

SKRIPSI

**PERANCANGAN ROBOT PENDETEKSI DAN
ESTIMASI KEDALAMAN LUBANG**



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Unviersitas Sriwijaya**

OLEH:

MUHAMAD RIZAL MUTAQIN

03041282126094

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN ROBOT PENDETEKSI DAN ESTIMASI KEDALAMAN LUBANG



SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan
Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh

MUHAMAD RIZAL MUTAQIN

03041282126094

Palembang, 15 Agustus 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

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

NIP. 19840730200822001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

NIP. 197108141999031005

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Rizal Mutaqin

NIM : 03041282126094

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

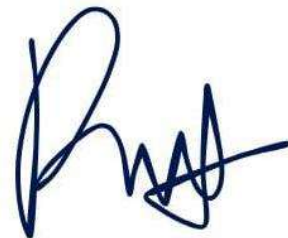
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 11 %

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Perancangan Robot Pendeteksi dan Estimasi Kedalaman Lubang.” 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.

Indralaya, 13 Agustus 2025



Muhamad Rizal Mutaqin

NIM. 03041282126094

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

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

Tanda Tangan

:  _____

Pembimbing Utama

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

Tanggal

: 15 Agustus 2025

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhamad Rizal Mutaqin
NIM : 03041282126094
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

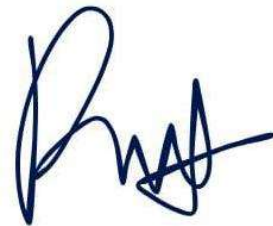
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah Saya yang berjudul:

PERANCANGAN ROBOT PENDETEKSI DAN ESTIMASI KEDALAMAN LUBANG

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 sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Indralaya

Pada tanggal: 13 Agustus 2025



Muhamad Rizal Mutaqin

NIM. 0304128212609

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang telah melimpahkan rahmat, berkat, dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penyusunan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Robot Pendeteksi dan Estimasi Kedalaman Lubang” dapat diselesaikan. Penyusunan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Pelaksanaan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Untuk Yayun Purwoyanti selaku ibu dari penulis yang selalu memberikan dukungan moral, doa, motivasi, harapan serta kebutuhan finansial.
2. Julia Adinda Nurhasanah, Muhammad Darius Ashidik, dan Aulia Rahmadani selaku adik-adik tersayang dari penulis yang selalu jadi motivasi penulis selama menempuh bangku perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti. S.T., M.S., IPM. selaku dosen pembimbing saya. Terima kasih saya sampaikan karena Ibu telah membimbing saya dengan sebaik ini, terima kasih banyak bu karena selalu mengusahakan saya sebagai anak bimbingan ibu dalam menyelesaikan semua permasalahan pada laporan skripsi saya, terima kasih telah meluangkan waktu, tenaga serta bertukar pikiran dalam mendukung dan memberi arahan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., Ibu Ir. Hera Hikmarika, S.T., M.Eng., Bapak Ir. Irmawan, S.Si., M.T., Bapak Ir. Rendyansyah, S.Kom., M.T., IPM., dan Bapak Baginda Oloan Siregar, S.T.,M.T. sebagai dosen Teknik Kendali dan Komputer yang selalu memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan serta memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyusun tugas akhir ini
5. Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D, IPU., APEC Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
6. Ibu Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti. S.T., M.S., IPM. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.

7. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
8. Mbah, Om dan Tante serta seluruh keluarga besar Miyadi Suyanto yang telah banyak memberikan dukungan dan doa kepada penulis selama masa perkuliahan ini.
9. Keluarga Klub Robotika UNSRI khususnya divisi KRAI dan KRTMI yang telah banyak memberikan dukungan dalam proses pengembangan ilmu khususnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman grup Badut's yang telah banyak membantu dan berjuang bersama selama masa perkuliahan hingga masa studi tugas akhir.
11. Teman-teman Teknik Elektro Angkatan 2021 terkhusus Teknik Kendali Robotika yang telah berbagi cerita dan kebersamaan selama masa perkuliahan.
12. Klub Sepakbola Manchester United yang saya dukung dari tahun 2008 hingga sekarang, terima kasih telah banyak memberikan cerita suka dan duka di setiap perjalanan, dari masa jaya yang penuh kebanggaan hingga masa keterpurukan yang penuh cobaan. Terima kasih telah mengajarkan penulis untuk tetap sabar dan setia pada suatu hal. *Once red, always red*. Tahun depan tsunami trofi.

Penulis memohon maaf karena tidak dapat menyebutkan seluruh pihak satu persatu, semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini dan sangat berharap kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan selanjutnya.

Inderalaya, 13 Agustus 2025

Penulis



Muhamad Rizal Mutaqin

NIM. 03041282126094

ABSTRAK

PERANCANGAN ROBOT PENDETEKSI DAN ESTIMASI KEDALAMAN LUBANG

(Muhamad Rizal Mutaqin, 03041282126094, 2025, 109 Halaman)

Lubang jalan merupakan salah satu bentuk kerusakan jalan yang dapat membahayakan pengguna jalan. Perbaikan lubang jalan tersebut membutuhkan estimasi ukuran lubang, baik panjang, lebar, dan kedalaman. Akan tetapi, metode yang ada sekarang masih dilakukan secara manual sehingga tidak efektif. Untuk mengatasi hal tersebut, pada penelitian ini dikembangkan *mobile robot* yang dapat secara dioperasikan secara otomatis untuk mengukur dimensi lubang jalan. Robot ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengestimasi kedalaman lubang. Pendeteksian lubang menggunakan sensor ultrasonik dan juga kamera webcam yang diprogram berbasis *deep learning*. *Mobile robot* ini dirancang dapat bergerak di jalan raya dengan sistem kontrol *proportional integral derivative* (PID). Pergerakan robot diatur menggunakan *stick controller* yang mana dapat memerintahkan pergerakan. Sistem kontrol PID yang sebelumnya telah disimulasikan di Matlab menunjukkan *error steady state* yang sangat kecil sebesar 0.0028 dibandingkan tanpa PID. Pengujian robot dilakukan secara *real-time* dengan melakukan pengukuran estimasi kedalaman lubang menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan lokasi objek menggunakan GPS. Hasil pengukuran sensor dapat mendeteksi dengan nilai *mean square error* (MSE) sebesar 2,89% dan pengukuran lokasi menggunakan GPS dengan nilai MSE sebesar 0,04%. Kemampuan visual robot mendeteksi lubang juga diuji dengan melakukan pendeteksian melalui kamera dan hasil menunjukkan bahwa kamera dapat mendeteksi dengan lubang dengan tingkat keberhasilan sebesar 76%. Sehingga, robot ini dapat diimplementasikan untuk mendeteksi dan mengestimasi kedalaman lubang jalan.

Kata Kunci : Mobile Robot, Lubang Jalan, Sensor Ultrasonik, GPS , Kamera.

ABSTRACT

DESIGN OF A ROBOT FOR POTHOLE DETECTION AND DEPTH ESTIMATION

(Muhamad Rizal Mutaqin, 03041282126094, 2025, 109 Pages)

Potholes are a common form of road damage that pose serious risks to road users. Accurate repair requires estimating the pothole's dimensions—length, width, and depth—which is still commonly done manually and inefficiently. This study proposes the development of an autonomous mobile robot capable of detecting and estimating pothole dimensions. The robot utilizes an ultrasonic sensor and a deep learning-based webcam system for pothole detection and depth estimation. It navigates using a Proportional-Integral-Derivative (PID) control system and is operated via a stick controller. Simulation results showed the PID system significantly reduced steady-state error to 0.0028. Real-time testing demonstrated the robot's effectiveness, achieving a mean square error (MSE) of 2.89% for depth measurement using an HC-SR04 ultrasonic sensor and 0.04% MSE for GPS-based location tracking. The visual system achieved a 76% success rate in pothole detection. These results indicate that the robot can be effectively implemented for automated pothole detection and depth estimation.

Keyword : Mobile Robot, Pothole, Ultrasonic Sensor, GPS, Camera.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	
ABSTRACT	
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	i
DAFTAR TABEL.....	
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Keaslian Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 <i>State of The Art</i>	8
2.2 Robot	18
2.2.1 <i>Mobile Robot</i>	18
2.2.2 <i>Semi-Autonomous Robot</i>	20
2.3 Roda pada <i>Mobile Robot</i>	23
2.4 Bobot Robot.....	24
2.5 <i>Deep Learning</i> pada Robot Pendeteksi Lubang Jalan.....	27

2.6 Ackerman Steering Mobile Robot.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Studi Literatur.....	31
3.2 Pengumpulan <i>dataset</i>	31
3.3 Perancangan Sistem.....	32
3.3.1 Perancangan Sistem <i>Hardware</i>	32
3.3.2 Perancangan Sistem <i>Software</i>	37
3.4 Pengujian	40
3.4.1 Pengujian Komponen pengukur dan estimasi kedalaman lubang	40
3.4.2 Pengujian Sistem Kendali	41
3.4.3 Pengujian <i>Trajectory</i> Robot	41
3.4.4 Pengujian Sistem Keseluruhan.....	42
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	43
4.1 Hasil Perancangan	43
4.2 Hasil Pergerakan Robot	45
4.3 Pengujian	50
4.3.1 Pengujian Simulasi Sistem Kendali	50
4.3.2 Pengujian Sistem Kendali PID Secara <i>Real-Time</i>	53
4.3.3 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04	54
4.3.4 Pengujian GPS Neo 8M	58
4.3.5 Pengujian Hasil Deteksi Dengan Kamera Webcam	60
4.4 Pengujian Sistem Keseluruhan Secara <i>Real-Time</i>	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran	70

DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN 1.....	75
LAMPIRAN 2.....	82
LAMPIRAN 3.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram sistem deteksi pada prototype	9
Gambar 2. 2 Pengujian pendeteksian sensor kinect	10
Gambar 2. 3 Prototype robot	10
Gambar 2. 4 Prototype jalan berlubang	10
Gambar 2. 5 Perbandingan data sensor kinect dengan sensor lain.....	10
Gambar 2. 6 Contoh data yang berhasil diupload di Cloud	11
Gambar 2. 7 Diagram blok komponen-komponen pada alat	12
Gambar 2. 8 Desain alat	12
Gambar 2. 9 Diagram cara kerja robot	15
Gambar 2. 10 Bentuk prototype robot	16
Gambar 2. 11 Pengujian prototype robot	16
Gambar 2. 12 Pemasangan Kamera dan GPS	17
Gambar 2. 13 Desain mobile robot berkaki	20
Gambar 2. 14 Mobile robot beroda	20
Gambar 2. 15 Remote control yang dipakai untuk mengontrol robot	22
Gambar 2. 16 Penggunaan roda mecanum dan roda omni p.....	24
Gambar 2. 17 Penggunaan roda caster pada mobile robot.....	24
Gambar 2. 18 Sketsa desain robot.....	25
Gambar 2. 19 Bentuk robot.....	25
Gambar 2. 20 Arsitektur Mask R-CNN.....	27
Gambar 2. 21 Ilustrasi Ackermann steering geometry.....	28
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian	30
Gambar 3. 2 Data jalan berlubang.....	31
Gambar 3. 3 Data jalan retak.....	31
Gambar 3. 6 Desain robot tampak depan, samping, belakang	32
Gambar 3. 7 Posisi awal robot, dan Posisi robot memanjang	33
Gambar 3. 8 Worm Gear Motor DC.....	33
Gambar 3. 9 Roda heavy duty	34
Gambar 3. 10 Motor Linear aktuator	34
Gambar 3. 11 Aluminium Profile	35

Gambar 3. 12 Sensor ultrasonik HC-SR04	35
Gambar 3. 13 Webcam Logitech C920	36
Gambar 3. 14 Arduino Mega 2560.....	36
Gambar 3. 15 ESP32	37
Gambar 3. 16 Modul GPS Ublox Neo-8M	37
Gambar 3. 17 Stik Ps3 sebagai controller	38
Gambar 3. 18 Diagram blok sistem kontrol PID.....	39
Gambar 4. 1 Robot pendeteksi dan estimasi lubang jalan.....	43
Gambar 4. 2 Penempatan mikrokontroler	44
Gambar 4. 3 Mikrokontroler tampak dekat	44
Gambar 4. 4 Perubahan dimensi pada robot	45
Gambar 4. 5 Posisi robot belok kiri, kanan dan lurus	46
Gambar 4. 6 Posisi kompas pada robot	47
Gambar 4. 7 Perbandingan penggunaan Kamera GoPro dan Webcam	48
Gambar 4. 8 Pemasangan sensor ultrasonik HC-SR04	48
Gambar 4. 9 Peletakan Posisi Sensor Pada Robot	49
Gambar 4. 10 Peletakan Posisi Anthena GPS pada Robot.....	50
Gambar 4. 11 Blok diagram Simulink.....	50
Gambar 4. 12 Grafik Sistem kontrol sebelum ditambah kontrol PID	52
Gambar 4. 13 Grafik Sistem kontrol menggunakan tuning PID	52
Gambar 4. 14 Grafik Gabungan Tanpa <i>PID</i> dan dengan <i>PID</i>	53
Gambar 4. 15 Program kontrol PID di arduino	53
Gambar 4. 16 Grafik <i>output nilai PID pengujian belok kiri</i>	54
Gambar 4. 17 Grafik <i>output nilai PID pengujian belok kanan</i>	54
Gambar 4. 18. Objek lubang jalan depan Graha UNSRI	55
Gambar 4. 19 Lokasi Pengukuran Objek 2 di belakang gedung S2.....	56
Gambar 4. 20 Trajectory Belakang Teknik.....	68
Gambar 4. 21 Trajectory Halte Damri.....	69
Gambar 4. 22 Trajectory jalan al-ghazali	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kontrol Tombol Stik.....	38
Tabel 4. 1 Nilai Parameter Motor <i>Wormgear</i> DC	51
Tabel 4. 2 Tabel Respons Sistem Tuning PID	53
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran sensor ultrasonik HC-SR04	55
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran kedalaman sebenarnya	55
Tabel 4. 5 MSE dari masing-masing sensor.....	56
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran sensor ultrasonik HC-SR04	57
Tabel 4. 7 Hasil pengukuran kedalaman sebenarnya	57
Tabel 4. 8 MSE dari masing-masing sensor.....	57
Tabel 4. 9 Pembacaan GPS pada lokasi objek 1	58
Tabel 4. 10 Pembacaan titik lokasi dengan google map	58
Tabel 4. 11 MSE lokasi pengujian	59
Tabel 4. 12 Pembacaan GPS pada lokasi objek 2	59
Tabel 4. 13 Pembacaan titik lokasi dengan google map	60
Tabel 4. 14 MSE lokasi pengujian	60
Tabel 4. 15 Hasil pengujian kamera mendeteksi objek pertama	61
Tabel 4. 16 Hasil pengujian kamera mendeteksi objek kedua	62
Tabel 4. 17 Hasil pengujian real-time	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur yang sangat penting untuk menunjang kehidupan manusia. Sebagian besar aktivitas manusia dapat terbantu dengan adanya jalan. Akan tetapi, banyak sekali masalah yang terkait dengan jalan ini, seperti jalan yang rusak, berlubang dan lain sebagainya yang dapat menghambat aktivitas. Menurut data dari kementerian Pekerja Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), jalan rusak di provinsi Sumatera Selatan pada tahun 2023 mencapai 117,49 km yang terdiri dari 20,58 km jalan rusak ringan dan 96,91 km jalan rusak berat [1]. Kondisi jalan yang rusak ini dapat mengakibatkan banyak masalah, terutama kecelakaan lalu lintas. Selain itu, kondisi jalan yang berlubang juga menyebabkan hambatan pada lalu lintas yang mana pengendara harus memperlambat laju kendaraan [2]. Selain itu juga, kondisi jalan yang berlubang berdampak negatif pada aspek ekonomi, seperti pengeluaran untuk biaya perbaikan jalan dan juga perbaikan kendaraan yang rusak karena jalan yang berlubang.

Masalah lubang jalan ini sudah seharusnya harus ditindaklanjuti karena peran jalan raya yang sangat krusial untuk kehidupan manusia. Akan tetapi, untuk mentindaklanjuti masalah ini tentunya memerlukan waktu dan pihak terkait harus mengetahui terlebih dahulu lokasi serta kondisi dari jalan yang berlubang. Saat ini, pihak terkait masih menggunakan cara manual dalam hal menangani perbaikan jalan, seperti mensurvei lokasi, mengambil gambar atau dokumentasi dalam hal bentuk foto, dan juga mendata ukuran jalan berlubang secara langsung [3]. Hal ini mengakibatkan proses perbaikan jalan menjadi tidak efektif dan efisien. Meskipun demikian, pihak terkait juga telah menggunakan teknologi *hawkeye 2000* dari jasa marga. Inovasi ini berbentuk mobil yang dilengkapi dengan beberapa sistem dan komponen, seperti *gps*, *laser profiler*, *auto crack detection profiler*, *gipsitrec geometry*, *distance measurement instrument*, dan *asset cameras* [4]. Komponen-komponen tersebut dipasang pada mobil dengan tujuan mobil bisa mengukur *dataset* dan kondisi jalan. Mobil ini sudah mulai dioperasikan dari 2018 dan sudah memantau ratusan kilometer jalan tol di Indonesia [4]. Namun, harga kendaraan

yang mahal mengakibatkan kendaraan tersebut terbatas digunakan pada jalan tol. Hal ini mengakibatkan tidak semua lokasi dapat memanfaatkan kendaraan ini, padahal lokasi lubang tidak hanya ada di dalam jalan tol tetapi juga sangat banyak lubang di dalam kota. Sehingga, pendataan secara otomatis menggunakan robot untuk mendeteksi jalan berlubang tanpa harus mensurvei lokasi secara manual dan menggunakan biaya yang tidak terlalu tinggi sangat diperlukan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mendeteksi lubang dengan menggunakan robot. Pada penelitian yang dilakukan oleh D.Ramesh.Reddy dkk dikembangkan *prototype* robot pendeteksi lubang jalan menggunakan *kinect sensor* yang dipasang untuk mendeteksi kondisi jalan [5]. Kemudian, R.A. Phisca dkk melakukan pendeteksian menggunakan sensor ultrasonik *HC-SR04* untuk mengukur kedalaman lubang jalan [6]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mrs. S.B. Gaikwad dkk dikembangkan rancang bangun robot yang tidak hanya digunakan untuk mendeteksi lubang jalan tetapi juga dirancang untuk memperbaiki jalan, dimana pada penelitian ini juga robot menggunakan sensor *ultrasonic* sebagai pendeteksi lubang jalan [7]. Selain sensor yang digunakan sebagai komponen untuk mendeteksi lubang jalan, beberapa penelitian juga menggunakan kamera untuk mengambil data gambar yang nantinya akan diolah dan diproses sebagai informasi untuk masyarakat bahwa ada jalan berlubang di suatu lokasi dan juga diperuntukkan bagi pihak terkait agar dapat langsung melakukan perbaikan pada jalan tersebut. Salah satunya dikembangkan oleh [6], dimana data yang diambil menggunakan kamera *Webcam Logitech C920* dan diproses menggunakan *internet of things* (IoT). Hasil yang diperoleh dapat dilihat di *website* beserta lokasi yang tercatat pada *global positioning system* (GPS) yang terpasang pada robot. Pada penelitian yang dilakukan oleh Prama Wira Ginta dkk dibangun robot pendeteksi dan penghitung jalan berlubang menggunakan sensor infra merah dan menggunakan *prototype robot line follower* untuk mendeteksi ada tidaknya lubang yang dilintasi robot [8]. Selain menggunakan sensor, pendeteksian objek melalui robot yang bergerak juga dapat dilakukan menggunakan kamera, seperti penelitian yang dilakukan oleh Yogi Dwi Mahandi yang membahas penggunaan kamera *omnidirectional* untuk mendeteksi objek dengan memanfaatkan fitur warna [9]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Jau-Woei Perng dkk mengusulkan ide sistem pemetaan lingkungan

3D dan deteksi lubang jalan menggunakan robot bergerak yang dilengkapi dengan berbagai sensor, termasuk *laser range finder*, *GPS*, *kamera*, dan unit pengukuran inersia [10]. Pada penelitian yang dilakukan Shambhu Hegde dkk, pendeteksian dilakukan dengan menggunakan sensor ultrasonik tetapi untuk komunikasi atau transfer informasi data menggunakan modul komunikasi *Zigbee* [11]. Pada penelitian yang dilakukan Ripal Patel dkk dikembangkan robot yang dapat mendeteksi lubang dan mengisi lubang di jalan secara otomatis, untuk pendeteksian menggunakan *sensor ultrasonik* dan mekanisme perbaikan menggunakan *motor DC* [12].

Penelitian mengenai pendeteksian jalan berlubang juga berkaitan dengan pemrosesan data. Pada penelitian yang dilakukan oleh Adzkie Faradiba Eyila Putri dikembangkan sistem pendeteksi kerusakan lubang jalan berbasis *convolutional neural network (CNN)* dengan menggunakan arsitektur *you only look once (YOLO)* [13]. Penelitian lain yang membahas pengolahan data citra jalan berlubang juga dilakukan oleh Bandi Sasmito dkk yang bertujuan mendeteksi kerusakan jalan di Kota Semarang menggunakan teknologi *deep learning* dengan metode YOLO [14]. Selanjutnya, pada penelitian Ivan Besando Pakpahan dkk ini digunakan metode *SSD-MobileNet* yang merupakan salah satu metode pendeteksian objek dalam pendeteksian lubang jalan [15].

Dari penelitian sebelumnya, rancang bangun robot pendeteksi lubang masih sangat terbatas dan masih sangat sedikit sekali yang digunakan dalam pengambilan data secara langsung pada jalan yang berlubang. Penelitian [5] hanya mendeteksi lubang menggunakan *prototype* jalan yang berlubang, bukan jalan raya yang sebenarnya memiliki lubang. Selain itu, pada penelitian sebelumnya, robot tidak dapat digunakan pada beberapa medan, seperti medan yang berlumpur dikarenakan sistem penggerak pada robot tidak dapat digunakan pada jalan yang berlumpur [6][7]. Penelitian yang membahas tentang pendeteksian jalan berlubang biasanya juga membahas tentang pengolahan atau pemrosesan data, seperti [13] dan [14]. Untuk pemrosesan data, saat ini metode CNN banyak digunakan karena sangat efektif digunakan pada klasifikasi gambar, deteksi objek, dan juga mudah beradaptasi dengan berbagai data [16]. Sehingga, pada penelitian ini dikembangkan rancang bangun robot yang dapat bekerja semi otonom yang digunakan untuk

melakukan pengambilan data jalan berlubang beserta dimensi jalan berlubang tersebut dengan menggunakan kamera dan diproses melalui pendekatan *deep learning*.

1.2 Perumusan Masalah

Metode perbaikan jalan yang berlubang saat ini masih cenderung belum efektif karena masih dilakukan secara manual. Pihak terkait perlu meninjau langsung ke lokasi untuk mengetahui seberapa parah kerusakan, dimensi kerusakan, dan lokasi titik kerusakan. Selain itu, teknologi yang telah dikembangkan umumnya berbentuk prototipe yang masih belum diimplementasikan di jalan yang berlubang. Sehingga, rancang bangun robot yang dapat mendeteksi jalan berlubang, dimensi, dan lokasi lubang sangat dibutuhkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *prototype* robot pendeteksi lubang jalan yang dapat mendeteksi jalan berlubang dengan cara mengumpulkan data citra lubang jalan, dimensi berupa panjang, lebar, dan kedalaman lubang serta lokasi titik lubang jalan tersebut. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji performa dari robot yang bekerja secara semi otonom untuk melakukan proses pendeteksian jalan berlubang.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini perlu dilakukan supaya penelitian lebih terarah, Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Pengujian *prototype* robot dilakukan di jalan raya kota Palembang.
2. Robot dioperasikan via *controller wireless* sehingga robot tidak bergerak secara otomatis mencari lubang jalan.
3. Robot hanya mendeteksi lubang dan tidak memperbaikinya.
4. Pengujian dilakukan pada kondisi jalan aspal dan beton, tidak pada kondisi kerikil ataupun tanah.
5. Pengujian dilakukan pada stuktur jalan yang terdapat lubang, retak buaya, amblas, selokan, trotoar dan bekas roda

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian tentang rancang bangun robot pendeteksi lubang jalan ini sebelumnya sudah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya. D. Ramesh. Reddy dkk pada penelitiannya mengembangkan sistem deteksi *pothole* berbasis IoT menggunakan sensor *kinect* dan Raspberry Pi untuk memantau kondisi jalan secara *real-time* dan mengirimkan data tersebut ke pihak terkait. Penelitian ini tidak menggunakan *prototype* robot untuk pengambilan data melainkan hanya memasang sensor *kinect* pada kendaraan. Data yang telah berhasil dikumpulkan, termasuk lokasi dan gambar *pothole*, dikirim ke *cloud* untuk diproses lebih lanjut. Pada penelitian ini dinyatakan bahwa penggunaan sensor *kinect* dalam mendeteksi *potholes* lebih efektif dibandingkan dengan metode lain, seperti 2D LiDAR dan kamera stereo [5].

Penelitian yang dilakukan R.A. Phisca dkk bertujuan untuk mengembangkan solusi teknologi untuk mendeteksi, mengklasifikasi, menganalisis, dan mencatat data kerusakan jalan raya agar proses perbaikan dapat dilakukan lebih cepat dan efisien. Penelitian ini menggunakan *prototype* alat yang terpasang beberapa komponen, seperti sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur kedalaman lubang jalan dan modul GPS untuk mendapatkan data lokasi lubang jalan. Untuk data citra dari lubang jalan digunakan kamera Webcam Logitech dan pemrosesan utama menggunakan Raspberry Pi 4, serta berbasis IoT dengan *platform* ThinkSpeak. Hasil dari penelitian ini cukup baik yang mana pengujian dengan menggunakan sensor jarak memiliki nilai *error* yang kecil, yaitu dengan nilai *error* kedalaman lubang sebesar 1,66%, dan juga untuk hasil dari deteksi GPS menunjukkan nilai rata-rata selisih *latitude* dan *longitude* yang sangat kecil. Serta untuk implementasi IoT memungkinkan data kerusakan jalan dapat dimonitor melalui *website* atau aplikasi android [6].

Pada penelitian lain, rancang bangun robot tidak hanya bertujuan untuk mengukur atau mendeteksi lubang jalan melainkan juga robot dirancang juga untuk memperbaiki jalan yang terdeteksi rusak. Penelitian ini telah dilakukan oleh Mrs. S.B. Gaikwad dkk, dimana penelitian tersebut bertujuan untuk mengembangkan robot otomatis yang dapat mendeteksi lubang jalan, mengisi dengan semen, dan meratakan permukaan jalan yang rusak untuk meningkatkan keselamatan pengguna

jalan raya dan mengurangi penggunaan tenaga manusia. Robot ini dirancang menggunakan Arduino UNO, sensor ultrasonik, motor servo, dan motor DC. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keberadaan *pothole* dan mengukur kedalamannya. Setelah mendeteksi *pothole*, robot akan menghentikan pergerakannya dan mengirimkan sinyal untuk mengisi *pothole* dengan semen. Proses pengisian semen diikuti dengan *leveling* menggunakan mekanisme *roller*. *Prototype* robot berhasil mendeteksi dan memperbaiki atau meratakan lubang jalan dengan baik. Robot juga dapat memberikan informasi ke pengguna melalui *bluetooth* mengenai status pengoperasian ataupun pendeteksian. Akan tetapi, rancangan robot ini belum teruji digunakan untuk proses pengambilan data, sehingga keberhasilan dari penelitian ini masih diragukan [7].

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Prof. Divya B N dkk dikembangkan *prototype* robot untuk mengatasi masalah jalan akibat jalan yang berlubang. Robot otomatis ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi lubang dan mengukur kedalamannya dengan mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno sebagai pemroses data. Pemrosesan menggunakan arduino lebih mudah dibanding mikrokontroler Raspberry karena pemrograman Arduino lebih simpel dibanding Raspberry [17]. Selain mendeteksi dan mengukur lubang, penelitian ini juga mengembangkan sistem menyemen jalan dengan menggunakan sistem *roller* untuk membuka dan menutup wadah semen, sehingga ketika robot mendeteksi lubang maka sistem akan membuka wadah semen dan otomatis mengisi jalan yang berlubang. Meskipun berhasil melakukan pendeteksian dan penutupan lubang, akan tetapi penelitian ini belum terbukti efektif karena pengujian hanya dilakukan di jalan buatan yang memiliki karakteristik yang berbeda jika pengujian dilakukan pada jalan raya dengan lalu lintas yang padat [18].

Pada penelitian lain yang dikembangkan oleh Dr. D.O. Patil dkk membahas tentang robot pendeteksi dan pengisi lubang jalan otomatis. *Prototype* ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemeliharaan jalan dengan cara mendeteksi lubang dan mengukur kedalaman lubang jalan menggunakan sensor ultrasonik. Lalu untuk pengisian lubang jalan atau perbaikan jalan digunakan mekanisme aktuator berupa motor DC. Selain mengisi lubang, *prototype* ini juga dapat meratakan jalan yang sudah dituangkan beton dengan mekanisme *slider*. Untuk navigasi, penelitian ini

menggunakan modul GPS dan robot ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler yang akan mengirimkan dan memproses data dengan konektivitas WiFi dan *bluetooth*. ESP32 merupakan mikrokontroler yang paling banyak digunakan pada alat ataupun sistem jika sistem tersebut membutuhkan konektivitas WiFi atau *bluetooth* pada prosesnya [19]. Dengan menggunakan ESP32, memungkinkan robot dapat dimonitori dari jarak jauh menggunakan aplikasi Blynk. Aplikasi ini juga dapat digunakan pelacakan jarak jauh sebagai penanda lokasi lubang jalan. Hasil dari penelitian ini adalah robot berhasil mendeteksi lubang jalan dan mengisi serta meratakannya dengan tingkat akurasi yang baik. Penggunaan ESP32 dan teknologi sensor memungkinkan robot bekerja secara otonom dan efisien. Hampir sama dengan penelitian lain, penelitian [20] hanya diuji pada lingkungan yang terkendali, belum pada jalan raya sebenarnya. Penelitian ini juga tidak menjelaskan seberapa besar kapasitas pengisian beton pada robot maupun pengisian di jalan raya., Selain itu, pengujian hanya bisa dilakukan pada tempat yang memiliki konektivitas yang stabil karena robot ini menggunakan konektivitas WiFi dan *bluetooth*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. PUPR, “Kondisi Permukaan Jalan Provinsi Tahun 2023,” 2023, *Ditjen Bina Warga*. [Online]. Available: <https://data.pu.go.id/dataset/kondisi-permukaan-jalan-provinsi/resource/898bfa2b-96d9-4a8f-b8dc-6e3edc77078f#%7B%7D>
- [2] wawan, “Efektivitas pelaksanaan perbaikan jalan rusak dalam undang-undang nomor 22 tahun 2009 terhadap keselamatan pengguna jalan (studi pada dinas bina marga kota batam),” *Scientia*, vol. 1, 2019.
- [3] F. Nisaa, A. Adlin, and B. H. Notatema Zebua, “Perencanaan Perbaikan Infrastruktur Jalan Oleh Pemerintah Kota Pekanbaru Tahun 2023,” *J. Adm. Polit. dan Sos.*, vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 2023, doi: 10.46730/japs.v4i1.92.
- [4] G. M. N. ; G. Prayogi, “Hawkeye 2000, Mobil Pintar Jasa Marga untuk Deteksi Kondisi Jalan,” *KumparanOTO*. [Online]. Available: <https://kumparan.com/kumparanoto/hawkeye-2000-mobil-pintar-jasa-marga-untuk-deteksi-kondisi-jalan-1tq3xCDMUZo/full>
- [5] D. R. Reddy, G. P. C. Goud, and C. D. Naidu, “Internet of Things Based Pothole Detection System using Kinect Sensor,” *Proc. 3rd Int. Conf. I-SMAC IoT Soc. Mobile, Anal. Cloud, I-SMAC 2019*, pp. 232–236, 2019, doi: 10.1109/I-SMAC47947.2019.9032694.
- [6] A. phisca Rosyady, F. F. Rahani, and A. R. C. Baswara, “Amarto (Damaged Road Detector) Purwarupa Sistem Deteksi dan Analisator Kerusakan Jalan Raya Kota Yogyakarta Berbasis Citra Digital dan GPS,” *J. Jarlit Vol.17 Tahun 2021 65*, vol. 17, pp. 65–84, 2021.
- [7] P. S. B. Gaikwad, H. Hakey, S. Bhandarkawathe, V. Budrupe, and A. Jagadale, “Automatic Pothole Repairing Robot,” *SSRN Electron. J.*, pp. 3–6, 2024, doi: 10.2139/ssrn.4740278.
- [8] P. W. Ginta and R. F. Milati, “Robot Pendeteksi Dan Penghitung Jalan Berlobang Menggunakan Sensor Infra Merah Berbasis Mikrokontroler At89S51,” *J. Media Infotama*, vol. 7, no. 1, pp. 69–83, 2011.
- [9] Y. D. Mahandi, “Deteksi Objek Untuk Robot Bergerak Menggunakan Kamera Omnidirectional Berbasis Fitur Warna,” *J. Teknol. Elektro dan*

- Kejuru.*, vol. 31, no. 1, pp. 61–74, 2021.
- [10] J. W. Perng, C. H. Tai, C. H. Kuo, and L. S. Ma, “3D environment mapping and pothole detection for a mobile robot,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 431, pp. 287–292, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.431.287.
 - [11] S. Hegde, H. Mekali, and G. Varaprasad, “Pothole detection and inter vehicular communication,” *2014 IEEE Int. Conf. Veh. Electron. Safety, ICVES 2014*, pp. 84–87, 2014, doi: 10.1109/ICVES.2014.7063729.
 - [12] R. Patel and H. Lallawmawma, “Pot-hole Detection and Clearance robot,” no. 07, pp. 2166–2170, 2022.
 - [13] A. F. E. Putri, “Alat Pendeteksi Kerusakan Jalan Berlubang Berbasis Convolutional Neural Network,” *J. Ilm. Sain dan Teknol.*, vol. 2, no. 8, pp. 251–255, 2024.
 - [14] B. Sasmito, B. H. Setiadi, and R. Isnanto, “Deteksi Kerusakan Jalan Menggunakan Pengolahan Citra Deep Learning di Kota Semarang,” *Teknik*, vol. 44, no. 1, pp. 7–14, 2023, doi: 10.14710/teknik.v44i1.51908.
 - [15] I. B. Pakpahan and I. C. Dewi, “Pendeteksian Lubang Pada Jalanan Menggunakan Metode SSD-MobileNet,” *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 11, no. 2, p. 213, 2021, doi: 10.22146/ijeis.60157.
 - [16] R. A. Tilasefana and R. E. Putra, “Penerapan Metode Deep Learning Menggunakan Algoritma CNN Dengan Arsitektur VGG NET Untuk Pengenalan Cuaca,” *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 05, no. 1, pp. 48–57, 2023.
 - [17] I. Effendi, “Perbedaan Arduino dan Raspberry PI,” IT-JURNAL.COM. [Online]. Available: <https://www.it-jurnal.com/perbedaan-arduino-dan-raspberry-pi/>
 - [18] A. K. Uttarkar, “Automatic Pothole Detection and Cement dispensing robot,” vol. 13, no. 4, pp. 607–610, 2024, doi: 10.17148/IJARCCCE.2024.13488.
 - [19] P. T. PENS, “Modul 1 Pengenalan ESP32 Board,” *MK Internet Things*, vol. 6, pp. 1–16, 2019.
 - [20] D. O. Patil, “Pothole Hole Detection And Filling Robot,” vol. 12, no. 4, 2024.
 - [21] N. W. Dwi, “Artikel Robot,” *Dep. Electr. Eng. Nusa Putra Univ.*, no.

October, 2022.

- [22] R. Valentino, “Pengembangan Semi Autonomous Mobile Robot Untuk Mengambil Objek Dengan Mempertimbangkan Berat Objek,” *ITS Repos.*, 2016, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/62952>
- [23] Eni and Agus, “Analisa Pergerakan Robot Berkaki Menggunakan Proposional Integral Derivative Control,” *J. Process.*, vol. 15, no. 2, pp. 114–126, 2020, doi: 10.33998/processor.2020.15.2.874.
- [24] A. Baharuddin, T. Winarno, and A. Komarudin, “Implementasi PID Control Pada Manuver Robot Berkaki Dalam Pengambilan Objek,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 7, no. 1, p. 63, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v7i1.181.
- [25] L. Tagliavini, G. Colucci, A. Botta, P. Cavallone, L. Baglieri, and G. Quaglia, “Wheeled Mobile Robots: State of the Art Overview and Kinematic Comparison Among Three Omnidirectional Locomotion Strategies,” *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 106, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s10846-022-01745-7.
- [26] K. Shabalina, A. Sagitov, and E. Magid, “Comparative analysis of mobile robot wheels design,” *Proc. - Int. Conf. Dev. eSystems Eng. DeSE*, vol. 2018-Septe, pp. 175–179, 2018, doi: 10.1109/DeSE.2018.00041.
- [27] M. Z. M Zulfitra and P. Gunoto, “Perancangan Sistem Kendali Gerak Robot Beroda Menggunakan Xbee Pro Remote,” *Sigma Tek.*, vol. 1, no. 2, p. 133, 2018, doi: 10.33373/sigma.v1i2.1498.
- [28] P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, U. Katolik, and I. Atma, “Cylinder : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Pengembangan Sistem Kendali Mekanis Mobile Robot Menggunakan Roda Caster,” vol. 10, pp. 1–7, 2024.
- [29] A. Rahardjo, H. Khoswanto, and H. S. Warpindyasmoro, “Pengendalian Titik Berat pada Mobile Robot,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 41–47, 2018, doi: 10.9744/jte.10.2.41-47.
- [30] J. Gao, X. Gao, W. Zhu, J. Zhu, and B. Wei, “Light mobile robot’s weight design and research,” *Proc. Int. Jt. Conf. Neural Networks*, pp. 2449–2454, 2008, doi: 10.1109/IJCNN.2008.4634139.
- [31] V. R. M. Ronny, S. Heri, “Developement of Autonomous Mobile for Taking Suspicious Object with Estimation of Object Weight Ability,” *Int. Semin.*

Intell. Technol. Its Appl., 2016.

- [32] J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Sriwijaya, “Deteksi dan Estimasi Dimensi Lubang Jalan Secara Real-Time dengan Algotirma Mask Secara Real-Time dengan Algotirma Mask R-Cnn,” 2024.
- [33] J. Vogel, “Tech Explained: Ackermann Steering Geometry,” Racecar Engineering. [Online]. Available: <https://www.racecar-engineering.com/articles/tech-explained-ackermann-steering-geometry/>
- [34] O. Diaz-Hernandez and S. Rodriguez-Huitron, “Comparative analysis of two steering modes using a car-like mobile robot,” *Proc. - 2019 Int. Conf. Mechatronics, Electron. Automot. Eng. ICMEAE 2019*, pp. 114–118, 2019, doi: 10.1109/ICMEAE.2019.00028.