

SKRIPSI

**DESAIN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS
SENSOR FUSION DENGAN ALGORITMA *HYBRID*
DEEP LEARNING DAN *PATH PLANNING***



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh :

DIMSYIAR M AL HAFIZ

03041281924030

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *SENSOR FUSION* DENGAN ALGORITMA *HYBRID DEEP LEARNING* DAN *PATH* *PLANNING*



SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh:

DIMSYIAR M AL HAFIZ

03041281924030

Palembang, 25 Juli 2023

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

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

NIP. 198407302008122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro




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

NIP. 197108141999031005

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencukupi sebagai mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan

:  _____

Pembimbing Utama

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

Tanggal

: 25/Juli/2023

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dimsyiar M Al Hafiz
NIM : 03041281924030
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 1%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Desain *Autonomous Vehicle* Berbasis *Sensor Fusion* Dengan Algoritma *Hybrid Deep Learning* dan *Path Planning*” 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



Dimsyiar M Al Hafiz

NIM.03041281924030

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

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

Nama : Dimsyiar M Al Hafiz

NIM : 03041281924030

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

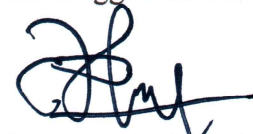
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**DESAIN AUTONOMOUS VEHICLE BERBASIS SENSOR FUSION
DENGAN ALGORITMA HYBRID DEEP LEARNING DAN PATH
PLANNING**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/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



Dimsyiar M Al Hafiz

NIM.03041281924030

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT Tuhan semesta alam yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Desain *Autonomous Vehicle* Berbasis *Sensor Fusion* Dengan Algoritma *Hybrid Deep Learning* dan *Path Planning*”. Sholawat bertangkaikan salam semoga selalu tercurah ke hadirat Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya.

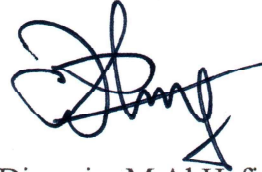
Skripsi ini penulis buat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan penulis dedikasikan untuk mendiang ayah Ir. Bahruddin BS (alm) yang telah pergi dalam waktu singkat. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu NS Pratina Rofiah, S. H., M. Si. selaku ibu kandung yang saya cintai yang selalu memberikan dukungan moral dan doa selama menempuh penelitian dan masa studi.
2. Saudara-saudari Bahruddin’s Family yang selalu siap menjadi support system.
3. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S. T., M.S., IPM selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan dukungan dan arahan.
4. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M. T., IPM selaku dosen yang berperan sebagai pencetus dan pemantik pada penelitian ini.
5. Bapak M. Irfan Jambak, S. T., M. Eng., Ph. D. selaku dosen pembimbing akademik selama masa studi.
6. Farhan Abie Ardandy, Javen Jonathan, dan teman-teman satu tim penelitian *Auntonomous Vehicle*.
7. Teman-teman seperjuangan grup Ashabul Jannah yang telah memberikan warna selama masa studi.
8. Keluarga besar klub robotika Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak cerita.

Dan pihak-pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penelitian tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Palembang, 25 Juli 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dimsyar M Al Hafiz', written in a cursive style.

Dimsyar M Al Hafiz

NIM.03041281924030

ABSTRAK
DESAIN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *SENSOR FUSION*
DENGAN ALGORITMA *HYBRID DEEP LEARNING* DAN *PATH*
PLANNING

(Dimsyiar M Al Hafiz, 03041281924030, 2023, 88 halaman)

Autonomous vehicle membutuhkan berbagai sensor yang mampu mendukung memenuhi tugasnya agar dapat berjalan secara otomatis. Penggunaan sensor menjadi satu kesatuan tersebut perlu ialah *sensor fusion*. Namun, kebanyakan penelitian yang telah dilakukan lebih berfokus untuk *sensor fusion* pada satu tugas sehingga pada penelitian ini lebih difokuskan pada *sensor fusion* dengan tugas yang berbeda menggunakan *deep learning* untuk melakukan *object-road* detection dan *path planning* menggunakan algoritma A*. Pengujian dilakukan secara *real time* dengan dua rute yang berbeda, dimana rute tersebut merepresentasikan kondisi yang umum ditemui di Indonesia. *Sensor fusion* ini memiliki mikrokontroler *master* sebagai pengendali utama dan *slave*. Perintah berupa penggerakkan motor ataupun penghentian motor dilakukan oleh mikrokontroler *master* dengan data yang diterima ialah data hasil *path planning*, *object-road detection*, rpm, *steering angle*, dan magnetometer. Sedangkan, mikrokontroler *slave* berperan sebagai pengakses dan pengirim data sensor, seperti GPS, magnetometer, dan encoder. Pada rute pengujian pertama, *autonomous vehicle* beberapa kali menabrak pembatas jalan sehingga pada pengujian rute kedua dilakukan perubahan pada beberapa parameter, seperti pembagi *steering angle* dan rentang pwm roda kemudi untuk mengatasi masalah tersebut. Pada setiap pengujian, *autonomous vehicle* dapat mengikuti jalan dan mengikuti rute yang merupakan hasil dari program *path planning*. Namun pada beberapa *node* rute terkadang tidak tercapai sehingga membutuhkan peranan pengemudi untuk mengendalikan *autonomous vehicle* secara manual untuk mencapai *node* tersebut. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan *sensor fusion* dengan tugas yang berbeda berhasil dilakukan dan dapat dijalankan pada *autonomous vehicle* level ketiga.

Kata kunci: *sensor fusion*, mikrokontroler *master*, mikrokontroler *slave*, *path planning*, *object-road detection*.

ABSTRACT
**THE DESIGN OF AN AUTONOMOUS VEHICLE BASED ON SENSOR
FUSION WITH A HYBRID DEEP LEARNING AND PATH PLANNING
ALGORITHM**

(Dimsyiar M Al Hafiz, 03041281924030, 2023, 88 pages)

Autonomous vehicles require various sensors that can support and fulfill their tasks to operate automatically. The integration of these sensors into a unified system is achieved through sensor fusion. However, most of the previous research has focused on sensor fusion for a single task. In this study, the focus is on sensor fusion with different tasks using deep learning to perform object-road detection and path planning using the A algorithm. Real-time testing is conducted on two different routes, representing common conditions found in Indonesia. This sensor fusion system consists of a master microcontroller as the main controller and slave microcontrollers. The master microcontroller issues commands for motor movement or motor stop based on the data received, which includes results from path planning, object-road detection, rpm, steering angle, and magnetometer. Meanwhile, the slave microcontroller acts as an access point and data transmitter for various sensors, such as GPS, magnetometer, and encoder. During the first route testing, the autonomous vehicle encountered several collisions with road barriers. Therefore, in the second route testing, some parameters were adjusted, such as steering angle division and steering wheel PWM range, to address the issue. In each test, the autonomous vehicle was able to follow the road and the planned route. However, at certain route nodes, it was unable to reach them, requiring the intervention of the driver to manually control the autonomous vehicle and reach those nodes. Based on the test results, it is shown that sensor fusion with different tasks can be successfully implemented and operated in a third-level autonomous vehicle.*

Keywords: *sensor fusion, master microcontroller, slave microcontroller, path planning, object-road detection.*

DAFTAR ISI

COVER	I
LEMBAR PENGESAHAN	II
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	III
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	IV
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	V
KATA PENGANTAR.....	VI
ABSTRAK	VIII
ABSTRACT.....	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR GAMBAR.....	XIII
DAFTAR TABEL.....	XVI
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Keaslian Penelitian.....	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>State of The Art</i>	6
2.2 <i>Sensor Fusion</i>	13
2.3 <i>Localization</i>	15
2.3.1 <i>Path Planning</i>	17
2.3.2 <i>A-Star</i>	18

2.4 <i>Object Detection and Image Segmentation</i>	19
2.4.1 <i>You Only Look Once</i>	21
BAB III	23
METODE PENELITIAN	23
3.1 Studi Literatur.....	23
3.2 Perancangan Sistem	24
3.2.1 Perancangan Sistem <i>Path Planning</i>	25
3.2.2 Perancangan Sistem <i>Object-Road Detection</i>	26
3.2.3 Perancangan <i>Software</i>	28
3.2.4 Perancangan <i>Hardware</i>	29
3.2.4.1 Pengendali Utama	31
3.2.4.2 Mikrokontroler.....	31
3.2.4.2.1 Mikrokontroler <i>Slave</i>	31
3.2.4.2.2 Mikrokontroler <i>Master</i>	32
3.2.4.3 <i>Webcam</i> NYK A90.....	32
3.2.4.4 GPS Ublox Neo M8N	33
3.2.4.5 <i>Rotary Encoder</i> Omron E6B2.....	33
3.2.4.6 Motor <i>Shunt</i> 48V	34
3.2.4.7 <i>Driver Motor</i> BTS7960	34
3.2.4.9 <i>Speed Controller</i> Curtis 1266.....	35
3.2.4.10 <i>Servo</i> MG995.....	35
3.2.4.11 <i>Steering Motor</i>	36
3.3 Pengujian Sistem	36
BAB IV	38
HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Perancangan Alat	38
4.2 Pengujian Sistem	41
4.2.1 Pengujian Sistem <i>Path Planning</i>	41
4.2.2 Pengujian Sistem <i>Object-Road Detection</i>	43
4.2.3 Pengujian Sistem Pengendali	45
4.2.3.1 Mikrokontroler <i>Slave</i>	45

4.2.3.2 Pengendali Utama	48
4.2.3.3 Mikrokontroler <i>Master</i>	50
4.3 Pengujian Keseluruhan Sistem	51
4.3.1 Pengujian Rute 1	51
4.3.1 Pengujian Rute 2	58
BAB V	65
KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Electric Vehicle Mitsubishi IMiev [15]	6
Gambar 2.2 VINS-GNSS System [16].....	7
Gambar 2.3 Alur Proses Lokalisasi [17].....	8
Gambar 2.4 Representasi CTRV dari Objek [18]	9
Gambar 2.5 Arsitektur Cross Fusion [11].....	10
Gambar 2.6 Error Jarak pada Algoritma yang Berbeda [12]	11
Gambar 2.7 Hasil Deteksi CRF-Net [13].....	11
Gambar 2.8 Arsitektur LINS on Wheel [14].....	12
Gambar 2.9 Joint Directors of Laboratories (JDL) Model [20]	14
Gambar 2.10 Pembagian Sistem Range-Based Positioning [22].....	16
Gambar 2.11 Metode Path Planning [24].....	17
Gambar 2.12 Object Detection [26].....	19
Gambar 2.14 Sistem YOLO [29]	21
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	24
Gambar 3.3 Flowchart Sistem.....	25
Gambar 3.4 Flowchart Path Planning	26
Gambar 3.5 Flowchart Object-Road Detection.....	28
Gambar 3.6 Diagram Software yang Dirancang.....	29
Gambar 3.7 Sketsa Posisi Hardware	30
Gambar 3.8 Rancangan Hardware Autonomous Vehicle	30
Gambar 3.9 Mikrokontroler Slave Arduino Mega (a), dan Arduino Nano (b).....	32
Gambar 3.10 Mikrokontroler Master	32
Gambar 3.11 Webcam NYK A90	33
Gambar 3.12 GPS Ublox Neo M8N	33
Gambar 3.13 Rotary Encoder Omron E6B2	34
Gambar 3.14 Motor Shunt 48V.....	34
Gambar 3.15 Driver Motor BTS7960.....	35
Gambar 3.16 Speed Controller Curtis 1266.....	35
Gambar 3.17 Servo MG995	36
Gambar 3.18 Steering Motor.....	36

Gambar 3.19 Peta Rute Terjauh Pengujian Sistem	37
Gambar 4.1 Autonomous Vehicle Tampak Depan (a), Tampak Samping (b).....	38
Gambar 4.2 Motor Shunt 48V dan Encoder Penghitung RPM.....	39
Gambar 4.3 Roda Kemudi dan Encoder Penghitung Steering Angle	39
Gambar 4.4 Speed Controller.....	40
Gambar 4.5 Tampak Keseluruhan Komponen Autonomous Vehicle.....	40
Gambar 4.6 Hasil Program Path Planning (a) dan Rute yang Dipilih Tampak pada Peta (b)	42
Gambar 4.7 Data Perintah Yang Terkirim Maju (a), Kanan (b), Kiri (c), dan Stop (d)	43
Gambar 4.8 Hasil Deteksi Objek YOLOv8: Jalan dan Mobil (a), Jalan dan Motor (b), dan Jalan dan Orang (c).....	44
Gambar 4.9 Data Hasil Pendeteksian Objek dan Jalan yang Terkirim	45
Gambar 4.10 Program Penghitung Nilai RPM	46
Gambar 4.11 Program Pembatasan Nilai Steering Angle dan Pengiriman Nilai RPM dan Steering Angle	47
Gambar 4.12 Hasil Pengiriman Data RPM dan Steering Angle	48
Gambar 4.13 Fungsi Scaling Nilai	49
Gambar 4.14 Data Perintah Terkirim ke STM32.....	50
Gambar 4.15 Rute 1 Pengujian Sistem (a) dan Grafik Koordinat Hasil Uji (b) ...	52
Gambar 4.16 Hasil Pengiriman Perintah Pergerakan.....	53
Gambar 4.17 Kalibrasi Kamera yang Benar (a) dan Salah (b)	54
Gambar 4.18 Grafik Hasil Steering Angle Deteksi Objek dan Jalan.....	54
Gambar 4.19 Hasil Deteksi Belokan Patah Kiri 5° (a) dan Kanan 65° (b).....	55
Gambar 4.20 Grafik Hasil Steering Angle Encoder Roda Kemudi	55
Gambar 4.21 Kondisi yang Memerlukan Peranan Pengemudi pada Rute Persimpangan FH FE – FKIP.....	56
Gambar 4.22 Kondisi yang Memerlukan Peranan Pengemudi di Jalan Berbelok (a) dan Persimpangan (b) pada Rute Persimpangan FKIP – Dekanat FT	56
Gambar 4.23 Grafik Data RPM	57
Gambar 4.24 Kondisi Terdapat Pengguna Jalan Lain.....	57
Gambar 4.25 Rute 2 Pengujian Sistem (a) dan Grafik Koordinat Hasil Uji (b) ...	59

Gambar 4.26 Kondisi Autonomous Vehicle yang Berbelok pada Persimpangan	60
Gambar 4.27 Hasil Pengiriman Perintah Pergerakan.....	61
Gambar 4.28 Grafik Hasil Steering Angle Deteksi Objek dan Jalan.....	61
Gambar 4.29 Kondisi Jalan pada Belokan Persimpangan pada Rute FE-Dekanat FT (a) dan Perpustakaan – FE (b)	62
Gambar 4.30 Grafik Hasil Steering Angle Encoder Roda Kemudi dalam	62
Gambar 4.31 Grafik Data RPM	63
Gambar 4.32 Kondisi Autonomous Vehicle Tidak Mencapai Node pada Rute Pengujian Perpustakaan-FE	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Laptop Yang Digunakan.....	31
Tabel 4.1 Perintah Pergerakan	42
Tabel 4.2 Susunan Array Hasil Object-Road Detection	44
Tabel 4.3 Susunan Array dari Mikrokontroler Slave	47
Tabel 4.4 Susunan Array yang Dikirimkan dari Pengendali Utama ke STM32 ...	49
Tabel 4.5 Nilai Representasi Servo.....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Autonomous vehicle merupakan kendaraan yang dapat beroperasi secara otomatis. Otomatisasi pada *autonomous vehicle* memiliki arti bahwa kendaraan mampu untuk beroperasi tanpa adanya pengemudi yang mengendalikan kendaraan tersebut. Dalam beberapa tahun terakhir ini, riset mengenai *autonomous vehicle* terus berkembang secara pesat. Hal ini dikarenakan kendaraan ini memberikan keuntungan, seperti dapat mengurangi polusi dan memberikan kemudahan kepada pengguna [1].

Kemudahan *autonomous vehicle* pada pengguna didapatkan dari fitur otomatisasi pada kendaraan tersebut. Ada 6 tingkatan kelas otomatisasi pada *autonomous vehicle* mulai dari tanpa otomatisasi hingga ke otomatisasi secara penuh [2]. Pada level paling rendah, yaitu *no automation* atau tanpa otomatisasi, dimana tugas pengendalian pada *autonomous vehicle* dilakukan oleh pengemudi secara keseluruhan. Selanjutnya, pada level pertama disebut dengan *driver assistance* atau bantuan pengemudi. Hal ditandai dengan sistematisasi dari roda kemudi dan percepatan/perlambatan sudah mulai dibantu oleh sistem. Pada level kedua disebut dengan *partial automation* atau otomatisasi sebagian, dimana sistematisasi roda kemudi serta percepatan/perlambatan sepenuhnya dijalankan oleh sistem. Namun untuk pengenalan lingkungan sekitar kendaraan masih dilakukan oleh pengemudi. Kemudian, pada level ketiga adalah *conditional automation* atau otomatisasi bersyarat. Pada level ini, fungsi kemudi dan percepatan/perlambatan serta pengenalan lingkungan sekitar dijalankan sepenuhnya oleh sistem namun peranan pengemudi masih diperlukan untuk berjaga-jaga apabila terjadi kegagalan pada sistem *self-drive*. Perbedaan antara level ketiga hingga ke tingkatan selanjutnya terletak pada peranan pengemudi, dimana pada level ketiga diperlukan peranan pengemudi untuk berjaga-jaga sedangkan pada level keempat dan kelima tidak diperlukan lagi peranan pengemudi dikarenakan sistem telah memegang kendali secara penuh pada *autonomous vehicle*.

Pada penelitian ini, *autonomous vehicle* yang dibuat berada pada tingkatan ketiga, yaitu *conditional automation* dimana tugas pengemudian serta tugas pengenalan lingkungan sekitar dijalankan oleh sistem namun masih diperlukan peranan pengemudi untuk berjaga-jaga apabila terjadi kegagalan pada fitur *self-drive*. Penelitian mengenai mekanisme kemudi, percepatan, dan pengereman secara *autonomous* telah dilakukan oleh sejumlah peneliti, seperti penggunaan *wormed-gear* DC motor [3] dan *planetary gear* DC motor [4]. Kemudian terdapat juga penggunaan berbagai metode pada eksekusi sistem kemudi, seperti *fuzzy* [5], *proportional integrative derivative* (PID) [6], penggabungan *fuzzy* dan PID [7], *model predictive control* (MPC) [8], dan kontrol adaptif [9].

Tidak hanya mekanisme pengemudian, tugas untuk mengenali lingkungan sekitar juga merupakan hal yang harus dipenuhi agar *autonomous vehicle* memenuhi syarat masuk ke dalam level 3 dari taksonomi. Ada berbagai sensor yang dapat digunakan untuk mengenali lingkungan dan sensor yang umumnya digunakan berupa kamera, radar, lidar, *global positioning system* (GPS), dan *inertial measurement unit* (IMU) [10]. Masing-masing sensor memiliki kelebihan dan kekurangan. Sehingga, penggunaan lebih dari satu jenis sensor biasa digunakan pada *autonomous vehicle* untuk menutupi kekurangan yang dimiliki oleh masing-masing sensor serta meningkatkan akurasi. Sebelumnya, berbagai sensor telah menjadi pembahasan pada sejumlah penelitian, seperti kamera-lidar [11], GPS-IMU [12], radar-kamera [13], dan lidar-IMU-encoder [14].

Dari berbagai penelitian tersebut, penggabungan sensor yang dilakukan hanya bertujuan untuk melakukan satu tugas tertentu, seperti kamera dan lidar digunakan untuk mendeteksi jalan [11]. Lalu, radar dan kamera digunakan untuk mendeteksi objek yang berada di jalanan [13]. Kemudian, GPS dan IMU digunakan untuk navigasi *autonomous vehicle* [12] serta penggunaan lidar, IMU, dan encoder untuk melakukan lokalisasi [14].

Meskipun berbagai jenis sensor digabungkan tetapi penggunaannya masih berfokus pada satu fungsi, seperti hanya mendeteksi objek atau mendeteksi jalan. Padahal seharusnya, *autonomous vehicle* membutuhkan kemampuan untuk menggabungkan keseluruhan tugas baik deteksi jalan, objek, dan navigasi dengan

menggabungkan semua sensor menjadi satu kesatuan sehingga mempermudah *autonomous vehicle* dalam melakukan *task* atau yang dikenal sebagai *sensor fusion*. Sehingga, pada penelitian ini dilakukan penggabungan berbagai sensor untuk menjalankan sejumlah tugas pada *autonomous vehicle*, yang meliputi metode *path planning* untuk lokalisasi dan *object-road detection* untuk navigasi pada *autonomous vehicle*.

1.2 Perumusan Masalah

Autonomous vehicle adalah kendaraan yang dapat beroperasi secara otomatis. Agar dapat berjalan secara otomatis diperlukan adanya sensor yang mampu mendukung *autonomous vehicle* memenuhi tugasnya. Biasanya, penggabungan sensor (*sensor fusion*) dilakukan untuk menutupi kekurangan satu sensor dengan sensor lainnya. Penggabungan sensor ini diharuskan untuk melakukan tugas *autonomous vehicle* secara keseluruhan. Namun, penggabungan sensor yang dilakukan hanya untuk satu tugas tertentu dan bukan untuk beberapa tugas. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan *sensor fusion* yang menggabungkan lebih dari satu tugas untuk meningkatkan performansi dari *autonomous vehicle* dalam menjalankan tugas-tugasnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *autonomous vehicle* level ketiga menggunakan *sensor fusion* yang bertujuan untuk *path planning* dan *object-road detection*.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Autonomous vehicle* yang dibuat masuk ke dalam level 3 dari taksonomi *Society of Automotive Engineers* (SAE).
2. *Sensor fusion* yang digunakan merupakan gabungan dari kamera, GPS, magnetometer, dan encoder.
3. *Autonomous vehicle* beroperasi di kampus Universitas Sriwijaya.
4. *Path planning* menggunakan algoritma A-Star.
5. *Object detection* dan *road detection* menggunakan metode *You Only Look Once* (YOLO).

6. Penentuan *steering angle* dengan asumsi kecepatan konstan.
7. Objek yang dideteksi adalah manusia, mobil, motor dan *road block*.
8. Jalan yang dideteksi berupa jalan yang tidak terstruktur.

1.5 Keaslian Penelitian

Ada beberapa penelitian yang telah membahas mengenai *sensor fusion*. Luca Caltagirone dkk. pada penelitiannya menggunakan lidar dan kamera untuk melakukan pendeteksian jalan. Pendeteksian jalan yang dilakukan menggunakan *deep learning*, yaitu *fully convolutional neural networks*. Arsitektur *neural network* yang dirancang sendiri tersebut memiliki nilai akurasi sebesar 96.03% [11].

Penelitian berikutnya yang telah dilakukan oleh Yahui Liu dkk. menggabungkan GPS dan IMU untuk navigasi pada *autonomous vehicle*. Penelitian ini dilakukan menggunakan Kalman Filter adaptif dengan tujuan untuk mengatasi *noise* yang berasal dari sensor itu sendiri. Nilai GPS dan IMU yang didapat akan diproses menggunakan dSpace dan MATLAB/Simulink. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai GPS dan IMU yang difilter menggunakan Kalman Filter adaptif yang diajukan pada penelitian tersebut memiliki nilai akurasi 20% lebih tinggi dibandingkan dengan Kalman Filter adaptif tradisional [12].

Kemudian, penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Felix Nobis dkk. menggabungkan radar dan kamera. Kedua sensor ini digabungkan dengan tujuan untuk mendeteksi objek yang berada di jalanan. Objek yang dideteksi berupa mobil, bus, motor, truk, *trailer*, sepeda, dan manusia. Peneliti membuat sebuah *neural network* sendiri yang diberi nama *CameraRadarFusion-Net* (CRF-Net) [13]. Penelitian ini menunjukkan bahwa arsitektur *neural network* yang mereka rancang mampu untuk meningkatkan nilai deteksi dalam pendeteksian objek yang berada di jalanan dibandingkan dengan deteksi yang hanya berupa citra yang berasal dari kamera.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Shaojiang Zhang dkk. yang melakukan penggabungan sensor berupa lidar, IMU, dan encoder. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan lokalisasi pada *autonomous vehicle*. Alasan penelitian ini tidak menggunakan GPS untuk lokalisasi dikarenakan sinyal GPS akan melemah pada lingkungan sekitar dengan bangunan-bangunan tinggi ataupun di

dalam terowongan. Setelah nilai lokalisasi didapatkan dari lidar dan IMU, nilai tersebut dijadikan inputan untuk mengontrol roda kemudi dan *throttle*. Kemudian, *Extended Kalman Filter* digunakan untuk menggabungkan informasi yang didapat dari ketiga sensor. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ketahanan dan akurasi posisi *autonomous vehicle* dapat memenuhi kebutuhan teknis [14].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. Fagnant and K. Kockelman, “Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 77, pp. 167–181, 2015, doi: 10.1016/j.tra.2015.04.003.
- [2] SAE International, “Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems,” 2014. https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/
- [3] M. Vignati, D. Tarsitano, M. Bersani, and F. Cheli, “Autonomous Steer Actuation for an urban Quadricycle,” *2018 Int. Conf. Electr. Electron. Technol. Automotive, Automot. 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.23919/EETA.2018.8493199.
- [4] W. Zhao, H. Zhang, and Y. Li, “Displacement and force coupling control design for automotive active front steering system,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 106, pp. 76–93, 2018, doi: 10.1016/j.ymssp.2017.12.037.
- [5] H. Halin *et al.*, “Design Simulation of a Fuzzy Steering Wheel Controller for a buggy car,” *2018 Int. Conf. Intell. Informatics Biomed. Sci. ICIIBMS 2018*, vol. 3, pp. 85–89, 2018, doi: 10.1109/ICIIBMS.2018.8550008.
- [6] T. D. Do, M. T. Duong, Q. V. Dang, and M. H. Le, “Real-Time Self-Driving Car Navigation Using Deep Neural Network,” *Proc. 2018 4th Int. Conf. Green Technol. Sustain. Dev. GTSD 2018*, pp. 7–12, 2018, doi: 10.1109/GTSD.2018.8595590.
- [7] J. Guo, P. Hu, and R. Wang, “Nonlinear Coordinated Steering and Braking Control of Vision-Based Autonomous Vehicles in Emergency Obstacle Avoidance,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 11, pp. 3230–3240, 2016, doi: 10.1109/TITS.2016.2544791.
- [8] C. Huang, F. Naghdy, and H. Du, “Model predictive control-based lane change control system for an autonomous vehicle,” *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, pp. 3349–3354, 2017, doi: 10.1109/TENCON.2016.7848673.

- [9] Z. Ercan, M. Gokasan, and F. Borrelli, “An adaptive and predictive controller design for lateral control of an autonomous vehicle,” *2017 IEEE Int. Conf. Veh. Electron. Safety, ICVES 2017*, pp. 13–18, 2017, doi: 10.1109/ICVES.2017.7991894.
- [10] Z. Wang, Y. Wu, and Q. Niu, “Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 2847–2868, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962554.
- [11] L. Caltagirone, M. Bellone, L. Svensson, and M. Wahde, “LIDAR–camera fusion for road detection using fully convolutional neural networks,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 111, pp. 125–131, 2019, doi: 10.1016/j.robot.2018.11.002.
- [12] Y. Liu, X. Fan, C. Lv, J. Wu, L. Li, and D. Ding, “An innovative information fusion method with adaptive Kalman filter for integrated INS/GPS navigation of autonomous vehicles,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 100, pp. 605–616, 2018, doi: 10.1016/j.ymsp.2017.07.051.
- [13] F. Nobis, M. Geisslinger, M. Weber, J. Betz, and M. Lienkamp, “A Deep Learning-based Radar and Camera Sensor Fusion Architecture for Object Detection,” *2019 Symp. Sens. Data Fusion Trends, Solut. Appl. SDF 2019*, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1109/SDF.2019.8916629.
- [14] S. Zhang, Y. Guo, Q. Zhu, and Z. Liu, “Lidar-IMU and Wheel Odometer Based Autonomous Vehicle Localization System,” *2019 Chinese Control Decis. Conf.*, pp. 4950–4955, 2019.
- [15] M. Á. de Miguel, F. M. Moreno, F. García, J. M. Armingol, and R. E. Martin, “Autonomous Vehicle Architecture for High Automation,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 12014 LNCS, pp. 145–152, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-45096-0_18.
- [16] W. Ren, K. Jiang, X. Chen, T. Wen, and D. Yang, “Adaptive sensor fusion of camera, GNSS and IMU for autonomous driving navigation,” *2020 4th CAA Int. Conf. Veh. Control Intell. CVCI 2020*, no. Cvci, pp. 113–118, 2020, doi: 10.1109/CVCI51460.2020.9338655.

- [17] X. Wang, Y. Lian, and L. Li, “Localization of Autonomous Cars Using Multi-Sensor Data Fusion,” *Proc. 2018 Chinese Autom. Congr. CAC 2018*, pp. 4152–4155, 2019, doi: 10.1109/CAC.2018.8623782.
- [18] Y. Wang, D. Liu, and E. Matson, “Accurate Perception for Autonomous Driving: Application of Kalman Filter for Sensor Fusion,” *2020 IEEE Sensors Appl. Symp. SAS 2020 - Proc.*, pp. 0–5, 2020, doi: 10.1109/SAS48726.2020.9220083.
- [19] A. Stateczny, M. Włodarczyk-Sielicka, and P. Burdziakowski, “Sensors and sensor’s fusion in autonomous vehicles,” *Sensors*, vol. 21, no. 19, pp. 1–4, 2021, doi: 10.3390/s21196586.
- [20] N. Milisavljevic, Ed., *Sensor and Data Fusion*. Croatia: In-Teh, 2009.
- [21] D. L. Hall and J. Llinas, Eds., *Handbook Of Multisensor Data Fusion*. Florida: CRC Press, 2001.
- [22] S. A. R. Zekavat and R. M. Buehrer, Eds., *Handbook of Position Location*, 2nd ed. Wiley-IEEE Press, 2019.
- [23] L. Guvenc, B. Aksun-Guvenc, S. Zhu, and S. Y. Gelbal, *Autonomous Road Vehicle Path Planning and Tracking Control*. Wiley-IEEE Press, 2022. [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- [24] C. Mahulea, M. Kloetzer, and R. Gonzalez, *Path Planning of Cooperative Mobile Robots Using Discrete Event Models*. Wiley-IEEE Press’, 2020. [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- [25] M. Lin, Kai Yuan, C. Shi, and Y. Wang, “Path Planning of Mobile Robot Based on Improved A* Algorithm,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2024, no. 1, pp. 3570–3576, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2024/1/012029.
- [26] P. F. Felzenszwalb, R. B. Girshick, D. Mcallester, and D. Ramanan, “Object Detection with Discriminatively Trained Part-Based Models,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 32, no. 9, pp. 1627–1645, 2010.

- [27] Z. Q. Zhao, P. Zheng, S. T. Xu, and X. Wu, "Object Detection with Deep Learning: A Review," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 30, no. 11, pp. 3212–3232, 2019, doi: 10.1109/TNNLS.2018.2876865.
- [28] B. Chougula, A. Tigadi, P. Manage, and S. Kulkarni, "Road segmentation for autonomous vehicle: A review," *Proc. 3rd Int. Conf. Intell. Sustain. Syst. ICISS 2020*, pp. 362–365, 2020, doi: 10.1109/ICISS49785.2020.9316090.
- [29] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 2016-Decem, pp. 779–788, 2016, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.