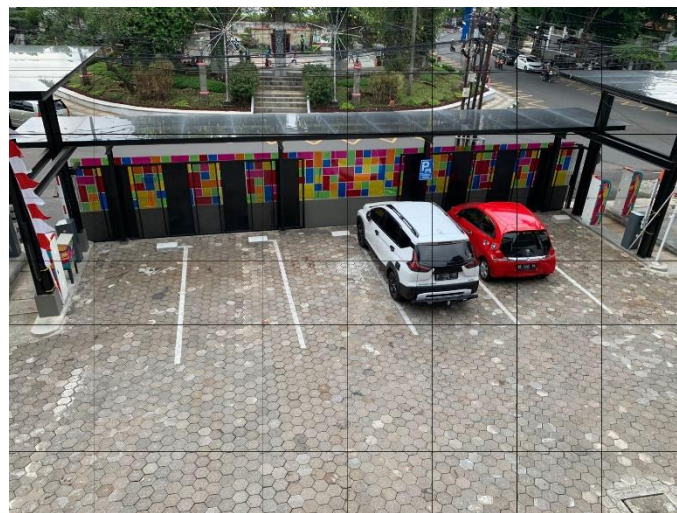
Tabel 1. Parameter *Training Dataset*

Parameter	Nilai
Jumlah <i>Dataset</i>	416
Ukuran Gambar	640×640
Jumlah <i>Batch</i>	16
Jumlah Kelas	1
<i>Epochs</i>	100

Tahap *training dataset* dilakukan menggunakan platform Google Collab yang diintegrasikan dengan Roboflow melalui API Key (*Application Programming Interface Key*). *Training dataset* menghasilkan model Yolov5 untuk dianalisa dan dievaluasi menggunakan *dataset* pengujian. Jika akurasi model memadai, model tersebut layak diterapkan untuk sistem.

3.6. Pembuatan Grid

Tahap berikutnya yaitu pembuatan *grid*. Tahap ini dilakukan dengan membuat *grid overlay* di atas video yang akan menjadi *input* dari sistem. *Grid* ini berfungsi sebagai peta buatan tempat algoritma A* melakukan *path planning*. Ukuran dari *grid* yang digunakan pada penelitian ini adalah 20×20. Artinya, tiap *cell* dari *grid* ini memiliki lebar 20 pixel dan tinggi 20 pixel. Hasil dari proses pembuatan *grid* tertera dalam gambar 6.



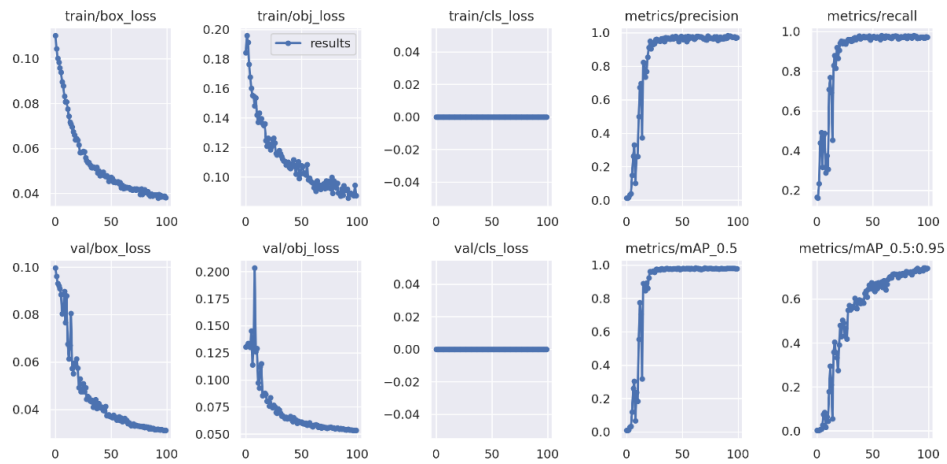
Gambar 6. Hasil Pembuatan *Grid*

4. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Penelitian dilakukan di tempat parkir mobil Universitas STIKUBANK Kota Semarang dengan 7 posisi kamera. Posisi kamera dipilih dengan mempertimbangkan pencahayaan tempat parkir yang memengaruhi kualitas video yang diambil, letak tempat parkir kosong, serta jumlah ketersediaan mobil di tempat parkir. Pengujian dilakukan melalui tiga tahap, yaitu pengujian model Yolov5, pengujian deteksi mobil di slot parkir, dan pengujian *path planning*. Pengujian Yolo menentukan akurasi sistem dalam mendeteksi mobil yang terparkir. Pengujian algoritma A-Star menentukan kemampuan algoritma untuk mengarahkan mobil ke tempat parkir kosong.

4.1. Pengujian Model Yolov5

Pengujian model Yolov5 dilakukan untuk mengetahui dan mengevaluasi performa model dalam mendeteksi mobil. Grafik model Yolov5 hasil *training* dapat tertera dalam gambar 7.

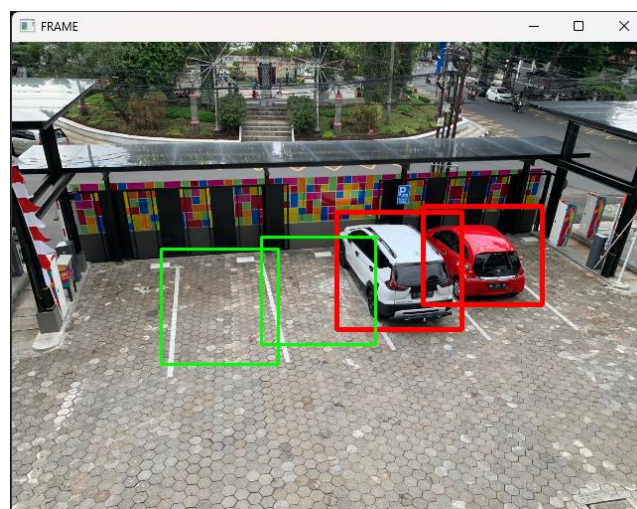


Gambar 7. Grafik Model YoloV5 Hasil *Training*

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada proses iterasi ke-50 dan seterusnya, nilai *loss* dari data *training* dan validasi mengalami penurunan hingga dibawah 0,1. Nilai presisi yang dihasilkan adalah 0,974 terkait dengan nilai recall. Rata-rata nilai tertinggi dari recall mencapai 0,968. Model yang dihasilkan juga memiliki nilai mAP (*mean average precision*) 0,981. Dari pengujian ini menunjukkan model yang dibuat memiliki performa yang baik jika digunakan dalam sistem deteksi.

4.2. Pengujian Deteksi Mobil

Pengujian deteksi mobil di slot parkir dilakukan untuk mengetahui sistem deteksi dapat berfungsi dengan baik. Proses deteksi yang dilakukan sistem adalah slot parkir ditandai menjadi ROI (*Region of Interest*). Sistem mendeteksi keberadaan mobil di dalam slot parkir. Slot parkir ditandai dengan *bounding box*. Jika di dalam slot parkir terdeteksi mobil, maka *bounding box* akan berwarna merah. Jika di dalam slot parkir tidak ada mobil terdeteksi, maka *bounding box* akan berwarna hijau. Dokumentasi pengujian deteksi mobil di dalam slot parkir tertera dalam gambar 8.



Gambar 8. Dokumentasi Pengujian Deteksi

Pengujian deteksi dilakukan di setiap video area parkir tempat penelitian dilakukan. Hasil pengujian deteksi sistem parkir dengan metode YoloV5 tertera dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Deteksi YoloV5

NO	Video	Jumlah Mobil	Confusion Matrix		
			TP	FP	FN
1	Testing(1)	3	3	0	0
2	Testing(2)	5	4	0	1
3	Testing(3)	5	4	3	0
4	Testing(4)	4	3	0	1
5	Testing(5)	5	4	0	1
6	Testing(6)	4	4	0	0
7	Testing(7)	2	1	0	1
Total		28	24	3	3

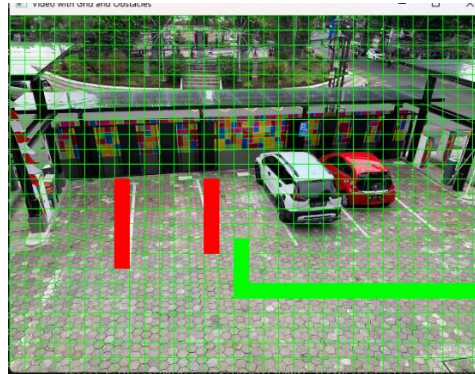
Nilai akurasi didapatkan dari perhitungan confusion matrix dengan menghitung total *True Positive*, *False Negative*, dan *False Positive*. Perhitungan akurasi, presisi, dan *recall* hasil pengujian deteksi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{TP}{TP + FP + FN} \times 100\% & \text{Presisi} &= \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \\
 &= \frac{24}{24 + 2 + 4} \times 100\% & &= \frac{24}{24 + 2} \times 100\% \\
 &= \frac{24}{30} \times 100\% & &= \frac{24}{26} \times 100\% \\
 &= 80\% & &= 92,31\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Recall} &= \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \\
 &= \frac{24}{24 + 4} \times 100\% \\
 &= \frac{24}{28} \times 100\% \\
 &= 85,71\%
 \end{aligned}$$

4.3. Pengujian Path Planning A-Star

Pengujian *path planning* dilakukan untuk mengetahui performa algoritma A* dalam mengarahkan mobil masuk ke slot parkir kosong terdekat dari pintu masuk area parkir. Titik awal sudah ditentukan yaitu dari pintu masuk area parkir. Titik tujuan adalah titik tengah dari slot parkir yang kosong. Dokumentasi *pengujian path planning* ke slot ketersediaan parkir tertera dalam gambar 9.



Gambar 9. Dokumentasi Pengujian *Path Planning*

Pengujian *path planning* dilakukan bersamaan dengan pengujian deteksi. Hasil pengujian *path planning* menggunakan algoritma A* diterangkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Path Planning* Algoritma A*

NO	Video	Tempat Parkir Kosong Terdeteksi	Gambar Arah Menuju Tempat Parkir Kosong
1	<i>Testing(1)</i>	1	Berhasil
2	<i>Testing(2)</i>	1	Berhasil
3	<i>Testing(3)</i>	2	Berhasil
4	<i>Testing(4)</i>	2	Berhasil
5	<i>Testing(5)</i>	1	Berhasil
6	<i>Testing(6)</i>	2	Berhasil
7	<i>Testing(7)</i>	1	Berhasil

Dari hasil pengujian di tabel 3 dapat diketahui bahwa algoritma A* dapat mengarahkan mobil masuk area parkir ke slot parkir kosong terdekat.

4.4. Pembahasan

Setelah melakukan pengujian deteksi objek dan *path planning*. Terungkap bahwa sistem berfungsi dengan baik. Kemampuan deteksi bisa dibilang cukup baik dengan akurasi 80%, presisi 92,31%, dan *recall* 85,71 %. Secara garis besar sistem dapat mendeteksi mobil yang parkir di slot parkir. Namun, sistem memiliki beberapa poin kesalahan deteksi seperti tertera pada tabel pengujian. Saat pengujian terdapat mobil parkir tetapi tidak terdeteksi. Hal ini disebabkan oleh mobil tersebut tampak gelap di kamera dan seperti menyatu dengan warna latar belakang tempat parkir. Hal ini mengakibatkan sistem tidak dapat mendeteksi mobil dengan jelas. Poin kesalahan selanjutnya yaitu terdapat 1 mobil namun terdeteksi menjadi 3 mobil. Hal ini disebabkan mobil tersebut parkir di belakang tiang penyangga bangunan. Sehingga menghasilkan gambar mobil yang terhalang oleh tiang tersebut. Sistem kemudian mendeteksi mobil tersebut menjadi 3 mobil yang sebenarnya hanya ada 1.

Untuk pengujian *path planning* dapat diketahui bahwa sistem dapat mengarahkan mobil ke slot parkir kosong terdekat dengan akurat. Hal ini terbukti dari algoritma A-Star mampu menggambar arah ke slot parkir kosong terdekat di semua video testing. Secara umum gabungan dari YOLO dan A-Star dalam penelitian ini sudah mampu bekerja dengan baik. Perlu dilakukan pembenahan di sistem deteksi.

5. Simpulan

Penelitian ini berhasil menggabungkan model YOLOv5 dan algoritma A* dalam sebuah sistem navigasi parkir otomatis yang efektif. YOLOv5 yang digunakan mampu mendeteksi slot parkir kosong dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Kemudian algoritma A* yang digunakan mampu mengarahkan kendaraan ke slot parkir yang kosong. Hasil ini menunjukkan kombinasi YOLOv5 dan algoritma A* dapat diterapkan secara praktis untuk meningkatkan efisiensi parkir di area perkuliahan dan berpotensi dapat diterapkan di area perbelanjaan dan perkantoran.

Namun, penelitian ini juga memiliki beberapa kekurangan. Pertama, jumlah dataset yang digunakan untuk proses *training* relatif sedikit dan terbatas pada lingkungan parkir kampus. Kedua, sistem ini belum diuji untuk situasi parkir saat banyak kendaraan yang bergerak sekaligus. Maka dari itu, harus dilakukan studi lebih mendalam guna mengatasi kekurangan tersebut, termasuk *training* dengan dataset yang lebih banyak dan beragam serta peningkatan kemampuan model untuk beradaptasi dengan kondisi parkir yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan potensi besar dari penerapan teknologi deteksi objek dan algoritma pencarian jalur untuk solusi parkir otomatis yang lebih efisien dan efektif. Pengembangan dan pengujian lebih lanjut akan sangat bermanfaat untuk membawa sistem ini ke tahap implementasi praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi dan Jenis Kendaraan (unit), 2020 - 2022," Badan Pusat Statistik. Accessed: Feb. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/VjJ3NGRGa3dkRk5MTIU1bVNFOTVVbmQyVURSTVFUMDkjMw==/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-provinsi-dan-jenis-kendaraan-unit-.html?year=2022>
- [2] Thong Peng Hong, A. C. Soh, H. Jaafar, and A. J. Ishak, "Real-Time Monitoring System for Parking Space Management Services," in *2013 IEEE Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)*, IEEE, Dec. 2013, pp. 149–153. doi: 10.1109/SPC.2013.6735122.
- [3] 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, pp. 1–18, Dec. 2023, doi: 10.3390/s23249741.
- [4] A. E. Hamza *et al.*, "Design and implement WSN/IoT smart parking management system using microcontroller," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 10, no. 3, pp. 3108–3115, Jun. 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i3.pp3108-3115.
- [5] S. K. C. Devi and S. K. R. Koppula, "Smart Vehicle Parking Management with IoT Technology," in *AI-Centric Smart City Ecosystems*, vol. 1, Boca Raton: CRC Press, 2022, pp. 149–159. doi: 10.1201/9781003252542-9.
- [6] L. Lou, Q. Li, Z. Zhang, R. Yang, and W. He, "An IoT-Driven Vehicle Detection Method Based on Multisource Data Fusion Technology for Smart Parking Management System," *IEEE Internet Things J*, vol. 7, no. 11, pp. 11020–11029, Nov. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2992431.
- [7] B. Kalaimathi, V. S. Charumathi, T. Aishwarya, M. A. Prasanna, and S. Vijayakumar, "Raspberry PI Based Intelligent Car Parking System," in *2021 Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR)*, Sathyamangalam: IEEE, Oct. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/STCR51658.2021.9588971.
- [8] I. H. Jung, J. M. Lee, and K. Hwang, "Smart Parking Management System Using AI," *Webology*, vol. 19, no. 1, pp. 4629–4638, Jan. 2022, doi: 10.14704/web/v19i1/web19307.
- [9] E. Ektrada, L. Hakim, and S. P. Kristanto, "Sistem Tracking dan Counting Kendaraan Berbasis YOLO untuk Pemetaan Slot Parkir Kendaraan," *Software Development, Digital Business Intelligence, and Computer Engineering*, vol. 1, no. 02, pp. 55–60, Mar. 2023, doi: 10.57203/session.v1i02.2023.55-60.
- [10] E. Tanuwijaya and C. Fatichah, "Penandaan Otomatis Tempat Parkir Menggunakan YOLO Untuk Mendeteksi Ketersediaan Tempat Parkir Mobil Pada Video CCTV," *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 5, no. 1, 2020, doi: 10.28926/briliant.v5i1.434.
- [11] H. Yusriadi, H. Mukhtar, and Soni, "IMPLEMENTASI ALGORITMA A STAR DALAM PENCARIAN RUTE TERPENDEK (SHORTEST PATH PROBLEM) PADA SISTEM PENCARIAN KANTOR POS DI KOTA PEKANBARU," *Journal of Software Engineering and Information Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 111–119, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.37859/seis.v2i1>.
- [12] Z. Deng and D. Wang, "Research on Parking Path Planing Based on A-Star Algorithm," *Journal of New Media*, vol. 5, no. 1, pp. 55–64, Jun. 2023, doi: 10.32604/jnm.2023.040252.
- [13] F. N. Kılıçkaya, M. Taşyürek, and C. Öztürk, "Performance evaluation of YOLOv5 and YOLOv8 models in car detection," *Imaging and Radiation Research*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, Jul. 2024, doi: 10.24294/irr.v6i2.5757.
- [14] A. Ali Abdulazeez Mohammedbaqer Qazzaz and student Ahmed Younus Abdulkadhim, "Car Detection and Features Identification Based on YOLOV5," *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 4049–4056, Feb. 2022.
- [15] M. Azhari, Z. Situmorang, and R. Rosnelly, "Perbandingan Akurasi, Recall, dan Presisi Klasifikasi pada Algoritma C4.5, Random Forest, SVM dan Naive Bayes," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 5, no. 2, pp. 640–651, Apr. 2021, doi: 10.30865/mib.v5i2.2937.
- [16] Y. Yan, "Research on the A Star Algorithm for Finding Shortest Path," *Highlights in Science, Engineering and Technology*, vol. 46, pp. 154–161, Apr. 2023, doi: 10.54097/hset.v46i.7697.