

SKRIPSI
DETEKSI OBJEK DAN JALAN SECARA *REAL*
***TIME* UNTUK KENDALI KEMUDI PADA**
***AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* BERBASIS**
DEEP LEARNING



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh :

FARHAN ABIE ARDANDY

03041381924116

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

LEMBAR PENGESAHAN

DETEKSI OBJEK DAN JALAN SECARA *REAL TIME* UNTUK KENDALI
KEMUDI PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* BERBASIS *DEEP
LEARNING*



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh :

FARHAN ABIE ARDANDY

03041381924116

Palembang, 25 Juli 2023


Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Menyetujui,


Pembimbing Utama


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU.
NIP. 197108141099051005


Dr. Eng Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM.
NIP. 198407302008122001

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya ruang lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1)

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM.

Tanggal : 25/07/23 _____

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Farhan Abie Ardandy
NIM : 03041381924116
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 7 %

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “**Deteksi Objek Dan Jalan Secara Real Time Untuk Kendali Kemudi Pada Autonomous Electric Vehicle Berbasis Deep Learning**”. merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Palembang, 25 Juli 2023



Farhan Abie Ardandy
NIM. 03041381924116

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS ***

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Farhan Abie Ardandy
NIM : 03041381924116
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**DETEKSI OBJEK DAN JALAN SECARA *REAL TIME* UNTUK KENDALI
KEMUDI PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* BERBASIS *DEEP
LEARNING***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang
Pada Tanggal : 25 Juli 2023
Yang menyatakan,


Farhan Abie Ardandy
NIM. 03041381924116

KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah SWT, yang telah memberikan Ridha dan petunjuk-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian “Deteksi Objek Dan Jalan Secara Real Time Untuk Kendali Kemudi Pada Autonomous Electric Vehicle Berbasis Deep Learning”

Penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa arahan, bimbingan, kritik, saran, dukungan dan juga semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini. Dengan rasa hormat dan kerendahan hati, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis, Ayah dan Ibu, serta kedua saudara saya yang telah memberikan doa dan semangat serta dukungan baik yang berbentuk moril maupun materil sehingga saya bisa menyelesaikan studi saya di Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak berkontribusi baik tenaga, waktu dan pikiran dalam membimbing, mendukung dan memberi arahan dalam penelitian ini.
3. Teman teman seperjuangan *Autonomous Electric Vehicle* Dimsyar, Javen, Riski, dan Regita yang telah berkontribusi baik tenaga, waktu, dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian ini.
4. Teman teman angkatan 2019 konsentrasi teknik kendali dan komputer serta teman teman dari klub robotika Universitas Sriwijaya yang telah memberikan semangat serta dukungan dalam mendukung keberhasilan penelitian ini.
5. Orang terdekat Hardhiati Kartika Putri yang telah memberi semangat serta dukungan dalam membantu untuk menyelesaikan penelitian ini serta telah menjadi motivasi dalam menyelesaikan penelitian ini

6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan doa dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan skripsi ini serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca

Palembang, 20 Juli 2023

Penulis

Farhan Abie Ardandy

ABSTRAK

DETEKSI OBJEK DAN JALAN SECARA *REAL TIME* UNTUK KENDALI KEMUDI PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* BERBASIS *DEEP LEARNING*

(Farhan Abie Ardandy, 03041381924116, 2023, 64 Halaman)

Autonomous electric vehicle mempunyai fitur *self-driving* yang dapat mengatur arah kendaraan berjalan. Hal ini dapat dilakukan melalui sensor kamera sebagai *input* kendali kemudi dari *autonomous electric vehicle* untuk mendeteksi jalan dan objek, metode ini disebut *vision based*. Namun, pada penelitian sebelumnya hanya berfokus pada salah satu pendeteksian saja, sehingga pada penelitian ini digabungkan pendeteksian jalan dan objek sebagai *input* kendali kemudi *autonomous electric vehicle*. *Dataset* yang digunakan terdiri dari 5 kelas, yaitu jalan, mobil, motor, orang, dan *roadblocks* diambil di Universitas Sriwijaya kampus Indralaya, Penelitian ini menggunakan algoritma YOLOv8 *instance segmentation* dengan model YOLOv8x-seg yang dilatih sebanyak 100, 200 dan 300 *epochs*. Model terbaik didapat pada 200 *epochs* dengan *segmentation loss* yang paling rendah, yaitu 0.53182. Kemudian, pengujian dilakukan secara simulasi, dimana sistem dapat mendeteksi jalan dan objek dengan baik, dan juga melakukan pengukuran jarak objek dengan baik. Implementasi algoritma *instance segmentation* menggunakan YOLOv8 secara *realtime* untuk mengidentifikasi jalan sebagai *input* kendali kemudi *autonomous electric vehicle* berhasil dilakukan, dimana sistem mampu mengarahkan *autonomous electric vehicle* tidak keluar jalan. Serta sistem dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur jarak terhadap objek dengan rata-rata *error* sebesar 2,245-meter. Hasil jarak ini digunakan sebagai input kendali kemudi *autonomous electric vehicle* untuk menghindari objek.

Kata kunci: *Autonomous Electric Vehicle*, Deteksi, *Segmentation*, *Self-Driving*, YOLO

ABSTRACT

REAL-TIME OBJECT AND ROAD DETECTION FOR STEERING CONTROL IN DEEP LEARNING-BASED AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLES

(Farhan Abie Ardandy, 03041381924116, 2023, 64 page)

Autonomous electric vehicles have a self-driving feature that can control the direction of the vehicle. This can be done through camera sensors as the input for steering control of the autonomous electric vehicle to detect roads and objects, and this method is called vision-based. However, previous research only focused on detecting either roads or objects, so in this study, the detection of roads and objects is combined as the input for steering control of the autonomous electric vehicle. The dataset used consists of 5 classes: roads, cars, motorcycles, people, and roadblocks, taken at Sriwijaya University's Indralaya campus. This study uses the YOLOv8 instance segmentation algorithm with the YOLOv8x-seg model trained for 100, 200, and 300 epochs. The best model was obtained at 200 epochs with the lowest segmentation loss of 0.53182. Then, testing was conducted through simulation, where the system was able to detect roads and objects accurately and measure object distances effectively. The implementation of the instance segmentation algorithm using YOLOv8 in real-time for identifying roads as the input for steering control of the autonomous electric vehicle was successfully performed, where the system was able to keep the autonomous electric vehicle on the road. Additionally, the system can be used to identify and measure the distance to objects with an average error of 2,33 meters. These distance measurements are used as input for the autonomous electric vehicle's steering control to avoid objects.

Keyword: *Autonomous Electric Vehicle, Detection, Segmentation, Self-Driving, YOLO*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Keaslian Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. <i>State of The Art</i>	6
2.2. Pengolahan Citra	11
2.2.1. Segmentasi Gambar	12
2.3. <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	13
2.3.1. <i>Convolution layer</i>	14
2.3.2. <i>Pooling Layer</i>	15
2.3.3. <i>Flatten</i>	15
2.3.4. <i>Softmax</i>	16
2.4. You Only Look Once (YOLO)	16
2.4.1. <i>Intersection Over Union (IoU)</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1. Studi Literatur.....	21

3.2. Pengumpulan <i>Dataset</i>	21
3.3. Perancangan Sistem.....	22
3.3.1. Perancangan <i>Software</i>	24
3.3.2. Perancangan <i>Hardware</i>	25
3.3.2.4. <i>Rotary Encoder</i>	27
3.4. Pengujian Sistem	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 <i>Autonomous Electric Vehicle</i>	30
4.2 Pengumpulan Data Latih	31
4.3 Pelabelan Data Latih	32
4.4 Pra-Pemrosesan Data.....	34
4.5 Model YOLOv8	35
4.6 Pelatihan YOLO	38
4.7 <i>Training Model YOLOv8x-seg</i>	38
4.8 Pengujian secara Simulasi	43
4.8.1 Deteksi jalan	44
4.8.2 Deteksi objek	45
4.9 <i>Region of Interest (ROI) Extraction</i>	46
4.9.1 Perhitungan Sudut Stir	47
4.8.4 Pengujian Keseluruhan Sistem secara Simulasi	50
4.9 Pengujian secara <i>realtime</i>	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pipeline proses HSV [3].....	7
Gambar 2. 2 Pengujian ENet.....	8
Gambar 2. 3 Tahapan steering angle estimation	9
Gambar 2. 4 Confusion Matrix pada [4]	10
Gambar 2. 5 Semantic Segmentation	13
Gambar 2. 6 Arsitektur CNN [18].....	13
Gambar 2. 7 Ilustrasi Proses <i>Convolutional Layer</i>	14
Gambar 2. 8 Pooling Layer	15
Gambar 2. 9 Fully connected layer	16
Gambar 2. 10 Arsitektur YOLO.....	17
Gambar 2. 11 Ilustrasi arsitektur algoritma YOLO [19].....	18
Gambar 2. 12 Nilai IoU (a) buruk, (b) baik, (c) sangat baik.....	18
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian.....	20
Gambar 3. 2 Contoh dataset jalan	22
Gambar 3. 3 Flowchart sistem	24
Gambar 3. 4 Sketsa posisi webcam dan rotary encoder.....	25
Gambar 3. 5 <i>Webcam</i> NYK Nemesis a90.....	26
Gambar 3. 6 Arduino Mega (a), Arduino Nano (b)	27
Gambar 3. 7 Rotary Encoder.....	27
Gambar 3. 8 Driver Motor BTS7650	28
Gambar 3. 9 Rute Pengujian	29
Gambar 4.1 Perancangan alat.....	30
Gambar 4.2 Contoh citra data latih	32
Gambar 4.3 Pelabelan data latih di web <i>Roboflow</i>	33
Gambar 4.4 Data output hasil segmentasi dan anotasi.....	33
Gambar 4. 5 Proporsi kelas	34
Gambar 4.6 Praproses dan augmentasi	35

Gambar 4.7 Arsitektur YOLOv8.....	36
Gambar 4.8 Pemilihan model YOLOv8.....	37
Gambar 4. 9 Summary model YOLOv8x-seg.....	39
Gambar 4.10 Perbandingan <i>training loss</i> ketiga model.....	40
Gambar 4. 11 <i>Metrics</i> hasil <i>training</i> ketiga model	42
Gambar 4.12 Hasil pengujian simulasi dengan data citra foto.....	44
Gambar 4.13 Contoh hasil deteksi jalan	45
Gambar 4.14 Contoh hasil deteksi objek	46
Gambar 4.15 Kalibrasi kamera	47
Gambar 4.16 Sudut stir menunjukkan ke arah luar jalan	48
Gambar 4.17 Rute Pengujian	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Laptop.....	26
Tabel 3. 2 Confusion Matrix	28
Tabel 4. 1 Perbedaan masing masing model YOLOv8.....	38
Tabel 4. 2 Nilai <i>Loss</i> tiap model	41
Tabel 4. 3 Nilai <i>Metrics</i> tiap Model	43
Tabel 4. 4 Sampel hasil pengujian simulasi	50
Tabel 4. 5 Pengujian realtime.....	53
Tabel 4. 6 Pengukuran jarak secara realtime	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Autonomous electric vehicle merupakan salah satu terobosan yang memudahkan manusia dalam bidang transportasi. *Autonomous electric vehicle* mempunyai fitur *self-driving* yang dapat mengatur arah kendaraan berjalan. Kemampuan ini diperoleh dari berbagai sensor seperti GPS, LIDAR, kamera, dan sensor lainnya.

Kamera merupakan sensor yang sangat penting bagi *autonomous electric vehicle*, terutama dalam proses untuk mendeteksi objek yang berada di sekitar kendaraan [1]. Informasi yang didapat oleh kamera kemudian dapat digunakan untuk memprediksi arah kemudi dari kendaraan. Prediksi arah kemudi dengan menggunakan kamera merupakan bentuk metode *vision-based* [2].

Prediksi arah kemudi dari *autonomous electric vehicle* menggunakan metode *vision-based* dapat dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu pendekatan berbasis *computer vision* dan pendekatan berbasis *imitation-learning* [2]. Pendekatan berbasis *computer vision* menggunakan gambar jalan yang berasal dari sebuah *dataset*, atau pengambilan gambar yang berasal dari sebuah kamera yang terpasang di mobil. Kemudian, pada gambar dilakukan *preprocessing* untuk meningkatkan akurasi fitur jalan yang relevan. Pendekatan *computer vision* yang bertujuan untuk memprediksi arah kemudi kendaraan telah banyak dibahas pada beberapa penelitian sebelumnya dengan menggunakan berbagai macam metode. Tiago Almeida mendeteksi jalan menggunakan *deep learning* [1], A.A. Mahersatillah mendeteksi jalan yang tidak berstruktur menggunakan *hue, saturation, value* (HSV) [3], dan Thiago Rateke menggunakan arsitektur U-NET dengan ResNet34 berbasis *convolutional neural network* (CNN) untuk mendeteksi dan membedakan

permukaan jalan dengan mempertimbangkan kerusakan pada permukaan jalan [4]. Pada penelitian lain, Marya Rasib melakukan *semantic segmentation* menggunakan CNN dengan arsitektur *deeplabv3+* [5]. Pendekatan yang kedua yaitu menggunakan pendekatan *imitation-learning*, dimana mesin mempelajari sudut kemudi untuk bergerak pada beberapa skenario yang berbeda menggunakan demonstrasi mengemudi oleh manusia. Pada kasus ini, gambar dan sudut kemudi diambil secara bersamaan saat kendaraan dikemudikan sebagai data latih pada model *artificial neural network* (ANN). Beberapa penelitian yang menggunakan pendekatan ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Tianhao Wu dengan menggunakan *convolutional long short-term memory* (Conv-LSTM) dan *Multi-scale Spatiotemporal Integration* [6], penelitian lain menggunakan *neural network* [7], *deep learning* [8], dan CNN [9].

Kedua pendekatan di atas dapat diterapkan di *autonomous electric vehicle*, namun metode penelitian-penelitian yang menggunakan pendekatan tersebut hanya berfokus pada pendeteksian jalan saja. Pada implementasinya, *autonomous electric vehicle* harus mampu mengenali jalan dan objek secara paralel untuk memprediksi arah kemudi. Keduanya perlu dilakukan agar kendaraan tidak keluar dari jalur, dan kendaraan dapat menghindari objek penghalang yang ada di sekitar kendaraan. Pada penelitian ini, kedua pendeteksian tersebut digabungkan. Pada pendeteksian jalan maupun objek menggunakan pendekatan *computer vision* yang berbasis algoritma *you only look once* (YOLO) yang merupakan pengembangan dari CNN. Hal ini bertujuan untuk dapat menganalisa jalan yang tidak memiliki garis dan batasan jalan yang kurang jelas atau jalan yang tidak terstruktur yang kerap ditemui di Indonesia. Kemudian, pada pendeteksian objek dilakukan secara *real-time* agar kendaraan nantinya mampu menghindari objek yang berada di sekitar kendaraan, dan dapat mengukur jarak antara objek penghalang dan kendaraan [10].

1.2. Perumusan Masalah

Pada implementasinya, deteksi jalan dan deteksi objek harus mampu berjalan secara paralel agar dapat menghasilkan informasi yang dibutuhkan *autonomous electric vehicle* untuk mengendalikan arah kemudi. Namun, penggabungan kedua tugas tersebut pada saat ini belum dapat dilakukan secara *real-time*. Sehingga, pada penelitian ini digunakan pendekatan *computer vision* berbasis YOLO sebagai pendeteksi objek untuk mengukur jarak antara objek dan *autonomous electric vehicle* dan juga pendeteksi jalan sebagai *input* sistem kendali kemudi *autonomous electric vehicle*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan sistem yang dapat mendeteksi jalan dan juga objek secara *real time* dengan menggunakan algoritma YOLO, kemudian melakukan pengukuran jarak antara objek dengan *autonomous electric vehicle*. Hasil deteksi jalan dan objek yang didapat tersebut digunakan sebagai inputan sistem kendali kemudi pada *autonomous electric vehicle*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Objek yang dideteksi meliputi mobil, motor, manusia, dan *road blocks* di sekitar jalan kampus Universitas Sriwijaya.
2. Jalan yang dideteksi berupa jalan yang tidak terstruktur atau jalan yang tidak memiliki marka di kampus Universitas Sriwijaya.
3. Pengambilan citra dan pengujian objek akan dilakukan menggunakan webcam yang terpasang pada *autonomous electric vehicle*.
4. Kecepatan diasumsikan konstan dibawah 10km/jam.
5. Algoritma YOLO *instance segmentation* digunakan untuk mendeteksi objek dan jalan dengan menggunakan platform python.

6. Citra yang menjadi input dalam bentuk *image* atau video.

1.5. Keaslian Penelitian

Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mendeteksi jalan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Tiago Almeida, jalan dideteksi dengan menggunakan pendekatan *deep learning* [1]. Penelitian ini mendeteksi jalan dengan menggunakan *ENet architecture*. Algoritma ini dapat mendeteksi jalan berdasarkan *road lane* dan *semantic segmentation*[1]. Penelitian ini telah dilakukan secara *real-time* dengan menggabungkan kedua algoritma tersebut. Kelebihan dari algoritma tersebut, yaitu jika salah satu algoritma gagal atau mendapatkan hasil yang kurang baik maka algoritma lainnya dapat menjadi *backup* sehingga hasil yang diinginkan dapat diperoleh.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh A.A. Mahersatillah yang menggunakan metode *hue, saturation, value* (HSV) untuk mendeteksi jalan yang tidak berstruktur. *Dataset ADE20K pre-trained model* digunakan dengan memanfaatkan foto menjadi warna HSV sehingga *semantic segmentation* dapat diperoleh [3]. Setelah dilakukan *image processing*, metode ini dapat mendeteksi jalan dengan akurasi 99.49% dan *recall* 99.27% pada cuaca cerah. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada pendeteksian jalan dan tidak membahas tentang memprediksi sistem kendali kemudi otomatis.

Penelitian lain yang bertujuan untuk mendeteksi jalan dilakukan oleh Thiago Rateke [4]. Pada penelitian ini digunakan algoritma CNN dengan arsitektur U-NET dan ResNet34. Penelitian ini dapat mendeteksi keadaan jalan yang beraspal atau tidak beraspal, terdapat *cats-eye, speed-bump*, genangan air, marka jalan, *pothole, strom-drain*, dan retakan pada jalan.

Marya Rasib juga melakukan penelitian berbasis *computer vision* untuk mendeteksi jalan yang tidak berstruktur dengan melakukan *semantic segmentation* pada tiap *pixel* dari sebuah gambar dengan menggunakan algoritma CNN arsitektur ResNet-50 [5]. Akurasi yang didapat dari metode tersebut adalah sebesar 99.02% dengan rata-rata *intersection of union* (IoU)

sebesar 98.19%. Metode ini dapat meningkatkan kemampuan kontrol kemudi pada level 5 *autonomous car* pada jalan yang tidak terstruktur.

Selain kemampuan mengenali jalan, *autonomous vehicle* harus dapat mendeteksi objek di sekitarnya. Pendekatan yang digunakan untuk deteksi objek pada *autonomous vehicle* dapat dilakukan dengan menggunakan *machine learning* dan *deep learning*. Penelitian yang dilakukan Mehdi Masmoudi dkk membandingkan metode *machine learning* dan *deep learning* [11]. Pada metode *machine learning* digunakan algoritma *support vector machine* (SVM), sedangkan pada metode *deep learning* digunakan algoritma YOLO, dan *Single Shot Multibox Detector* (SSD). *Dataset* yang digunakan pada penelitian tersebut adalah Udacity dengan video berdurasi 50 detik yang kemudian dibagi menjadi 1250 *frame*. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan SVM adalah 2 *frame per second* (FPS), YOLO 50-70 FPS, dan SSD 40-60 FPS. SVM tidak dapat diaplikasikan secara *real-time* karena menghasilkan kecepatan yang sangat lambat, sedangkan YOLO dan SSD dapat digunakan secara *real-time* untuk mendeteksi kendaraan dan *obstacles*. Namun, YOLO menghasilkan deteksi citra yang buruk dibandingkan SSD.

Pada penelitian lainnya oleh Mario Gluhaković dkk mendeteksi kendaraan dengan menggunakan *dataset* ImageNet, PASCAL VOC, KITTI, dan video yang diambil secara langsung di kota Osijek dengan kamera GoPro Hero 5 [12]. Algoritma YOLO v2 digunakan untuk mengklasifikasi kendaraan menjadi 4 kelas, yaitu mobil, van, truk, dan bus. Dua *node* ROS juga digunakan, dimana *node* pertama untuk mengukur jarak pada Carla Simulator, dan *node* lainnya digunakan untuk mengukur jarak secara *real time*. Algoritma ini dapat dijalankan secara *real time* dan didapatkan kecepatan rata-rata sebesar 40fps dengan menggunakan *graphic card* Nvidia GTX1060 (3 Gb). Pengukuran jarak akan lebih akurat jika objek berada pada jarak yang dekat dan menjadi semakin memburuk ketika objek menjauh dari kamera bahkan objek tidak terdeteksi pada jarak lebih dari 50 meter. Pengujian juga dilakukan pada cuaca hujan dan pada malam hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Almeida, B. Lourenço, and V. Santos, “Road detection based on simultaneous deep learning approaches,” *Rob Auton Syst*, vol. 133, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.robot.2020.103605.
- [2] H. Saleem, F. Riaz, L. Mostarda, M. A. Niazi, A. Rafiq, and S. Saeed, “Steering Angle Prediction Techniques for Autonomous Ground Vehicles: A Review,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 78567–78585, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3083890.
- [3] A. A. Mahersatillah, Z. Zainuddin, and Y. Yusran, “Unstructured Road Detection and Steering Assist Based on HSV Color Space Segmentation for Autonomous Car,” *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020*, pp. 688–693, Dec. 2020, doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315452.
- [4] T. Rateke and A. von Wangenheim, “Road surface detection and differentiation considering surface damages,” *Auton Robots*, vol. 45, no. 2, pp. 299–312, Feb. 2021, doi: 10.1007/s10514-020-09964-3.
- [5] M. Rasib, M. A. Butt, F. Riaz, A. Sulaiman, and M. Akram, “Pixel Level Segmentation Based Drivable Road Region Detection and Steering Angle Estimation Method for Autonomous Driving on Unstructured Roads,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 167855–167867, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3134889.
- [6] W. Tianhaou, L. Ao, H. Rui, C. Hong, and Z. Yang, “End-to-End Driving Model for Steering Control of Autonomous Vehicles with Future Spatiotemporal Features,” *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* Macau, China, November 4-8, 201.

- [7] T. Vilas Samak, C. Vilas Samak, and S. Kandhasamy, “Robust Behavioral Cloning for Autonomous Vehicles using End-to-End Imitation Learning”.
- [8] H. Haavaldsen, M. Aasboe, and F. Lindseth, “Autonomous Vehicle Control: End-to-end Learning in Simulated Urban Environments,” May 2019, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1905.06712>
- [9] T. Van Orden and A. Visser, “End-to-end Imitation Learning for Autonomous Vehicle Steering on a Single Camera Stream”.
- [10] I. Valiant Fanthony, Z. Husin, H. Hikmarika, S. Dwijayanti, and B. Yudho Suprpto, “YOLO Algorithm-Based Surrounding Object Identification on Autonomous Electric Vehicle”.
- [11] M. Mehdi, G. Hakim, F. Mounir, and M. Yehia, “Object Detection Learning Techniques for Autonomous Vehicle Applications,” M. Mehdi, G. Hakim, F. Mounir, and M. Yehia, Eds., 2019 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES).
- [12] G. Mario and Marijan Herceg, “Vehicle Detection in the Autonomous Vehicle Environment for Potential Collision Warning,”
- [13] A. Paszke, A. Chaurasia, S. Kim, and E. Culurciello, “ENet: A Deep Neural Network Architecture for Real-Time Semantic Segmentation,” Jun. 2016, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1606.02147>
- [14] T. Rateke, K. A. Justen, and A. von Wangenheim, “Road surface classification with images captured from low-cost camera-road traversing knowledge (RTK) dataset,” *Revista de Informatica Teorica e Aplicada*, vol. 26, no. 3, pp. 50–64, 2019, doi: 10.22456/2175-2745.91522.
- [15] Aulia Ghaida, Hera Hikmarika, Suci Dwijayanti, and Bhakti Yudho Suprpto, “Road and Vehicles Detection System Using HSV Color Space for Autonomous Vehicle,” pp. 1–12, Jun. 2020.

- [16] A. M. Rafli and S. Dwijayanti, “Deteksi Jalan Di Sekitar Autonomous Electric Vehicle Berbasis Algoritma Convolutional Neural Network (CNN),” 2020.
- [17] S. Minaee, Y. Boykov, F. Porikli, A. Plaza, N. Kehtarnavaz, and D. Terzopoulos, “Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey,” *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 44, no. 7, pp. 3523–3542, Jul. 2022, doi: 10.1109/TPAMI.2021.3059968.
- [18] Saha Sumit, “A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks — the ELI5 way,” Dec. 16, 2018. <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53> (accessed Dec. 16, 2022).
- [19] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” Jun. 2015, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1506.02640>
- [20] M. Hermawan, Z. Husin, H. Hikmarika, S. Dwijayanti, and B. Y. Suprpto, “Road Identification using Convolutional Neural Network on Autonomous Electric Vehicle,” Oct. 2021.
- [21] Roboflow, “Roboflow,” May 25, 2023. <https://roboflow.com/> (accessed Jul. 03, 2023).
- [22] Ultralytics, “Ultralytics YOLOv8 Docs.” <https://docs.ultralytics.com/> (accessed Jul. 03, 2023).
- [23] P. Pias, ““Object Detection and Distance Measurement,” <https://github.com/paul-pias/Object-Detection-and-Distance-Measurement>, Jun. 20, 2019.