

**DISERTASI**

**Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan Berbasis Computer  
Vision Pada Kendaraan Otonom**

*Computer Vision Based Vehicle Relative Speed Detection in  
Autonomous Vehicles*

**MUHAMMAD ABDILLAH RAHMAT**

**D053202001**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK ELEKTRO**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**

# **PENGAJUAN DISERTASI**

## **DETEKSI KECEPATAN RELATIF KENDARAAN BERBASIS COMPUTER VISION PADA KENDARAAN OTONOM**

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor  
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD ABDILLAH RAHMAT**  
D053202001

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

# DISERTASI

## DETEKSI KECEPATAN RELATIF KENDARAAN BERBASIS COMPUTER VISION PADA KENDARAAN OTONOM

**MUHAMMAD ABDILLAH RAHMAT**  
**D053202001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 9 September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Promotor



Prof. Dr. Ir. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM., ASEAN.Eng.  
NIP. 19750716 200212 1 004

Co-Promotor



Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, MT  
NIP. 19601231 198703 1 022

Co-Promotor



Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T.  
NIP. 19720908 199702 2 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,  
MT., IPM., ASEAN.Eng.  
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi  
S3 Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, MT.  
NIP. 19601231 198703 1 022

## **PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhammad Abdillah Rahmat

Nomor mahasiwa : D053202001

Program studi : S3 Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi ini berjudul “Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan Berbasis Computer Vision Pada Kendaraan Otonom” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM., ASEAN.Eng sebagai Promotor, Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T sebagai co-promotor 1 dan Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T sebagai co-promotor 2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Prosiding (2022 2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science, DOI: 10.1109/ISMODE56940.2022.10180933) sebagai artikel dengan judul “Stereo Camera Calibration For Autonomous Car Applications”. Kemudian di jurnal (JOIV : International Journal on Informatics Visualization).

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Oktober 2024

Yang menyatakan



Muhammad Abdillah Rahmat

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT. atas berkah dan rahmat-Nya sehingga Disertasi dengan judul “Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan Berbasis *Computer Vision* Pada Kendaraan Otonom” dapat terselesaikan.

Dalam penyusunan disertasi ini, penulis telah memanfaatkan berbagai referensi relevan, baik dari artikel ilmiah, buku akademik, maupun sumber online. Namun, disertasi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang berkontribusi secara signifikan selama proses penulisannya.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan karya ilmiah ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Bimbingan, masukan konstruktif, dan motivasi yang diberikan sangat membantu menjaga kualitas dan kelancaran proses. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi, yang tanpa mereka disertasi ini tidak mungkin terwujud dan terima kasih banyak secara tertulis kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM., ASEAN.Eng selaku Promotor, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T sebagai co-promotor 1 dan Ibu Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T sebagai co-promotor 2 yang telah meluangkan waktu dan pikiran dengan penuh kesabaran dalam membimbing dan memberikan saran sehingga disertasi ini dapat tersusun dengan baik dan terstruktur.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir.Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng, Bapak Prof. Dr. Ir Dadang Gunawan. M.Eng, Bapak Prof Dr-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T, Bapak Dr. Elyas Palantei, S.T., M.Eng, Bapak Dr. Adnan, S.T., M.T, dan Bapak Dr. Ir. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng selaku komisi penguji yang telah berkontribusi dalam memberikan saran dan masukan untuk penyusunan disertasi ini.
3. Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa,M.Sc., Dekan Fakultas Teknik, Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad

Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., Ketua Departemen Teknik Elektro, Bapak Prof Dr-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T, Ketua Program Studi S3 Teknik Elektro, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T, dan seluruh dosen serta staf S3 Program studi Teknik Elektro yang telah memberikan dukungan dan layanan selama proses studi penulis.

4. Para rekan seangkatan S3 Teknik Elektro UNHAS dan seluruh mahasiswa Teknik Elektro UNHAS, Terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini kepada penulis.
5. Teman-teman di grup riset Artificial Intelligence and Multimedia Processing (AIMP) yang selalu membantu dan memberi support dalam proses penelitian.

Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta saya Bapak Prof. Dr. Rahmat Madjid, S.E., M.Si dan Ibu (Almarhumah) Darmawati Idrus, SE., S.Ip., M.M mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada kakak saya Muhammad Asyhari Rahmat dan Nurfitriyana Rahmat atas dukungan dan motivasi selama proses pendidikan. Serta penghargaan yang sebesar-besarnya juga saya sampaikan kepada Rieka Zalzabillah Putri yang paling spesial dan selalu memberikan support selama melaksanakan pendidikan ini serta memberikan motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Walaupun dalam penyusunannya, Penulis telah berusaha secara maksimal, namun jika masih ada kekurangan baik dari segi akademik keilmuan, maupun dari segi teknis penulisan Penulis memohon maaf dan mohon petunjuk berupa kritik dan saran, demi penyusunan selanjutnya agar lebih baik lagi.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan mohon maaf atas segala kekurangan. Semoga kesehatan dan kesuksesan senantiasa menyertai kita semua.

Makassar, Oktober 2024

Muhammad Abdillah Rahmat

## ABSTRAK

**MUHAMMAD ABDILLAH RAHMAT.** Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan Berbasis *Computer Vision* Pada Kendaraan Otonom (dibimbing oleh Indrabayu, Andani Achmad, A.Ejah Umraeni Salam)

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan menggunakan teknologi computer vision pada kendaraan otonom, khususnya dengan memanfaatkan kamera stereo. Dalam era perkembangan teknologi transportasi yang pesat, kebutuhan akan sistem yang dapat meningkatkan keselamatan berkendara semakin mendesak. Sistem yang diusulkan dalam penelitian ini berfokus pada penggunaan kamera stereo untuk mendeteksi jarak dan kecepatan relatif kendaraan lain di sekitar kendaraan otonom. Penggunaan kamera stereo memungkinkan perhitungan jarak dengan akurasi tinggi melalui metode triangulasi. Penelitian ini juga melibatkan pengembangan algoritma deteksi dan pelacakan objek berbasis deep learning, seperti YOLO (*You Only Look Once*) dan *Deep Sort*, untuk meningkatkan keakuratan dan konsistensi dalam mendeteksi serta melacak kendaraan. Penggunaan kamera stereo yang terkalibrasi dengan baik diharapkan mampu memberikan data kedalaman yang akurat, sehingga dapat digunakan untuk menghitung kecepatan relatif kendaraan lain dengan lebih efektif. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil meningkatkan akurasi deteksi kecepatan relatif, yang sangat penting untuk pengambilan keputusan secara real-time oleh sistem kendaraan otonom. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi kendaraan otonom yang lebih aman dan efisien, serta dapat diterapkan secara efektif dalam konteks lalu lintas di Indonesia.

**Kata Kunci:** Deteksi Kecepatan Relatif, Computer Vision, Kendaraan Otonom, Kamera Stereo, YOLO, Deep Learning.

## ABSTRACT

**MUHAMMAD ABDILLAH RAHMAT.** Computer Vision Based Vehicle Relative Speed Detection in Autonomous Vehicles (mentored Indrabayu, Andani Achmad, A.Ejah Umraeni Salam)

This research aims to develop a vehicle relative speed detection system using computer vision technology for autonomous vehicles, particularly by utilizing stereo cameras. In an era of rapid technological advancements in transportation, the need for systems that can enhance driving safety has become increasingly urgent.. The proposed system in this research focuses on using stereo cameras to detect the distance and relative speed of surrounding vehicles. The use of stereo cameras allows for high-accuracy distance calculations through triangulation methods.

This research also involves the development of object detection and tracking algorithms based on deep learning, such as YOLO (You Only Look Once) and Deep Sort, to improve the accuracy and consistency in detecting and tracking vehicles. Properly calibrated stereo cameras are expected to provide accurate depth data, which can then be used to effectively calculate the relative speed of other vehicles. The results of this research show that the developed system successfully improves the accuracy of relative speed detection, which is crucial for real-time decision-making by autonomous vehicle systems. Therefore, this research contributes to the development of safer and more efficient autonomous vehicle technology, which can be effectively applied in the traffic conditions of Indonesia.

**Keywords:** Relative Speed Detection, Computer Vision, Autonomous Vehicles, Stereo Cameras, YOLO, Deep Learning.

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	vii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah Penelitian .....	4
1.6 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN	9
2.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	9
2.1.1 <i>State of the art</i> .....	14
2.1.2 Posisi Penelitian .....	17
2.1.3 Tahapan Penelitian .....	19
2.1.4 Jenis Penelitian.....	22
2.1.5 Sumber Data.....	22
2.1.6 Instrumen Penelitian .....	24
2.1.7 Hipotesis Penelitian.....	24
2.1.8 Ilustrasi Umum Penelitian.....	26
BAB III KALIBRASI KAMERA <i>STEREO</i> UNTUK APLIKASI	
MOBIL OTONOM .....	29
3.1. Pendahuluan .....	29
3.2. <i>Literature View</i> .....	31
3.3. Metodologi .....	43

3.4. Hasil dan Pembahasan.....	48
3.5. Kesimpulan .....	50
<b>BAB IV TINJAUAN MENDALAM TENTANG DETEKSI KENDARAAN DAN ESTIMASI JARAK MENGGUNAKAN <i>DEEP LEARNING</i> DALAM MOBIL OTONOM .....</b>	<b>51</b>
4.1. Pendahuluan .....	52
4.2. Metode .....	55
4.3. Hasil dan Diskusi .....	60
4.4. Kesimpulan .....	66
<b>BAB V <i>EXTENDED PRE-PROCESSING</i> UNTUK MENINGKATKAN AKURASI DALAM DETEKSI KENDARAAN DAN PENGUKURAN JARAK MENGGUNAKAN KAMERA <i>STEREO</i> .....</b>	<b>68</b>
5.1. Pendahuluan .....	68
5.2. Penelitian Terkait .....	71
5.3. Metodologi .....	74
5.4. Hasil dan Eksperimen .....	85
5.5. Kesimpulan .....	89
<b>BAB VI PEMBAHASAN UMUM.....</b>	<b>90</b>
6.1. Kalibrasi <i>Stereo</i> Kamera .....	90
6.2. Deteksi Objek dan Jarak Kendaraan .....	91
6.3. Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan .....	91
6.4. Model Kerja Sistem Kecepatan Relatif Kendaraan Menggunakan <i>Stereo</i> Kamera.....	92
6.5. Kebaharuan Penelitian .....	100
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>102</b>
7.1. Kesimpulan .....	102
7.2. Saran.....	103
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>104</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Kerangka Konsep Penelitian .....	14
Gambar 2	Posisi Penelitian .....	17
Gambar 3	<i>Roadmap</i> Penelitian.....	20
Gambar 4	Hipotesis Penelitian.....	25
Gambar 5	Model Umum Sistem Kecepatan Relatif Kendaraan .....	26
Gambar 6	Proses Utama Pembentukan Visi <i>Stereo</i> .....	39
Gambar 7	Model <i>Pinhole</i> Kamera .....	40
Gambar 8	Proses <i>stereo Matching</i> menghasilkan peta <i>disparity</i> .....	41
Gambar 9	<i>Triangulasi</i> untuk menentukan posisi suatu benda .....	42
Gambar 10	Model Geometri dasar .....	42
Gambar 11	Pola papan yang baik dan kurang baik pada proses kalibrasi	43
Gambar 12	Pola papan catur yang digunakan.....	44
Gambar 13	Pengambilan gambar <i>stereo</i> .....	45
Gambar 14	Hasil rektifikasi <i>stereo</i> .....	46
Gambar 15	Hasil <i>stereo match</i> .....	47
Gambar 16	Kesalahan proyeksi nilai RMSE .....	50
Gambar 17	Nilai parameter intrinsik kamera.....	50
Gambar 18	Nilai parameter ekstrinsik kamera.....	50
Gambar 19	Proses Penyaringan dan Seleksi Studi.....	55
Gambar 20	<i>Dataset Sample</i> Gambar.....	58
Gambar 21	Visualisasi <i>Sample Dataset</i> .....	75
Gambar 22	Diagram Umum Sistem Pengukuran Jarak Kendaraan .....	76
Gambar 23	Arsitektur YOLO .....	79
Gambar 24	Ilustrasi kerja kamera <i>stereo</i> pada deteksi jarak kendaraan ..	80
Gambar 25	Diagram sistem 2 skenario .....	85
Gambar 26	Perbandingan Skenario 1 dan Skenario 2.....	88
Gambar 27	Deteksi objek kendaraan dan deteksi jarak kendaraan.....	88
Gambar 28	Model Kerja Sistem Kecepatan Relatif Kendaraan.....	95
Gambar 29	Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan.....	95

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>State of the art</i> .....	15
Tabel 2 Implementasi Proyeksi Perspektif.....	37
Tabel 3 Nilai RMSE pada papan catur pola satuan ukuran dari 3 cm .....	49
Tabel 4 Nilai RMSE pada papan catur pola satuan ukuran dari 11 cm ...	49
Tabel 5 Evaluasi Kinerja Algoritma <i>Deep Learning</i> .....	62
Tabel 6 Analisis Deteksi Kendaraan YOLO .....	86
Tabel 7 Skenario Deteksi Jarak Hasil 1 .....	87
Tabel 8 Skenario Deteksi Jarak Hasil 2 .....	87
Tabel 9 Evaluasi Sistem Deteksi Kecepatan Relatif dengan Kecepatan Pengamat 10 km/jam.....	96
Tabel 10 Evaluasi Sistem Deteksi Kecepatan Relatif dengan Kecepatan Pengamat 20 km/jam.....	96

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Di era digital saat ini, perkembangan di dunia teknologi sangat pesat serta diiringi juga dengan peningkatan akan kebutuhan beragam moda transportasi. Pesatnya pertumbuhan inovasi teknologi berbasis *Artificial Intelligence* di sektor kendaraan sangat terlihat, ditandai dengan diproduksi mobil-mobil masal yang berteknologi tinggi. Terkait dengan tingginya akan kebutuhan transportasi, maka salah satu dampaknya adalah kecelakaan lalu lintas. Kecelakaan lalu lintas menurut UU RI NO. 22 tahun 2009 adalah suatu peristiwa di jalan raya yang tidak diduga dan tidak disengaja melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pengguna jalan lain yang mengakibatkan korban manusia dan atau kerugian harta benda.

Berdasarkan statistik data kecelakaan dan pelanggaran lalu lintas kepolisian Republik Indonesia untuk bagian Daerah Sulawesi Selatan pada tahun 2024, data terbaru menunjukkan bahwa pada tahun 2022, jumlah kecelakaan di Sulawesi Selatan tercatat sebanyak 5.987 kasus dengan 905 korban meninggal dunia. Sementara itu, tahun 2023 menunjukkan sedikit peningkatan dengan 6.124 kasus kecelakaan dan 918 korban meninggal dunia. Meskipun angka kecelakaan menurun dibanding tahun-tahun sebelumnya, angka korban meninggal dunia masih cukup tinggi. Hal ini dapat menjadi solusi untuk mengembangkan *autonomous car* khusus untuk daerah Sulawesi Selatan dengan karakteristik pengendara di daerah tersebut, sehingga dibutuhkan sebuah sistem untuk membantu pengemudi dalam memperkirakan jarak relatif kendaraan agar terhindar dari tabrakan. Pengukuran jarak antar kendaraan dapat dilakukan Ketika posisi kendaraan telah diketahui. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengukur jarak antara kendaraan, salah satunya adalah penggunaan sensor aktif dan sensor pasif (Wang et al., 2018).

Penggunaan sensor aktif memberikan hasil yang sangat baik untuk mendeteksi kendaraan, tetapi selain harganya yang mahal untuk beberapa tipe sensor, juga akan menghadapi kesulitan seperti gangguan sensor saat beberapa

mobil menggunakan teknologi yang sama. Sensor pasif seperti kamera memperoleh data tanpa memancarkan sinyal atau tanpa mengganggu kendaraan lain. Sensor pasif dapat menggunakan kamera tunggal, kamera *stereo* atau beberapa kamera.

Seiring dengan bertambahnya jumlah mobil yang ada dan mengingat banyaknya angka kecelakaan yang terjadi di Indonesia, maka tentu tidaklah mudah untuk menguranginya, karena kecelekaan yang terjadi memiliki beberapa faktor, yang diantaranya ada kelalaian pengemudi atas ketertiban lalu lintas, kendaraan yang bermasalah, ataupun faktor-faktor lainnya. Dengan angka kecelakaan sebesar itu, maka seharusnya sudah ada upaya untuk menguranginya, salah satu contohnya adalah *Autonomous car*. *Autonomous car* merupakan mobil yang dapat berjalan atau bergerak secara otomatis sesuai dengan yang diperintahkan oleh pemilik mobil, dengan begitu pemilik mobil bisa lebih merasa nyaman dan tenang saat berada di dalam mobil.

Perkembangan industri otomotif dalam beberapa tahun terakhir ini kian pesat. Sangat banyak inovasi yang di keluarkan oleh beberapa perusahaan dalam mengembangkan mobil-mobil keluaran mereka. *Autonomous car* atau mobil tanpa awak, dimana mobil yang dikendalikan komputer yang dapat membimbing dirinya sendiri, membiasakan diri dirinya sendiri dengan lingkungan sekitar, membuat keputusan, dan beroperasi penuh tanpa interaksi manusia .

*Autonomous car* dapat mengurangi resiko kecelakaan jika persyaratannya terpenuhi, semisal marka jalan yang dibuat secara baik, kondisi jalan yang sesuai dengan peta dan sebagainya, oleh karena itu mengapa *full autonomous car* belum bisa dijalankan di Indonesia disebabkan banyaknya persyaratan yang belum terpenuhi ditambah dengan kondisi pengendara di Indonesia yang kurang mematuhi peraturan berkendara di jalan raya, namun sudah banyak *semi-autonomous car* yang dipasarkan di Indonesia, dengan mengusung sistem *self-driving car* yang sudah memiliki sistem keamanan lebih, memungkinkan mobil memberi peringatan kepada pengemudi jika ada kendaraan yang terlalu dekat dengan mobil, mampu menjaga jarak aman mobil dengan kendaraan didepannya, lalu ada *line keeping assist* yang berguna untuk menjaga mobil selalu pada jalurnya, terutama saat pengendara mengantuk dan terindikasi akan keluar jalur, serta sistem keamanan

lainnya yang disematkan pada mobil tersebut. *Autonomous car* merupakan sebuah sistem yang dijalankan oleh komputer yang tidak memiliki perasaan mengantuk ataupun kelelahan seperti manusia, maka diharapkan mampu lebih meningkatkan keamanan saat berkendara.

Sangat banyak kecelakaan terjadi akibat dari kelalaian manusia sendiri. Tercatat 61% penyebab kecelakaan terbesar karena kemampuan serta karakter pengemudi. Melihat tingginya angka kecelakaan inilah diperlukan sistem yang dapat mengambil keputusan dan memecahkan masalah secara *real-time* dalam berkendara dengan aman (Y. Zhang et al., 2021).

Hal penting dalam membangun sebuah sistem *autonomous car* ialah mendeteksi semua objek yang ada di sekitar mobil dan mengetahui kecepatan relatif kendaraan sekitar agar mobil yang kita kendarai dapat cepat mengambil keputusan dalam pergerakan mobil. Banyak penelitian terkait yang membahas tentang mendeteksi objek-objek dan kecepatan relatif.

Beberapa tahun terakhir ini, pendeteksian kecepatan relatif dan objek telah menjadi perhatian luas sehingga merupakan salah satu topik paling penting pada bidang *autonomous car* untuk mendeteksi kecepatan relatif dan objek pada kendaraan secara *real time*.

Penelitian ini sangat perlu dilakukan dengan memanfaatkan berbagai macam teknologi maupun penemuan baru pada bidang kecerdasan buatan. Tersedianya sebuah sistem untuk melakukan identifikasi satu kendaraan dan banyak kendaraan dalam satu *frame* sehingga dapat menentukan kecepatan relatif pada kendaraan otonom guna mengantisipasi secara dini kecelakaan yang mungkin akan terjadi akibat kelalaian pengemudi secara manual. Inilah yang menjadi alasan penting kehadiran penelitian “**Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan Berbasis Computer Vision Pada Kendaraan Otonom**” sebagai Langkah antisipasi untuk menghindari kecelakaan sejak dini.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mengidentifikasi banyak kendaraan menggunakan stereo kamera?
2. Bagaimana mengidentifikasi jarak dan kecepatan relatif pada kendaraan sekitar menggunakan *stereo* kamera?
3. Bagaimana kinerja deteksi jarak dan kecepatan relatif pada kendaraan sekitar menggunakan *stereo* kamera?

### **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, mengacu pada rumusan masalah adalah :

1. Mengidentifikasi banyak kendaraan menggunakan *stereo* kamera.
2. Mengidentifikasi jarak dan kecepatan relatif pada kendaraan sekitar menggunakan *stereo* kamera.
3. Mengetahui kinerja deteksi jarak dan kecepatan relatif pada kendaraan sekitar menggunakan *stereo* kamera.

### **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

Manfaat yang akan di dapatkan dari penelitian ini yakni :

1. Tersedia sebuah sistem yang dapat mendeteksi kecepatan relatif pada sistem kendaraan otomatis
2. Menjadi media bantu dan memberikan informasi dalam pengembangan kendaraan otomatis khususnya deteksi objek dan kecepatan relatif pada sistem kendaraan otomatis
3. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk para akademisi terutama untuk penulis

### **1.5 BATASAN MASALAH PENELITIAN**

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Data training berupa foto dan video.
2. Data uji yang digunakan video.
3. Objek deteksi berupa kendaraan mobil, motor.

4. Kendaraan yang dideteksi kendaraan searah.

## 1.6 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup penelitian ini berfokus pada pengembangan metode dan teknik untuk deteksi kecepatan relatif kendaraan berbasis *computer vision* pada kendaraan otonom. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi, khususnya dalam konteks lingkungan lalu lintas di Indonesia, di mana karakteristik lalu lintas dan infrastruktur jalan dapat berbeda dari negara-negara maju tempat teknologi kendaraan otonom umumnya dikembangkan.

Berbagai pendekatan telah dieksplorasi dalam penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan deteksi dan klasifikasi rintangan pada kendaraan otonom. Salah satu penelitian yang signifikan adalah oleh Prabhakar, dkk, yang menggunakan metode *Region-based Convolutional Neural Network* (RCNN). Metode ini menunjukkan hasil yang sangat baik dengan mencapai *Mean Average Precision* (MAP) sebesar 71,7%, 90,5%, dan 97,42% pada *dataset* KITTI dan iRoads. Penelitian ini menyoroti kemampuan RCNN dalam mendeteksi rintangan secara akurat di berbagai kondisi jalan dan kecepatan kendaraan.

Selanjutnya, penelitian oleh Deepika, dkk, menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan arsitektur *SegNet encoder-decoder*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma tersebut mampu mencapai rata-rata *Intersection Over Union* (IoU) sebesar 0.7631, yang menandakan kemampuan yang tinggi dalam segmentasi dan klasifikasi rintangan. Metode ini memperlihatkan potensi besar dalam aplikasi navigasi berbasis visi untuk kendaraan otonom.

Penelitian oleh Noa, dkk, menggunakan *Automated Ground truth* (AGT) *Algorithm* yang dikombinasikan dengan arsitektur jaringan *StixelNet* untuk meningkatkan deteksi rintangan umum. Hasil penelitian ini menekankan pentingnya penggunaan algoritma *ground truth* otomatis dalam meningkatkan akurasi deteksi rintangan dalam waktu nyata.

Nurlatifah, dkk, melakukan penelitian yang fokus pada deteksi sepeda motor menggunakan *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dan *Pinhole Model*. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode SSD dapat mencapai akurasi deteksi

tertinggi hingga 100% dalam kondisi *real-time*, meskipun dalam beberapa kasus akurasi bisa turun hingga 66.67%. Temuan ini penting karena sepeda motor merupakan salah satu elemen dominan dalam lalu lintas di Indonesia.

Penelitian oleh Xie, dkk, mengaplikasikan metode RANSAC (*Random Sample And Consensus*) untuk pengelompokan rintangan. Algoritma ini berhasil mengelompokkan rintangan secara efisien dan mendeteksi rintangan statis dan dinamis dengan menggunakan metode *fusi multi-frame*. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode RANSAC dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan pemahaman lingkungan sekitar kendaraan otonom.

Chen, dkk, mengembangkan metode CP-MTL (*Cartesian Product-Multi Task Learning*) yang secara matematis terbukti lebih optimal daripada pendekatan linear *multi-task*. Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan multi-tugas berbasis produk kartesian dapat meningkatkan performa deteksi objek berbahaya dalam pengemudian otonom.

Giannakeris P, dkk, menggunakan Algoritma *Kanade Lucas Tomasi Feature Tracker* (KLT Tracker) untuk estimasi kecepatan dan deteksi anomali pergerakan kendaraan. Hasil penelitian ini menunjukkan skor 0,33 untuk deteksi anomali dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 277, yang mengindikasikan kemampuan dalam mendeteksi dan mengestimasi pergerakan kendaraan dengan tingkat kesalahan waktu deteksi tertentu.

Chen Z, dkk, dalam penelitiannya menggunakan SSD dan YOLO V3 untuk deteksi objek secara *real-time*. Penelitian ini menemukan bahwa YOLO V3 memiliki akurasi yang lebih tinggi dan kemampuan adaptasi yang lebih baik dalam kondisi *real-time* dibandingkan SSD. YOLO V3 mencapai skor MAP 85% dengan kecepatan 11,2 fps, sedangkan SSD mendapatkan skor MAP 79,5% dengan kecepatan 8,6 fps.

Cao J, dkk, mengembangkan Algoritma Deteksi Kendaraan Depan berbasis model SSD yang dimodifikasi, mencapai mAP sebesar 92,18% dengan rata-rata waktu proses per *frame* sebesar 15 ms. Penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi pada model SSD dapat meningkatkan performa deteksi kendaraan depan dalam aplikasi kendaraan otonom.

Mengacu pada berbagai kajian literatur yang telah dipaparkan, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi yang lebih efektif dalam mendeteksi kecepatan relatif kendaraan pada kendaraan otonom. Fokus utama penelitian ini adalah pada adaptasi dan optimalisasi teknik deteksi kecepatan untuk lingkungan lalu lintas di Indonesia, yang memiliki karakteristik unik dan tantangan tersendiri. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi kendaraan otonom di Indonesia, dengan meningkatkan keamanan dan efisiensi navigasi kendaraan dalam berbagai kondisi lalu lintas lokal.

## BAB II

### KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

#### 2.1 Kerangka Konsep Penelitian

Kendaraan otonom, atau *autonomous vehicle* (AV), merupakan salah satu inovasi teknologi yang berpotensi mengubah secara drastis cara kita berkendara dan berinteraksi dengan infrastruktur jalan. Teknologi ini menjadi semakin relevan seiring dengan perkembangan urbanisasi yang pesat di banyak negara, termasuk Indonesia. Di Indonesia lonjakan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya menyebabkan kemacetan lalu lintas yang parah dan meningkatkan angka kecelakaan lalu lintas. Situasi ini menuntut adanya solusi inovatif untuk mengatasi masalah transportasi dan meningkatkan keselamatan jalan. Kendaraan otonom menawarkan harapan untuk mengurangi kemacetan, menurunkan angka kecelakaan, dan meningkatkan efisiensi transportasi.

Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam hal manajemen lalu lintas dan keselamatan jalan. Karakteristik lalu lintas di Indonesia sangat beragam dengan kombinasi kendaraan pribadi, angkutan umum, sepeda motor, dan kendaraan niaga yang berbagi jalan. Situasi ini menciptakan lingkungan yang dinamis dan kompleks, di mana keputusan cepat dan tepat sangat penting untuk menghindari kecelakaan. Kendaraan otonom dengan kemampuan untuk mendeteksi dan bereaksi terhadap kecepatan relatif dari kendaraan lain di sekitarnya sangat penting dalam konteks ini.

Deteksi kecepatan relatif kendaraan lain merupakan salah satu aspek kunci dalam sistem kendaraan otonom. Kecepatan relatif ini mengacu pada kecepatan kendaraan lain dibandingkan dengan kecepatan kendaraan otonom itu sendiri. Informasi ini sangat penting untuk pengambilan keputusan secara *real-time*, seperti mengatur jarak aman, melakukan pengereman, atau menghindari kendaraan yang bergerak secara tiba-tiba. Dengan kata lain, kemampuan untuk secara akurat mendeteksi kecepatan relatif kendaraan lain adalah krusial untuk memastikan keselamatan penumpang dan pengguna jalan lainnya.

Saat ini, teknologi lidar (*Light Detection and Ranging*) dan radar (*Radio*

*Detection and Ranging*) banyak digunakan dalam kendaraan otonom untuk deteksi jarak dan kecepatan. Meskipun teknologi ini efektif, mereka memiliki beberapa keterbatasan. Sensor lidar dan radar sangat mahal dan dapat meningkatkan biaya produksi kendaraan secara signifikan. Selain itu, performa sensor ini dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tertentu seperti hujan lebat, kabut, atau medan yang penuh dengan gangguan sinyal. Keterbatasan ini menuntut adanya alternatif yang lebih murah dan tetap efektif untuk mendeteksi jarak dan kecepatan relatif kendaraan lain.

Penggunaan kamera *stereo* muncul sebagai solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan ini. Kamera *stereo*, yang terdiri dari dua kamera yang dipasang dengan jarak tertentu, dapat menangkap gambar dari dua sudut pandang yang berbeda. Dengan informasi ini, sistem dapat melakukan *Triangulasi* untuk menghitung jarak objek dengan akurasi tinggi. Selain itu, kamera *stereo* lebih murah dibandingkan lidar dan radar, dan dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan dengan performa yang baik. Kamera juga memiliki kemampuan untuk menangkap informasi visual yang lebih kaya, yang dapat digunakan untuk deteksi objek dan pengenalan pola.

Namun, penggunaan kamera *stereo* untuk mendeteksi kecepatan relatif kendaraan membutuhkan pengembangan algoritma yang kompleks. Proses ini mencakup kalibrasi kamera untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik yang akurat, deteksi objek kendaraan di gambar yang diambil oleh kamera *stereo*, estimasi jarak kendaraan menggunakan metode *Triangulasi*, dan penghitungan kecepatan relatif kendaraan menggunakan algoritma berbasis *optical flow* serta teknik-teknik lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan berbasis computer vision pada kendaraan otonom, dengan fokus pada aplikasi di lingkungan lalu lintas. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi transportasi di kota-kota besar Indonesia, dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan sensor lidar dan radar. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi teknologi yang inovatif, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat melalui

transportasi yang lebih aman dan efisien.

Teknologi kendaraan otonom saat ini berkembang dengan sangat pesat, memanfaatkan berbagai sensor dan algoritma canggih untuk navigasi dan deteksi lingkungan sekitar (lihat bagian Kondisi Saat Ini pada gambar). Kendaraan ini dirancang untuk bergerak secara mandiri dengan sedikit atau tanpa intervensi manusia, memungkinkan efisiensi dan keselamatan yang lebih tinggi dalam lalu lintas. Salah satu aspek penting dalam teknologi ini adalah kemampuan untuk mendeteksi kecepatan relatif dari kendaraan lain di sekitarnya. Kemampuan ini sangat penting untuk menghindari tabrakan dan menjaga keselamatan penumpang serta pengguna jalan lainnya. Saat ini, sensor yang umum digunakan untuk deteksi jarak dan kecepatan adalah lidar dan radar. Meskipun sangat efektif, sensor-sensor ini memiliki beberapa keterbatasan, termasuk biaya yang tinggi dan performa yang dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tertentu seperti cuaca buruk.

Untuk mengatasi keterbatasan yang ada pada sensor lidar dan radar, penggunaan kamera *stereo* diusulkan sebagai alternatif yang lebih murah dan fleksibel untuk mendeteksi jarak dan kecepatan relatif kendaraan (lihat bagian Solusi yang Direncanakan pada gambar). Kamera *stereo*, dengan kemampuan untuk menangkap gambar dari dua sudut pandang yang berbeda, memungkinkan perhitungan jarak objek dengan akurasi yang tinggi. Namun, untuk mendukung penggunaan kamera *stereo* ini, diperlukan pengembangan algoritma yang komprehensif. Algoritma tersebut mencakup proses kalibrasi kamera untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik yang akurat, deteksi objek kendaraan di gambar yang diambil oleh kamera *stereo*, estimasi jarak kendaraan menggunakan metode *Triangulasi*, dan penghitungan kecepatan relatif kendaraan menggunakan algoritma berbasis *optical flow* serta teknik-teknik lainnya.

Ruang lingkup riset ini mencakup beberapa langkah penting yang digambarkan dalam bagian Ruang Lingkup Riset pada gambar. Pertama, kalibrasi *stereo* kamera diperlukan untuk mendapatkan parameter intrinsik seperti *focal length* dan *optical center*, serta parameter ekstrinsik seperti rotasi dan translasi antara dua kamera. Proses ini penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari kamera *stereo* dapat digunakan untuk perhitungan yang akurat. Kedua, deteksi

objek kendaraan akan dilakukan menggunakan teknik *computer vision* dan model *Deep Learning* seperti YOLO (*You Only Look Once*), *Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network)*, dan SSD (*Single Shot Multibox Detector*). Ketiga, estimasi jarak kendaraan akan diterapkan menggunakan metode *Triangulasi* pada gambar *stereo* untuk menghitung jarak ke kendaraan yang terdeteksi. Keempat, deteksi kecepatan relatif kendaraan akan dihitung menggunakan algoritma *optical flow* seperti *Lucas-Kanade* dan *Farneback* untuk menghitung perubahan posisi objek di *frame* gambar yang berurutan.

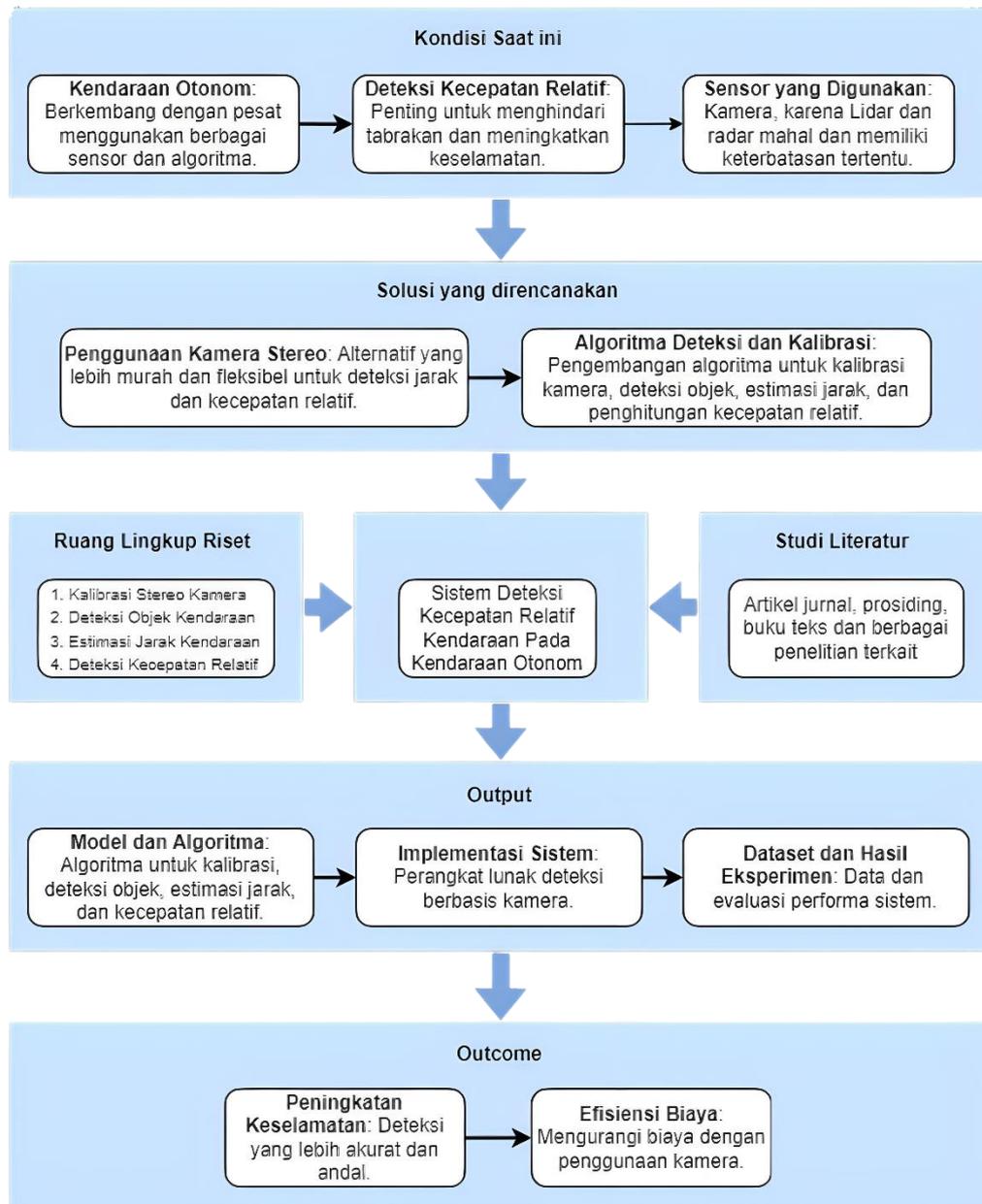
Untuk mendukung penelitian ini, studi literatur yang komprehensif akan dilakukan. Dalam hal kalibrasi kamera, metode seperti *Zhang's method* dan *toolkit* seperti *OpenCV* akan ditinjau untuk memahami teknik-teknik kalibrasi yang sudah ada. Dalam deteksi objek, penelitian terbaru dalam bidang *Deep Learning* yang menggunakan model seperti YOLO, *Faster R-CNN*, dan SSD akan dipelajari untuk mengidentifikasi metode terbaik dalam deteksi objek kendaraan. Untuk estimasi jarak, berbagai metode *stereo vision* dan *Triangulasi* yang digunakan dalam aplikasi *computer vision* akan ditinjau. Selain itu, teknik *optical flow* seperti *Lucas-Kanade* dan *Farneback* akan dipelajari untuk memahami bagaimana menghitung kecepatan relatif dari gambar berurutan.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan beberapa *output* penting yang digambarkan dalam bagian *Output* pada gambar. Pertama, model dan algoritma untuk kalibrasi kamera, deteksi objek, estimasi jarak, dan deteksi kecepatan relatif kendaraan akan dikembangkan. Kedua, implementasi sistem deteksi berbasis *computer vision* untuk kendaraan otonom akan dibuat dalam bentuk perangkat lunak yang menggabungkan semua algoritma tersebut. Ketiga, *dataset* yang digunakan dalam penelitian ini akan dikumpulkan dan hasil eksperimen serta evaluasi performa sistem akan didokumentasikan secara menyeluruh untuk memberikan gambaran tentang efektivitas dan efisiensi dari solusi yang diusulkan.

Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam beberapa aspek yang ditunjukkan dalam bagian *Outcome* pada gambar. Pertama, peningkatan keselamatan kendaraan otonom melalui deteksi yang lebih akurat dan andal akan dicapai, yang pada gilirannya dapat mengurangi risiko

tabrakan dan meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap teknologi ini. Kedua, penggunaan kamera sebagai pengganti sensor mahal seperti lidar dan radar akan mengurangi biaya produksi dan operasional kendaraan otonom, menjadikannya lebih terjangkau bagi banyak pihak. Ketiga, penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi deteksi dan navigasi kendaraan otonom berbasis *vision*, serta memperkaya literatur ilmiah dengan temuan dan inovasi baru di bidang ini.

Dalam konteks spesifik Indonesia, solusi ini sangat relevan. Jalanan di Indonesia sering kali padat dan dinamis, dengan berbagai jenis kendaraan mulai dari mobil, sepeda motor, hingga kendaraan niaga. Kondisi ini menuntut adanya teknologi yang mampu beradaptasi dengan cepat dan memberikan respons yang tepat untuk setiap situasi. Deteksi kecepatan relatif setiap kendaraan menjadi sangat penting untuk menghindari potensi kecelakaan, terutama dalam situasi lalu lintas yang padat dan tidak menentu. Dengan menggunakan kamera *stereo* dan algoritma yang dikembangkan, kendaraan otonom dapat memperoleh informasi *real-time* tentang kecepatan relatif kendaraan lain di sekitarnya. Informasi ini memungkinkan sistem untuk mengambil tindakan yang tepat, seperti mengurangi kecepatan, berpindah jalur, atau berhenti sepenuhnya untuk menghindari tabrakan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi teknologi yang inovatif, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan keselamatan dan efisiensi lalu lintas di kota-kota besar di Indonesia. Secara ringkas rangkuman teori pada penelitian ini di sajikan dalam sebuah diagram kerangka konsep penelitian yang di tampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kerangka Konsep Penelitian

### 2.1.1 *State of the art*

Untuk mendukung penelitian ini dan memberikan gambaran komprehensif tentang perkembangan terkini dalam topik yang sedang diteliti, dilakukan studi literatur yang mendalam. Studi ini bertujuan untuk mengkaji berbagai penelitian relevan yang telah dilaksanakan oleh peneliti terdahulu. Tabel 1 di bawah ini menyajikan ringkasan dari penelitian-penelitian terkait yang relevan dengan topik deteksi kecepatan relatif kendaraan. Penelitian-penelitian ini mencakup berbagai

pendekatan, metode, dan teknologi yang telah digunakan untuk mengatasi tantangan dalam mendeteksi kecepatan relatif, memberikan dasar yang kuat dan referensi berharga bagi pengembangan solusi yang diusulkan dalam penelitian ini. Selain itu, potensi dari masing-masing penelitian terkait diidentifikasi untuk membantu memahami bagaimana temuan tersebut dapat diterapkan atau ditingkatkan dalam konteks penelitian saat ini.

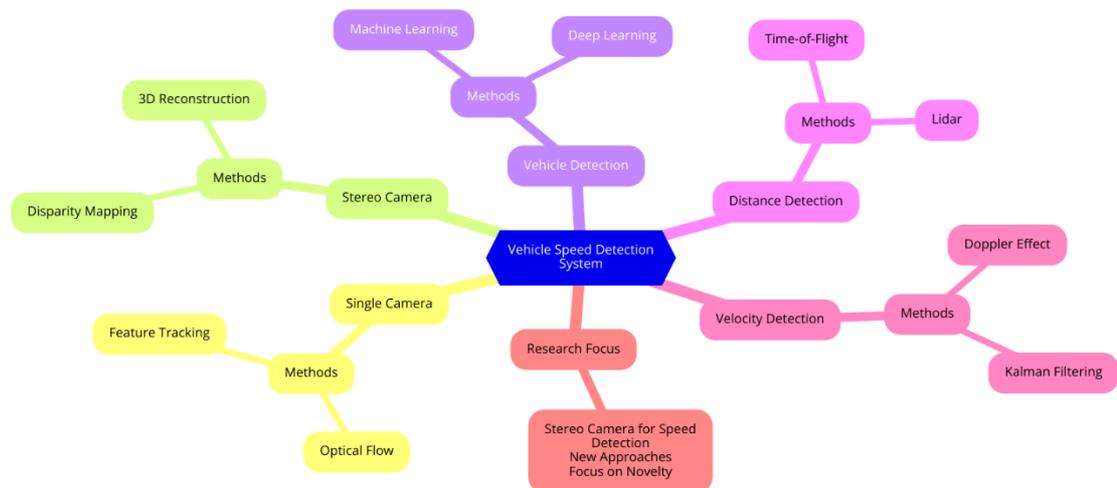
Tabel 1 *State of the art*

No.	Judul	Penulis	Metode	Potensi Penelitian
1.	<i>Detection of Vehicle Position and Speed using Camera Calibration and Image Projection Methods</i>	Alexander A S Gunawan, dkk. 2019	<i>Direct Linear Transformation (DLT), Mixture of Gaussian (MoG)</i>	PP 1 : <i>Multi Object Detection</i> PP 2: <i>Using Dashboard Camera</i> PP 3 : Pengembangan model untuk multi objek kendaraan
2.	<i>Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera</i>	Abdelmogh hit Zaarane, dkk. 2020	<i>Discrete Wavelet Transform, AdaBoost</i>	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i>
3.	<i>Vehicle speed measurement model for video-based systems</i>	Saleh Javadi, dkk. 2019	<i>Machine vision, Pattern recognition</i>	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i> PP 5 : Adaptasi <i>Stereo Dashboard Camera</i>
4.	<i>Vision-based real-time vehicle detection and vehicle speed measurement using morphology and binary logical operation</i>	Janak D. Trivedi, dkk. 2021	<i>Inter-frame difference method (IFD), Blob analysis</i>	PP 5 : Adaptasi <i>Stereo Dashboard Camera</i>
5.	<i>Efficient Vehicle Detection and Distance Estimation Based on</i>	Jong Bae Kim, 2019	<i>AdaBoost</i>	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i>

	<i>Aggregated Channel Features and Inverse Perspective Mapping from a Single Camera</i>			PP 5 : Adaptasi <i>Stereo Dashboard Camera</i> PP 6 : Fitur Ekstraksi
6.	<i>The Design of Preventive Automated Driving Systems Based on Convolutional Neural Network</i>	Wooseop Lee, dkk. 2021	<i>Faster R-CNN, YOLO V2</i>	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i> PP 5 : Adaptasi <i>Stereo Dashboard Camera</i>
7.	<i>On the Performance of One-Stage and Two-Stage Object Detectors in Autonomous Vehicles Using Camera Data</i>	Manuel Carranza-García, dkk. 2020	RetinaNet, FCOS (Fully Convolutional One-Stage Detector), dan YOLOv3	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i> PP 5 : Adaptasi <i>Stereo Dashboard Camera</i> PP 7 : <i>Pre-Processing</i> pada resolusi besar untuk penggunaan kamera <i>dashboard</i> PP 8 : Membuat real data
8.	<i>Two-camera based accurate vehicle speed measurement using average speed at a fixed point</i>	D. F. Llorca, dkk. 2016	<i>Optical Character Recognition, CNN</i>	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i> PP 5 : Adaptasi <i>Stereo Dashboard Camera</i>
9.	<i>End-to-end Learning for Inter-Vehicle Distance and Relative Velocity Estimation in ADAS with a Monocular Camera</i>	Zhenbo Song, dkk. 2020	<i>Deep neural Network</i>	PP 9 : Optimalisasi Algoritma untuk deteksi kecepatan

10.	<i>Distance Measurement For Self-driving cars Using Stereo Camera</i>	Yasir Dawood Salman, dkk. 2017	<i>Measurment Method</i>	PP 4 : Peningkatan akurasi pada <i>Pre-Processing</i> PP 7 : <i>Pre-Processing</i> pada resolusi besar untuk penggunaan kamera <i>dashboard</i>
11.	<i>Obstacle Detection and Classification using Deep Learning for Tracking in High-Speed Autonomous Driving</i>	Gowdham Prabhakar, dkk. 2017	<i>Faster R-CNN</i>	PP 7 : <i>Pre-Processing</i> pada resolusi besar untuk penggunaan kamera <i>dashboard</i> PP 8 : Membuat real data
12.	<i>Relative distance measurement between moving vehicles for manless driving</i>	Nurul Fathanah Mustamin, dkk. 2018	<i>Width Based Method, Haar Like Cascade, HOG</i>	P 7 : <i>Pre-Processing</i> pada resolusi besar untuk penggunaan kamera <i>dashboard</i> PP 9 : Optimalisasi Algoritma untuk deteksi kecepatan

2.1.2 Posisi Penelitian



Gambar 2 Posisi Penelitian

Pengembangan sistem deteksi kecepatan kendaraan merupakan salah satu komponen penting dalam teknologi kendaraan otonom. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi kendaraan otonom dengan mendeteksi dan mengukur kecepatan kendaraan lain di sekitarnya secara akurat. Berdasarkan gambar peta konsep yang disajikan, berikut adalah narasi rinci mengenai posisi penelitian ini:

Penelitian ini berfokus pada penggunaan kamera *stereo* untuk mendeteksi kecepatan kendaraan. Pendekatan ini dipilih karena kemampuan kamera *stereo* untuk menyediakan informasi kedalaman yang lebih akurat, yang penting dalam menghitung kecepatan kendaraan. Selain itu, penelitian ini juga menekankan pada pengembangan pendekatan baru dan inovatif dalam penggunaan kamera *stereo* untuk deteksi kecepatan, dengan tujuan meningkatkan keandalan dan akurasi sistem.

Beberapa metode utama yang digunakan dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan adalah:

#### 1. Metode Kamera Stereo:

- **Pemetaan Disparitas:** Teknik ini digunakan untuk mengukur perbedaan posisi objek dalam dua gambar yang diambil oleh kamera *stereo*. Informasi ini kemudian digunakan untuk menghitung kedalaman dan kecepatan objek.
- **Rekonstruksi 3D:** Menggunakan data disparitas untuk membangun model 3D dari lingkungan sekitar, memungkinkan perhitungan kecepatan yang lebih akurat.
- **Pelacakan Fitur:** Teknik ini melibatkan identifikasi dan pelacakan titik-titik penting dalam urutan gambar untuk mengukur perubahan posisi dan kecepatan objek.

#### 2. Metode Kamera Tunggal:

- **Pelacakan Fitur Optikal:** Menggunakan teknik optikal untuk melacak gerakan fitur dalam gambar dan mengestimasi kecepatan kendaraan berdasarkan perubahan posisi fitur tersebut.

### 3. Deteksi Jarak dan Kecepatan:

- **Lidar dan *Time-of-Flight*:** Lidar digunakan untuk mengukur jarak dengan mengirimkan pulsa laser dan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk kembali. Teknik *Time-of-Flight* ini memungkinkan pengukuran jarak yang sangat akurat.
- **Efek *Doppler*:** Menggunakan perubahan frekuensi gelombang yang dipantulkan untuk mengukur kecepatan relatif kendaraan.
- ***Kalman Filtering*:** Metode ini digunakan untuk memfilter data sensor dan menghasilkan estimasi kecepatan yang lebih akurat dan stabil.

### 4. Metode Pembelajaran Mesin dan Pembelajaran Mendalam:

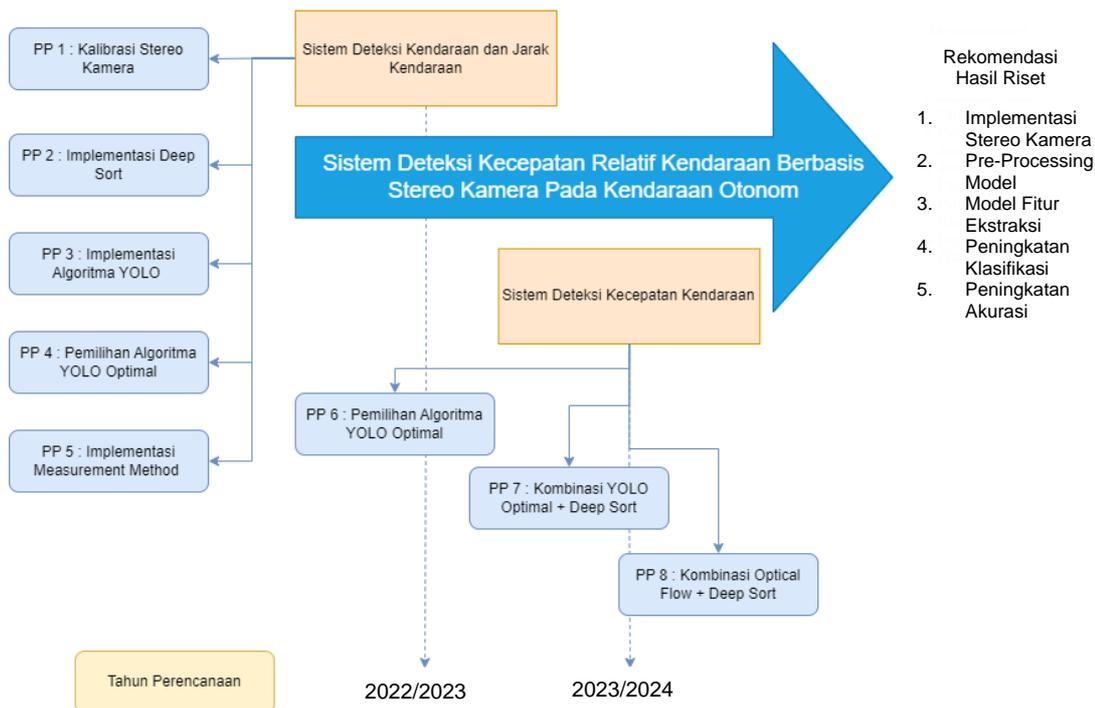
- **Deteksi Kendaraan:** Algoritma pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan dalam gambar, yang merupakan langkah awal dalam proses pengukuran kecepatan.

Gambar 2 menunjukkan penelitian ini menempati posisi unik dalam bidang deteksi kecepatan kendaraan, dengan fokus pada penggunaan kamera *stereo* dan pengembangan metode baru yang inovatif. Dengan menggabungkan berbagai teknologi dan metode seperti pemetaan disparitas, rekonstruksi 3D, dan pelacakan fitur, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan sistem deteksi kecepatan pada kendaraan otonom. Hal ini diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan teknologi kendaraan otonom yang lebih aman dan efisien di masa depan.

#### 2.1.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengembangkan sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan menggunakan teknologi *stereo* kamera, yang diintegrasikan dengan berbagai metode deteksi dan pelacakan objek. Tahapan penelitian ini mencakup beberapa langkah kunci yang disusun dalam *Roadmap* untuk mencapai

tujuan akhir: sistem deteksi kecepatan kendaraan yang andal dan akurat. Setiap tahap dalam *Roadmap* ini diidentifikasi sebagai Potensi Penelitian (PP), yang merupakan langkah-langkah penting untuk mencapai hasil yang diinginkan. Berikut adalah narasi yang menggambarkan tahapan penelitian tersebut, yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 *Roadmap* Penelitian

Tahap pertama dimulai dengan Kalibrasi *Stereo* Kamera (PP 1). Kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa kedua kamera bekerja secara sinkron dan memberikan data kedalaman yang akurat. Ini adalah fondasi penting untuk setiap aplikasi yang membutuhkan pengukuran jarak yang tepat, termasuk deteksi kecepatan kendaraan. Dengan kamera *stereo* yang terkalibrasi dengan baik, langkah selanjutnya adalah Implementasi *Deep Sort* (PP 2). *Deep Sort* adalah metode pelacakan yang memanfaatkan data dari beberapa gambar untuk melacak objek secara konsisten, memastikan bahwa kendaraan dapat dilacak dari *frame* ke *frame* secara akurat.

Setelah itu, Implementasi Algoritma YOLO (PP 3) dilakukan untuk deteksi objek. Algoritma YOLO (*You Only Look Once*) dikenal karena kemampuannya

mendeteksi objek dalam waktu nyata dengan akurasi yang tinggi, yang sangat penting untuk aplikasi kendaraan otonom. Selanjutnya, berbagai versi YOLO diuji pada tahap Pemilihan Algoritma YOLO Optimal (PP 4) untuk menentukan yang paling optimal. Pengujian ini melibatkan pengukuran kinerja berbagai versi YOLO dalam hal akurasi dan kecepatan untuk memilih yang terbaik. Langkah terakhir dalam tahun perencanaan adalah Implementasi *Measurement Method* (PP 5), yang mengintegrasikan metode pengukuran kecepatan kendaraan menggunakan data dari kamera *stereo* untuk menghitung kecepatan relatif kendaraan secara akurat.

Penelitian berlanjut dengan Pemilihan Algoritma YOLO Optimal (PP 6). Tahap ini fokus pada optimalisasi lebih lanjut dari algoritma YOLO yang telah dipilih sebelumnya. Optimalisasi ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi, menghasilkan algoritma YOLO yang lebih optimal untuk memberikan kinerja deteksi yang lebih baik. Ini adalah proses penting untuk memastikan bahwa algoritma yang digunakan adalah yang terbaik dalam hal kinerja dan keandalan.

Pada tahap ini, penelitian berlanjut dengan Kombinasi YOLO Optimal + *Deep Sort* (PP 7). Kombinasi ini diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan konsisten dalam deteksi kecepatan kendaraan. Dengan menggabungkan algoritma YOLO yang telah dioptimalkan dan *Deep Sort*, sistem ini diharapkan mampu mendeteksi dan melacak kendaraan dengan akurasi tinggi. Langkah terakhir dalam *Roadmap* penelitian ini adalah Kombinasi *Optical flow* + *Deep Sort* (PP 8). *Optical flow* digunakan untuk memperkirakan gerakan objek antar *frame* gambar, dan dengan menggabungkannya dengan *Deep Sort*, sistem diharapkan dapat memberikan estimasi kecepatan yang lebih baik. Hasil akhir yang diharapkan adalah sistem yang mampu mendeteksi dan melacak kecepatan kendrin dengan akurasi tinggi.

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan yang sistematis dan terstruktur untuk mengembangkan sistem deteksi kecepatan kendaraan yang berbasis *stereo* kamera. Setiap tahap dalam *Roadmap* penelitian ini memainkan peran penting dalam membangun fondasi yang kuat untuk sistem yang akurat dan andal, mulai dari kalibrasi kamera hingga penggabungan berbagai algoritma deteksi dan

pelacakan. Hasil akhir yang diharapkan adalah sistem yang mampu mendeteksi kecepatan relatif kendaraan dengan tingkat akurasi yang tinggi, yang merupakan komponen penting dalam teknologi kendaraan otonom. Potensi Penelitian (PP) yang diidentifikasi dalam *Roadmap* ini merupakan langkah-langkah kritis yang akan membawa penelitian ini menuju keberhasilan.

#### **2.1.4 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan merupakan penelitian yang bersifat eksperimental, didalamnya banyak aktifitas percobaan yang dilakukan kemudian studi pustaka, pendahuluan yang diikuti dengan pengambilan data lalu pengolahannya serta Analisa dan perancangan sistem untuk selanjutnya dilakukan implementasi sistem beserta pengujiannya

#### **2.1.5 Sumber Data**

Penelitian ini mengandalkan berbagai sumber data yang relevan dan berkualitas tinggi. Sumber data yang digunakan mencakup jurnal, *ebook*, serta sumber-sumber *online* lainnya yang terkait dengan topik penelitian ini. Selain itu, data dikumpulkan secara langsung oleh peneliti melalui berbagai metode yang terstruktur dan terkontrol.

##### **1. Sumber Data Primer**

Data primer untuk deteksi kecepatan relatif kendaraan diperoleh melalui rekaman video dari situasi jalanan di kota Makassar. Rekaman video ini diambil menggunakan *ZED stereo camera*, yang mampu memberikan data kedalaman dan gambar berkualitas tinggi yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut. Data ini diambil melalui percobaan eksperimental dengan skenario yang telah dirancang sebelumnya, memastikan bahwa data yang diperoleh relevan dan dapat digunakan untuk melatih model deteksi kecepatan.

Rekaman video yang diambil mencakup berbagai kondisi jalanan, termasuk variasi dalam lalu lintas, pencahayaan, dan cuaca. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem deteksi yang dikembangkan mampu beroperasi

dengan baik dalam berbagai situasi nyata. Selain itu, data ini juga digunakan sebagai data latih untuk mengembangkan dan menguji algoritma deteksi dan pelacakan yang digunakan dalam penelitian ini.

## 2. Sumber Data Sekunder

Selain data primer, penelitian ini juga mengandalkan data sekunder yang diperoleh dari berbagai literatur ilmiah. Jurnal, *ebook*, dan sumber *online* lainnya digunakan untuk mendapatkan informasi dan wawasan yang relevan mengenai teknologi deteksi kecepatan kendaraan, algoritma pelacakan, serta aplikasi *stereo* kamera. Sumber data sekunder ini memberikan dasar teoritis yang kuat dan membantu peneliti dalam merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi yang efektif.

## 3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang terstruktur dan sistematis. Peneliti melakukan pengambilan data video dengan menggunakan ZED *stereo camera* dalam berbagai skenario eksperimen. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis dan digunakan untuk melatih algoritma deteksi kecepatan. Selain itu, literatur ilmiah yang relevan dikumpulkan dan dianalisis untuk memberikan konteks teoritis dan mendukung metodologi penelitian.

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data primer yang diperoleh melalui rekaman video situasi jalanan di kota Makassar, serta data sekunder yang diambil dari jurnal, *ebook*, dan sumber *online* lainnya. Kombinasi data primer dan sekunder ini memberikan dasar yang kuat untuk mengembangkan sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan yang andal dan akurat. Dengan menggunakan data yang berkualitas tinggi dan metodologi yang terstruktur, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang teknologi kendaraan otonom.

### 2.1.6 Instrumen Penelitian

Terdapat dua bagian instrumen yang digunakan pada penelitian ini, yakni sebagai berikut :

#### a. Perangkat Keras (*Hardware*)

1. Zed Stereo Camera
2. GPU, NVIDIA GeForce RTX 3050
3. CPU AMD Ryzen 7 4000 series
4. RAM 16 GB
5. SSD 512 GB

#### b. Perangkat Lunak (*Software*)

1. OS Windows 11
2. Pycharm
3. Roboflow
4. Python

### 2.1.7 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan topik penelitian tentang pengembangan sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan menggunakan teknologi *stereo* kamera, berikut adalah dua hipotesis penelitian yang diusulkan:

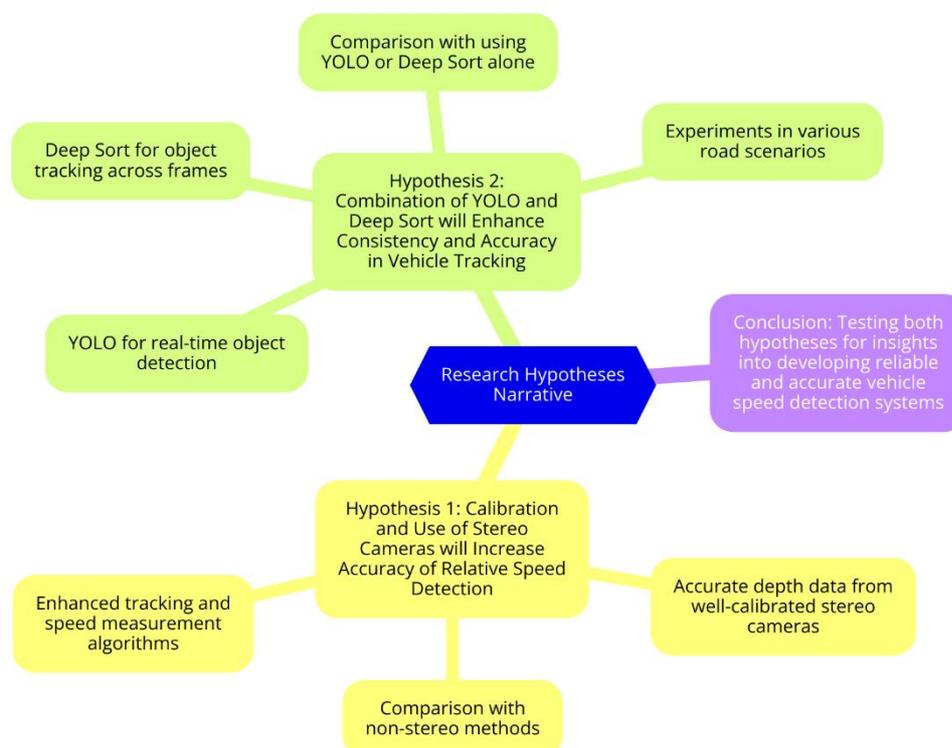
**Hipotesis 1** : Kalibrasi dan Penggunaan Kamera *Stereo* Akan Meningkatkan Akurasi Deteksi Kecepatan Relatif Kendaraan

Penggunaan kamera *stereo* yang telah dikalibrasi dengan baik diharapkan dapat memberikan data kedalaman yang lebih akurat dibandingkan dengan kamera tunggal. Hipotesis ini menyatakan bahwa sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan yang menggunakan teknologi kamera *stereo* akan mampu mengukur jarak dan kecepatan kendaraan lain dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Dengan data kedalaman yang lebih akurat, algoritma pelacakan dan pengukuran kecepatan dapat bekerja lebih efektif, sehingga meningkatkan keseluruhan kinerja sistem deteksi kecepatan. Pengujian hipotesis ini melibatkan perbandingan antara hasil deteksi dan pengukuran menggunakan kamera *stereo* dengan hasil dari metode

lain yang tidak menggunakan teknologi *stereo*.

**Hipotesis 2 :** Kombinasi Algoritma YOLO dan *Deep Sort* Akan Meningkatkan Konsistensi dan Keakuratan Pelacakan Kendaraan

Hipotesis ini berfokus pada efektivitas kombinasi algoritma YOLO (*You Only Look Once*) dan *Deep Sort* dalam pelacakan dan deteksi kecepatan kendaraan. YOLO digunakan untuk deteksi objek dalam waktu nyata, sedangkan *Deep Sort* digunakan untuk melacak pergerakan objek dari *frame* ke *frame*. Hipotesis ini menyatakan bahwa kombinasi dari kedua algoritma ini akan menghasilkan sistem yang lebih konsisten dan akurat dalam mendeteksi dan melacak kendaraan, dibandingkan dengan penggunaan algoritma YOLO atau *Deep Sort* secara terpisah. Pengujian hipotesis ini melibatkan eksperimen dengan berbagai skenario jalan raya, di mana hasil deteksi dan pelacakan dianalisis untuk mengukur peningkatan konsistensi dan akurasi. Kedua penjelasan Hipotesis di atas dapat dilihat pada Gambar 4.



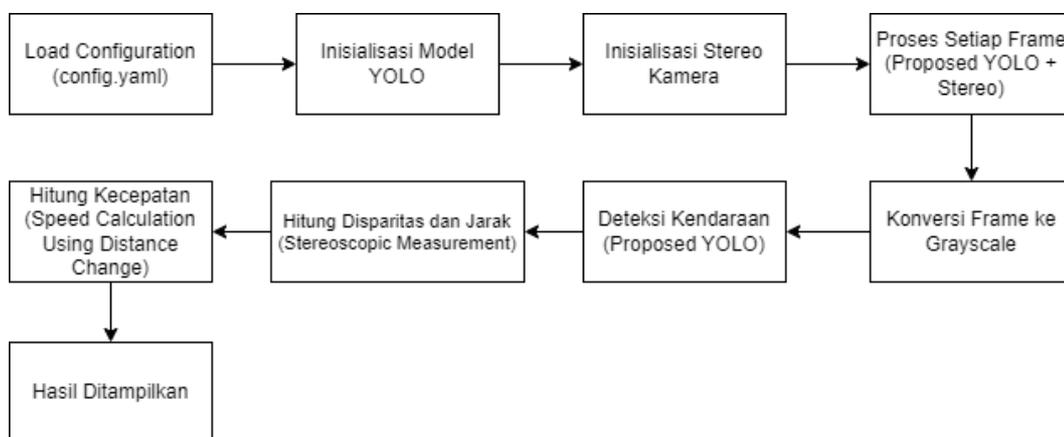
Gambar 4 Hipotesis Penelitian

Kedua hipotesis ini diformulasikan untuk menguji aspek-aspek kritis dari

sistem deteksi kecepatan relatif kendaraan berbasis *stereo* kamera. Hipotesis pertama berfokus pada peningkatan akurasi melalui penggunaan teknologi *stereo* kamera, sedangkan hipotesis kedua meneliti efektivitas kombinasi algoritma deteksi dan pelacakan. Pengujian dan analisis terhadap kedua hipotesis ini akan memberikan wawasan penting dalam pengembangan sistem deteksi kecepatan kendaraan yang andal dan akurat.

### 2.1.8 Ilustrasi Umum Penelitian

Sistem ini menggabungkan beberapa teknologi canggih dan metode untuk memastikan deteksi dan pengukuran kecepatan yang akurat dan andal. Komponen utama dalam penelitian ini mencakup penggunaan *Deep Sort*, algoritma YOLO yang diusulkan (*proposed YOLO*), pengukuran stereoskopik (*stereoscopic measurement*), dan perubahan perhitungan kecepatan (*speed calculation change*). Gambar 5 memberikan ilustrasi visual yang mendetail mengenai tahapan dan komponen utama penelitian ini.



Gambar 5 Model Umum Sistem Kecepatan Relatif Kendaraan

Proses dimulai dengan memuat konfigurasi dari file *config.yaml*, yang berisi berbagai parameter penting, seperti pengaturan kamera, model YOLO, dan preferensi pemrosesan lainnya. Selanjutnya, model YOLO diinisialisasi. YOLO adalah algoritma deteksi objek yang dirancang untuk mendeteksi kendaraan secara *real-time* pada setiap *frame* video. Dalam penelitian ini, versi optimasi dari algoritma YOLO yang disebut *proposed YOLO* digunakan. Versi ini dioptimalkan

untuk mendeteksi kendaraan dengan lebih cepat dan akurat, terutama dalam lingkungan jalan raya yang dinamis. Deteksi kendaraan dalam setiap *frame* video menyediakan data penting untuk algoritma pelacakan.

Selain deteksi menggunakan YOLO, sistem juga menggunakan *Deep Sort*. *Deep Sort* adalah algoritma pelacakan objek yang mengintegrasikan deteksi dan pelacakan dalam satu kerangka kerja. Algoritma ini memanfaatkan data dari beberapa *frame* untuk melacak pergerakan kendaraan secara konsisten. *Deep Sort* digunakan dalam penelitian ini untuk melacak kendaraan yang telah dideteksi oleh YOLO. Dengan menjaga konsistensi pelacakan, algoritma ini mengurangi kesalahan akibat perubahan posisi atau penampilan kendaraan, yang penting untuk pengukuran kecepatan relatif.

Kamera *stereo* juga memainkan peran penting dalam sistem ini. Stereo kamera diinisialisasi untuk menghitung jarak objek menggunakan metode disparitas. Kamera stereo mengambil dua gambar dari sudut yang sedikit berbeda, yang memungkinkan sistem untuk menghitung kedalaman atau jarak objek. Pengukuran stereoskopik ini menyediakan data yang lebih akurat dibandingkan kamera tunggal, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak kendaraan dari kamera. Data ini sangat penting untuk perhitungan kecepatan kendaraan yang lebih akurat.

Setiap *frame* yang diambil dari input diproses oleh sistem. YOLO bertanggung jawab untuk mendeteksi kendaraan, sedangkan *stereo* kamera digunakan untuk menghitung jarak. Setelah kendaraan terdeteksi dan jaraknya dihitung, sistem melanjutkan ke tahap perhitungan kecepatan. Kecepatan kendaraan dihitung berdasarkan perubahan jarak dari satu *frame* ke *frame* berikutnya. Sistem ini menggabungkan data pelacakan dari *Deep Sort* dan pengukuran stereoskopik untuk menghitung kecepatan relatif kendaraan secara akurat.

Sebelum perhitungan kecepatan dilakukan, *frame* video dikonversi menjadi *grayscale* untuk menyederhanakan dan mempercepat proses pemrosesan. Dalam hal ini, informasi warna tidak diperlukan sehingga konversi ke *grayscale* dapat mengurangi beban komputasi. Setelah proses selesai, hasil deteksi kendaraan dan perhitungan kecepatan ditampilkan kepada pengguna.

Penelitian ini menggabungkan penggunaan *Deep Sort* untuk pelacakan objek yang konsisten, *proposed YOLO* untuk deteksi kendaraan yang cepat dan akurat, serta pengukuran stereoskopik untuk menghitung jarak kendaraan dengan lebih presisi. Semua data ini digabungkan untuk menghasilkan perhitungan kecepatan relatif yang akurat, memungkinkan sistem ini bekerja secara andal dalam lingkungan jalan raya yang dinamis. Tujuan akhirnya adalah menciptakan sistem deteksi kecepatan kendaraan yang efisien dan dapat diimplementasikan dalam teknologi kendaraan otonom.