

TESIS

DETEKSI JALAN BERDASARKAN SEGMENTASI WARNA HSV DALAM PENERAPAN MOBIL OTONOM (AUTONOMOUS CAR)

Disusun dan diajukan oleh

ANDI ASVIN MAHERSATILLAH SURADI

D032182009



**TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK/SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**DETEKSI JALAN BERDASARKAN SEGMENTASI WARNA
HSV DALAM PENERAPAN MOBIL OTONOM
(AUTONOMOUS CAR)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ANDI ASVIN MAHERSATILLAH SURADI

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**DETEKSI JALAN BERDASARKAN SEGMENTASI WARNA HSV
DALAM PENERAPAN MOBIL OTONOM (AUTONOMOUS CAR)**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI ASVIN MAHERSATILLAH SURADI

D032182009

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 04 Februari dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



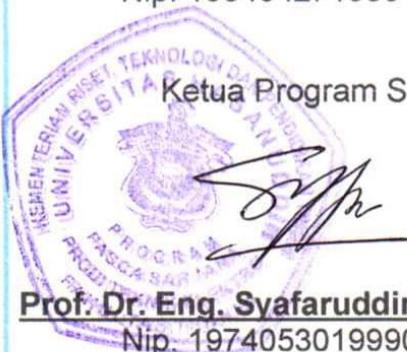
Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
Nip. 196404271989101002

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.
Nip. 197504042000121001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng.
Nip. 197405301999031003

Dekan Fakultas Teknik,



Prof. Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, M.T.
Nip. 196012311986091001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andi Asvin Mahersatillah Suradi
NIM : D032182009
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Deteksi Jalan Berdasarkan Segmentasi Warna HSV Dalam Penerapan Mobil Otonom (Autonomous Car)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Februari 2021
Yang Menyatakan



(Andi Asvin Mahersatillah Suradi)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji hanya milik Allah Subhana Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat, hidayah, taufik dan pertolongan-Nya dalam menyelesaikan tesis ini yang berjudul "**DETEKSI JALAN BERDASARKAN SEGMENTASI WARNA HSV DALAM PENERAPAN MOBIL OTONOM (AUTONOMOUS CAR)**" sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang pendidikan Pascasarjana strata II pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi Wa Sallam, beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah membimbing kita dari jalan kegelapan menuju jalan yang terang benderang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, sangatlah sulit untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karenanya, penulis berterima kasih kepada kedua orang tua **Drs. Andi Suradi, M.Pd.** dan **Andi Pipin Surati, S.Pd.** yang senantiasa terus memberikan dukungan moril maupun materil serta doa yang senantiasa terus dipanjatkan dan sekaligus menjadi pendengar yang baik dikala penulis ingin berbagi cerita terkait kendala maupun kemajuan pada saat proses pengerjaan tesis ini. Ucapan terima kasih juga kepada saudara penulis yang turut memberikan dukungan khususnya dalam hal senda gurau mereka yang

membuat penulis tetap ceria dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini dikala merasa penat.

Penulis juga menghaturkan terima kasih kepada Bapak **Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.** selaku pembimbing II atas waktu dan arahan serta penyajian solusi dari segala permasalahan dalam pembuatan tesis ini, serta tim penguji yang banyak memberikan arahan dan kritik yang membangun agar tesis ini semakin lebih baik.

Penulis tentu tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada teman seperjuangan angkatan 2018 atas kerjasama dan kekompakannya selama ini, serta teman-teman di *Laboratorium Computer Based System* telah berbagi pengalaman dan saran-sarannya. Semoga kedepannya kita tetap menjaga kekompakan ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Dengan demikian, penulis tetap mengharapkan saran dan kritik dengan harapan semoga tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak. Akhir kata penulis mendoakan semoga Allah Subhana Wa Ta'ala terus memberikan taufik dan hidayah-Nya kepada semua pihak untuk dapat terus melakukan terobosan-terobosan baru dalam peningkatan kualitas ilmu pengetahuan. Aamiin Allahumma Aamiin.

Makassar, Februari 2020

Penulis

ABSTRAK

ANDI ASVIN MAHERSATILLAH SURADI. *Deteksi Jalan Berdasarkan Segmentasi Warna HSV Dalam Penerapan Mobil Otonom (Autonomous Car).* (dibimbing oleh **Zahir Zainuddin** dan **Yusran**).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem deteksi jalan yang tidak terstruktur atau jalan yang tidak memiliki garis marka dan garis tepi berdasarkan hasil dari segmentasi warna objek yang berada di sisi jalan menggunakan ruang warna HSV untuk penerapan mobil otonom yang menghasilkan informasi posisi mobil dari tengah jalur dimana informasi ini kemudian yang akan menjadi parameter pada bagian kontrol. Penelitian ini dilakukan di jalan lingkar Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Untuk mendapatkan batas tepi jalan yaitu dengan cara menyaring warna-warna objek yang berada di sisi jalan dalam ruang warna HSV, selanjutnya deteksi tepi atau batas objek (jalan) menggunakan *edge detector (Canny)*. Garis ini yang akan divisualisasikan menggunakan metode *Hough Transform*. Selanjutnya kordinat dari garis tepi jalan akan merepresentasikan lebar jalan. Pengujian dilakukan secara *realtime* dengan kecepatan mobil yang berbeda-beda. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi tertinggi dan terendah dalam penandaan batas tepi jalan yaitu 94,97% pada kecepatan 16,2 km/h dan 75,34% pada kecepatan 45,8 km/h, serta tingkat akurasi tertinggi dan terendah dalam menampilkan informasi posisi mobil dari tengah jalur yaitu 95,40% pada kecepatan 16,2 km/h dan 75,77% pada kecepatan 45,8 km/h.

Kata Kunci : Mobil Otonom, Deteksi Jalan, HSV, *Hough Transform*.

ABSTRACT

ANDI ASVIN MAHERSATILLAH SURADI. *Road Detection Based on HSV Color Segmentation for Autonomous Car.* (supervised by **Zahir Zainuddin** and **Yusran**).

This research aims to design a detection system for unstructured road or road that do not have markings and borders based on the results of the color segmentation of objects on the side of the road using the HSV color space for the application of autonomous car that produces information on the car position from the center of the lane where this information then becomes the parameter for the control section. This research was conducted on the ring road of the Hasanuddin University Faculty of Engineering, Gowa Regency, South Sulawesi. To get the edge of the road, namely by filtering the colors of the objects that are on the side of the road in the HSV color space, then detecting the edges or boundaries of the object (road) using an edge detector (Canny). This line will be visualized using the Hough Transform method. Furthermore, the coordinates of the curb lines will represent the width of the road. The test is carried out in real time with different car speeds. The results of this study indicate that the highest and lowest levels of accuracy in marking roadside boundaries ie 94.97% at a speed of 16.2 km/h and 75.34% at a speed of 45.8 km/h, as well as the highest and lowest levels of accuracy in displaying information on the position of the car from the center of the lane ie 95.40% at a speed of 16.2 km/h and 75.77% at a speed of 45.8 km/h.

Keywords : Autonomous Car, Road Detection, HSV, Hough Transform.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGAJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	2
C. TUJUAN PENELITIAN	3
D. MANFAAT PENELITIAN	3
E. BATASAN MASALAH	4
F. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II	6
A. LANDASAN TEORI	6
1. Teknologi <i>Autonomous Car</i>	6
2. <i>Levels of Automation</i>	9
3. Ruang Warna HSV	10
4. <i>Edge Detection</i>	12
5. <i>Hough Transform</i>	18
B. PENELITIAN TERKAIT	21
C. KERANGKA PIKIR	31
BAB III	33

A.	TAHAPAN PENELITIAN.....	33
B.	WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	35
C.	JENIS PENELITIAN	35
D.	DESAIN SISTEM.....	35
E.	SUMBER DATA.....	37
F.	INSTRUMEN PENELITIAN	40
G.	AKUISISI DATA.....	41
BAB IV	42
A.	<i>DATA PIPELINE</i>	42
1.	<i>Resize Image</i>	42
2.	<i>Gaussian Blur</i>	44
3.	<i>Thresholding</i>	45
4.	<i>Edge Segmentation</i>	49
5.	<i>Line Detection</i>	51
6.	<i>Center Offset</i>	54
B.	SKENARIO PENELITIAN	60
C.	ANALISIS SISTEM	62
BAB V	95
A.	KESIMPULAN	95
B.	SARAN	96
DAFTAR PUSTAKA	97

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	<i>State of the Art</i>	27
2.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Penandaan Tepi Jalan.....	86
3.	Kecepatan Mobil Yang Dapat Diproses Sistem	88
4.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Menampilkan <i>Center Offset</i>	99

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. <i>Scope Autonomous Car</i>	8
2. Ruang Warna RGB.....	10
3. Ruang Warna HSV.....	11
4. Proses Masking Berdasarkan <i>Range</i> Warna HSV.....	12
5. Contoh Cadar <i>Gaussian</i> dengan $\theta=1,4$	13
6. Operator Gradien Horisontal dan Vertikal.....	14
7. Pembagian Warna Arah Tepi <i>Canny</i>	15
8. Deteksi Tepi (<i>Canny</i>) $T1 = 50, T2 = 150$	16
9. Deteksi Tepi (<i>Canny</i>) $T1 = 100, T2 = 250$	17
10. Deteksi Tepi (<i>Canny</i>) $T1 = 200, T2 = 450$	18
11. Contoh Gambar Bergaris.....	20
12. Contoh Implementasi <i>Hough Transform</i>	21
13. Kerangka Pikir Penelitian.....	32
14. <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian.....	33
15. Ilustrasi Desain Sistem.....	36
16. Jalan Lingkar Kampus Teknik Unhas.....	37
17. Panjang Area Jalan Fakultas Teknik Unhas.....	38
18. Pengukuran Lebar Jalan.....	39
19. Pengukuran Lebar Jalan Menggunakan <i>Google Maps</i>	39
20. Penempatan Kamera (<i>Webcam</i>).....	41

21. Memperkecil Resolusi Gambar	43
22. Kode Untuk Mengubah Resolusi Gambar.....	43
23. Menghilangkan <i>Noise</i> Pada Gambar	44
24. Kode Untuk Menghaluskan Gambar	44
25. Konversi Gambar ke Ruang Warna HSV.....	45
26. Kode Untuk Mengubah Gambar ke Ruang Warna HSV	45
27. Rentang Nilai Ruang Warna HSV	46
28. Kode Untuk Proses <i>Masking</i> Berdasarkan Rentang Nilai HSV...	46
29. Proses <i>Masking</i> Gambar Dalam Ruang Warna HSV.....	47
30. Meminimalisir Ruang Dari Hasil Proses <i>Masking</i>	48
31. Kode Untuk Mengurangi Ruang Pada Objek.....	49
32. Mendeteksi Batas Tepi Objek	49
33. Kode Untuk Mendeteksi Batas Tepi Objek	50
34. Set ROI Pada Area Jalan.....	50
35. Kode Untuk Mengatur ROI Pada Area Jalan	51
36. Skema <i>Hough Transform</i>	51
37. Mendeteksi Batas Tepi Jalan	53
38. Kode Untuk Hasil Akhir Deteksi Jalan.....	53
39. Menandai Seluruh Area Jalan.....	54
40. Hasil Akhir Dari Proses Deteksi Jalan.....	56
41. Kode Untuk Menampilkan Teks dan Panah.....	56
42. Informasi Pemrosesan Sistem	57
43. Kode Menghitung Jumlah <i>Frame</i>	57

44. Kode Menghitung Durasi	58
45. Kode Menghitung FPS.....	59
46. Kode Menghitung Waktu Eksekusi per <i>Frame</i>	59
47. Kode Menghitung Kecepatan.....	60
48. Kondisi Jalan Dengan 2 Jalur	61
49. Deteksi Jalan Dengan Kondisi 2 Jalur	62
50. Segmentasi Pada Ruang Warna HSV (Contoh 1)	63
51. Segmentasi Pada Ruang Warna HLS (Contoh 1).....	64
52. Segmentasi Pada Ruang Warna RGB (Contoh 1).....	65
53. Segmentasi Pada Ruang Warna LAB (Contoh 1).....	66
54. Segmentasi Pada Ruang Warna HSV (Contoh 2)	67
55. Segmentasi Pada Ruang Warna HLS (Contoh 2).....	68
56. Segmentasi Pada Ruang Warna RGB (Contoh 2).....	69
57. Segmentasi Pada Ruang Warna LAB (Contoh 2).....	70
58. Segmentasi Pada Ruang Warna HSV (Contoh 3)	71
59. Segmentasi Pada Ruang Warna HLS (Contoh 3).....	72
60. Segmentasi Pada Ruang Warna RGB (Contoh 3).....	73
61. Segmentasi Pada Ruang Warna LAB (Contoh 3).....	74
62. Segmentasi Pada Ruang Warna HSV (Contoh 4)	75
63. Segmentasi Pada Ruang Warna HLS (Contoh 4).....	76
64. Segmentasi Pada Ruang Warna RGB (Contoh 4).....	77
65. Segmentasi Pada Ruang Warna LAB (Contoh 4).....	78
66. Segmentasi Pada Ruang Warna HSV (Contoh 5)	79

67. Segmentasi Pada Ruang Warna HLS (Contoh 5).....	80
68. Segmentasi Pada Ruang Warna RGB (Contoh 5).....	81
69. Segmentasi Pada Ruang Warna LAB (Contoh 5).....	82
70. Kesalahan Deteksi (Contoh 1)	84
71. Kesalahan Deteksi (Contoh 2).....	84
72. Kesalahan Deteksi (Contoh 3)	85
73. Pengujian Dengan Kondisi Ada Kendaraan (Contoh 1).....	89
74. Pengujian Dengan Kondisi Ada Kendaraan (Contoh 2).....	90
75. Pengujian Dengan Kondisi Ada Kendaraan (Contoh 3).....	91
76. Pengujian Dengan Kondisi Ada Kendaraan (Contoh 4).....	92

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Penyesuaian lokasi mobil menggunakan <i>Google Maps</i> pada saat proses deteksi jalan	101

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Mobil otonom atau yang biasa dikenal dengan sebutan mobil tanpa supir adalah mobil yang memiliki kemampuan dalam menganalisis atau mengenali kondisi-kondisi yang ada di jalan yaitu dengan meletakkan serangkaian sensor yang tersebar di seluruh badan mobil. Beberapa kemampuan mobil otonom diantaranya dapat mendeteksi kendaraan dan mengestimasi jaraknya, dapat mendeteksi rambu lalu lintas, melakukan percepatan atau pengereman otomatis dan seterusnya, sehingga membuat mobil ini dapat berkendara layaknya dikendalikan oleh manusia.

Gagasan tentang kendaraan yang dapat dikendarai sendiri jauh lebih jauh dari penelitian Google di masa kini. Sebenarnya, konsep mobil otonom berasal dari Futurama, sebuah pameran di Pameran Dunia New York 1939. Pameran ini merupakan visi selama 20 tahun ke depan yang berisi sistem jalan raya otomatis dan menggambarkan bagaimana Amerika Serikat dapat terhubung dalam jaringan jalan raya dan jalan raya yang tersebar luas [1].

Penelitian menunjukkan bahwa penglihatan manusia adalah selektif, memperoleh informasi dengan secara efisien membedakan sejumlah kecil informasi penting dari sejumlah besar rangsangan visual. Para peneliti

sedang mengeksplorasi bagaimana memberikan komputer kemampuan yang mirip dengan persepsi visual manusia untuk menyaring sinyal eksternal yang berlebihan dan secara efektif mewakili informasi alam yang tak terbatas [2].

Dalam merancang sebuah teknologi mobil otonom, salah satu hal yang penting adalah kemampuan pendeteksian jalur jalan yang merupakan sebuah parameter agar mobil tersebut tetap berada pada jalur yang tepat. Sejauh ini pendekatan atau parameter yang dilakukan untuk mendeteksi jalur jalan adalah berdasarkan pada garis tepi jalan atau garis marka. Akan tetapi faktanya tidak semua jalan memiliki garis tepi atau garis marka, yang mengakibatkan mobil tidak dapat melakukan deteksi jalur yang tepat jika melewati area jalan tersebut.

Berdasarkan dari penjelasan tersebut, maka dilakukan suatu pendekatan untuk melakukan proses *masking* atau *thresholding* pada area di sekitar jalan agar lebih memudahkan untuk mendapatkan batas tepi jalan. Dengan demikian penelitian ini mengambil judul **Deteksi Jalan Berdasarkan Segmentasi Warna HSV Dalam Penerapan Mobil Otonom (Autonomous Car)**.

B. RUMUSAN MASALAH

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

1. Bagaimana sistem mendapatkan batas tepi jalan?
2. Bagaimana sistem menandai batas tepi jalan?
3. Bagaimana sistem menampilkan posisi mobil dari tengah jalur pada saat berkendara?

C. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kemampuan ruang warna HSV dalam proses segmentasi objek di sisi jalan untuk mendapatkan batas tepi jalan.
2. Untuk mengetahui akurasi sistem dalam penandaan batas tepi jalan.
3. Untuk mengetahui akurasi sistem dalam menampilkan posisi mobil dari tengah jalur pada saat berkendara.

D. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Manfaat terhadap dunia akademik
Dapat dijadikan sebagai pendekatan baru dalam mendeteksi jalan khususnya jalan yang tidak memiliki garis tepi dan garis marka hanya dengan menggunakan *single camera*.
2. Manfaat terhadap masyarakat.
Dalam pengembangannya dapat dijadikan sebagai mobil purwarupa untuk pengantaran berkas atau barang antar gedung dan antar ruangan dalam sebuah institusi.

E. BATASAN MASALAH

Mengingat luasnya ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan beberapa batasan di antaranya:

1. Proses deteksi dilakukan pada siang hari yang memiliki pencahayaan yang baik.
2. Jalan yang akan dideteksi adalah jalan dengan model satu arah.
3. Penelitian yang dilakukan hanya mendeteksi area jalan dan belum dikaitkan untuk bagian kontrol (*actuator*).
4. Metode yang digunakan untuk memvisualisasi batas tepi jalan adalah *Hough transform*.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian dan kerangka pemikiran. Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Landasan

teori merupakan suatu penjelasan tentang sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, prosiding dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui perkembangan penelitian yang relevan dengan judul atau tema penelitian yang dilakukan dan juga sebagai arahan dalam memecahkan masalah yang diteliti. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pemikiran yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti, termasuk menguraikan objek penelitian serta *state of the art* dari beberapa penelitian terkait.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III ini merupakan penjelasan tentang tahapan penelitian, bagaimana pengembangan dan penerapan sistem yang diusulkan, desain sistem dan uraian proses validasi hasil dari metode yang diusulkan, serta analisa data pada hasil penerapan sistem yang diusulkan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Bab IV merupakan penjelasan mengenai hasil yang didapatkan pada saat proses pengujian dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V berisi kesimpulan terhadap hasil yang didapatkan dalam penelitian ini dan juga berisi saran-saran kepada pembaca atau peneliti untuk dapat menyempurnakan kekurangan-kekurangan atau capaian-capaian yang belum tercapai pada penelitian ini agar kedepannya bisa mendapatkan hasil yang jauh lebih baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. LANDASAN TEORI

1. Teknologi *Autonomous Car*

Beberapa tahun yang lalu *Google* sempat mengembangkan *Google Car* yang sekarang menjadi *Waymo*, *startup* armada taksi tanpa pengemudi di California. Selain *Google*, *Tesla* produsen mobil milik Elon Musk juga memasukkan fitur *autopilot* pada produk mobilnya yang membuat pengemudi bisa rileks sejenak. Adapun dari segala kelebihanannya, konsep dan cara kerja dari *autonomous car* terdiri dari 5 bagian dimana kelimanya saling berhubungan yaitu:

a) *Computer Vision*

Computer vision merupakan adalah proses di mana serangkaian kamera saling terkoneksi untuk memberikan gambaran terhadap keadaan sekitar dari subjek yang dalam hal ini adalah mobil. Gambar atau video yang dikirimkan dari kamera ini diproses oleh komputer dengan kemampuan *machine learning*. Tugas dari komputer *machine learning* ini adalah melabeli setiap objek yang tampak dalam gambar atau video tersebut seperti mobil, pejalan kaki, rambu-rambu lalu lintas dan sebagainya. Proses *computer*

vision ini dilakukan secara *realtime* yang tentunya membutuhkan kemampuan komputasi yang tinggi.

b) Sensor Fusion

Seperti yang dibahas pada bagian *computer vision*, kamera yang terpasang tidak dapat memberikan data akurat mengenai jarak objek yang ada di depannya. Setiap mobil *autonomous* pasti dilengkapi sensor lain. Dalam proses ini data yang berasal dari kamera atau pun *LIDAR* digabung dengan data dari sensor yang lain. Sensor parkir misalnya, sensor ini memberikan penginderaan jarak dekat yang lebih akurat hingga hitungan sentimeter.

c) Localization

Setelah tahu kondisi sekitar, saatnya mobil *autonomous* untuk mengetahui dimana dia berada, apakah dia ada di jalan atau di halaman parkir. Tahu dimana kita berada akan berpengaruh pada kecepatan dan gaya mengemudi. Hal ini tentunya mudah bagi manusia untuk menyesuaikan gaya mengemudinya. Contohnya, jika kita berada di lahan parkir, kita akan mengemudi perlahan-lahan walaupun kondisi di lahan parkir tersebut sedang sepi dan jarang ditemui mobil lain yang terparkir. Otak kita mengantisipasi jika ada orang membawa troli tiba-tiba melintas.

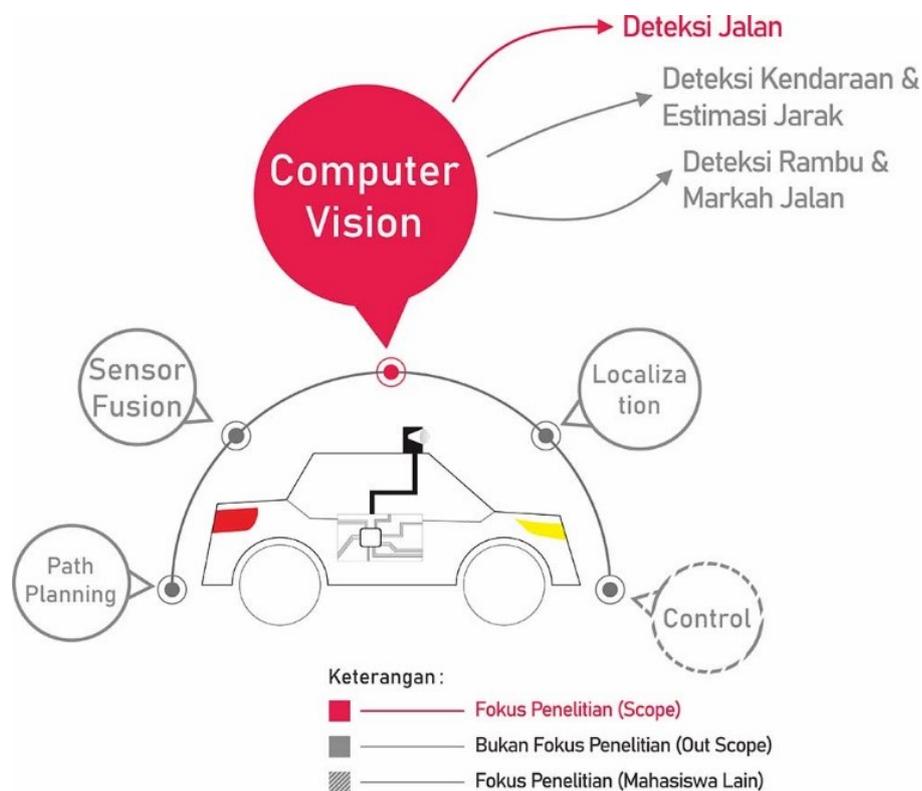
d) Path Planning

Proses selanjutnya yang dilakukan oleh mobil *self-driving* adalah merencanakan jalur mana yang akan dipilih agar sampai tujuan.

Selain jarak tentunya ada faktor lain yang menjadi pertimbangan komputer.

e) *Control*

Proses ini dilakukan oleh alat yang sering disebut ECU. Teknologi ECU (*Electronic Control Unit*) memang bukan teknologi yang benar-benar baru. Memang di mobil konvensional ECU berfungsi untuk penghematan bahan bakar, keamanan, serta kenyamanan berkendara. Di mobil *self-driving* 'kekuasaan' dari ECU lebih besar lagi. ECU dapat mengontrol kemudi hingga putaran penuh, mengerem, dan bahkan menginjak pedal gas [3].



Gambar 1. *Scope Autonomous Car* [3].

Pada gambar 1 dapat dilihat *scope autonomous car* secara garis besar. Adapun *scope* penelitian yang akan dilakukan yaitu pada bagian *computer vision*, khususnya sistem pendeteksi jalan menggunakan kamera. Adapun sistem deteksi kendaraan dan mengestimasi jarak kendaraan di depan dikerjakan oleh **Thiara Tri Funny Manguma (D032182003)** dan sistem deteksi rambu dan marka jalan dikerjakan oleh **Achmad Zulfajri (D032182001)**.

2. Levels of Automation

Penting untuk dicatat bahwa tingkat otomatisasi dapat bervariasi dari nol hingga otomatisasi penuh. NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) mengklasifikasikan otomatisasi kendaraan dalam 5 tingkatan [4]:

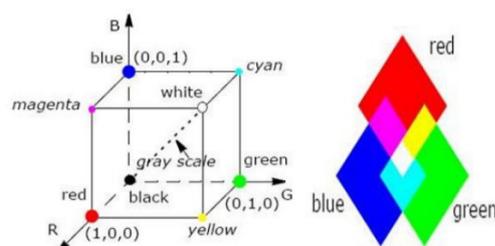
- a) *No Automation* (tingkat 0). Setiap saat pengemudi memiliki komando dan kendali penuh dan tunggal atas kendaraannya sehubungan dengan kemudi, pengereman dan daya penggerak.
- b) *Function specific automation* (tingkat 1). Beberapa fungsi kontrol tertentu seperti kontrol stabilitas elektronik atau rem yang diisi sebelumnya diotomatiskan.
- c) *Combined function automation* (tingkat 2). Setidaknya dua fungsi kontrol utama seperti kontrol jelajah adaptif yang dikombinasikan dengan pemusatan jalur otomatis.
- d) *Limited self-driving automation* (tingkat 3). Dalam kondisi lalu lintas atau lingkungan tertentu, pengemudi menyerahkan kendali penuh

atas semua fungsi keselamatan dan sangat bergantung pada kendaraan untuk mengawasi setiap perubahan dalam kondisi yang memerlukan transisi ke kendali pengemudi. Pengemudi akan diminta untuk melanjutkan kendali kendaraan, tetapi dengan waktu transisi yang cukup.

- e) *Full self-driving automation* (tingkat 4). Kendaraan ini dirancang secara cerdas untuk memantau kondisi jalan raya dan bertindak sendiri, melakukan semua fungsi mengemudi yang sangat penting bagi keselamatan untuk seluruh perjalanan (tingkatan tanpa pengemudi sepenuhnya).

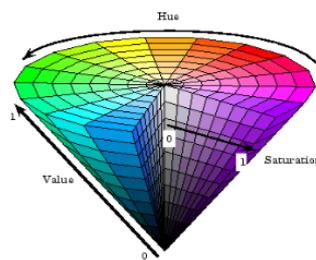
3. Ruang Warna HSV

HSV (*Hue, Saturation, Value*) merupakan salah satu model yang dapat digunakan dalam memilih warna, karena model ini lebih mendekati cara visual mata manusia dalam membedakan sensasi warna. Model ruang warna HSV pada dasarnya hasil transformasi dari bentuk kubus warna RGB (*Red, Green, Blue*) dan nilai dalam ruang warna HSV menunjukkan intensitas atau cahaya atau kecerahan warna yang bervariasi dari 0 hingga 100 [5,6].



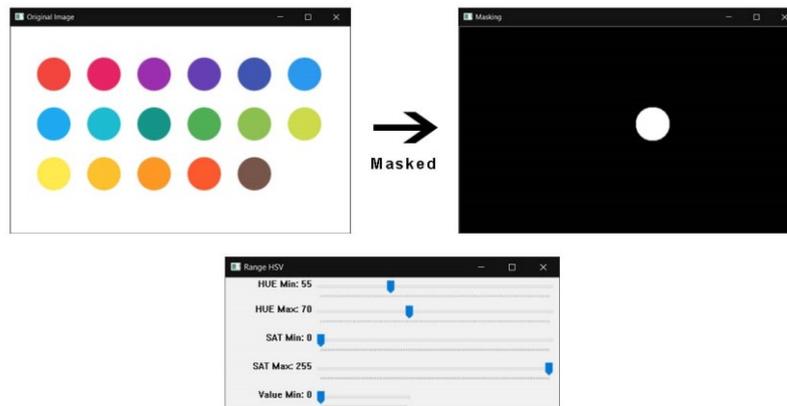
Gambar 2. Ruang Warna RGB [6].

Hue H dinyatakan sebagai sudut posisi warna pada sumbu lingkaran kerucut, biasanya menggunakan warna merah untuk sumbu 0° dengan nilai antara 0-360. *Value* V diukur sepanjang sumbu vertikal dari kerucut. Untuk nilai $V=0$ di akhir sumbu adalah hitam dan untuk $V=1$ di ujung sisi lain sumbu adalah putih. Sumbu V terletak di dalam pusat dari heksagon *full color*, dimana sepanjang sumbu ini merepresentasikan semua jenis nuansa *gray*. *Saturation* S menyatakan tingkat saturasi (kandungan cahaya putih) atau kemurnian warna yang nilainya berada sepanjang radian dari kerucut. Seperti yang terlihat pada gambar 3 [5].



Gambar 3. Ruang Warna HSV [5].

Model warna HSV sangat membantu dalam melakukan proses *masking* area tertentu dengan melakukan segmentasi berdasarkan *range* warna terendah (*lower range*) sampai warna tertinggi (*upper range*) pada objek tertentu pada masing-masing komponen warna (***Hue Saturation Value***). Apabila komposisi warna objek berada dalam *range* yang telah ditentukan, maka objek akan menjadi putih yang diasumsikan sebagai *foreground*. Adapun objek dengan komposisi warna di luar *range*, maka akan menjadi hitam yang diasumsikan sebagai *background*.



Gambar 4. Proses *Masking* Berdasarkan *Range* Warna HSV.

Pada gambar 4 dapat dilihat proses *thresholding* atau *masking* dengan mempertahankan objek dengan warna hijau tua atau warna dengan kode heksadesimal **#50ae54** menggunakan bantuan *trackbar* dalam menentukan *range* warna HSV.

4. *Edge Detection*

Edge Detection atau deteksi tepi adalah teknik pemrosesan gambar untuk menemukan batas objek dalam gambar. Proses kerjanya yaitu dengan mendeteksi diskontinuitas dalam kecerahan. Deteksi tepi digunakan untuk segmentasi gambar dan ekstraksi data di berbagai bidang seperti pemrosesan gambar, visi komputer dan visi mesin [11].

Dalam mendeteksi garis tepi pada sebuah gambar, ada beberapa teknik yang dapat digunakan yaitu:

- a. *Sobel*
- b. *Roberts Cross*
- c. *Prewitt*

- d. *Log*
- e. *Laplacian*
- f. *Kires*
- g. *Kirch*
- h. *Canny*

Dari beberapa teknik di atas, *Canny* memiliki tingkat deteksi yang lebih maksimal dari yang lainnya baik dari tepi dalam maupun tepi luar dari sebuah objek gambar, dikarenakan *Canny* merupakan hasil modifikasi dari teknik *Sobel* dengan memeriksa intensitas piksel horisontal dan vertikal [7,8,10]. Ada beberapa tahapan dalam melakukan deteksi tepi menggunakan operator *Canny* diantaranya:

a. *Image Smoothing*

Proses ini bertujuan untuk menghaluskan gambar untuk menghilangkan derau. Proses ini dapat dilakukan menggunakan *Gaussian Filter*.

	2	4	5	4	2
	4	9	12	9	4
1/115	5	12	15	12	5
	4	9	12	9	4
	2	4	5	4	2

Gambar 5. Contoh Cadar *Gaussian* dengan $\Theta = 1,4$ [10].

b. *Finding Gradient*

Proses selanjutnya yaitu mendapatkan kekuatan tepi (*edge strenght*). Tepian harus ditandai pada gambar yang memiliki gradien yang besar. Digunakan operator gradien dan dilakukan pencarian secara horisontal dan vertikal.

$$\mathbf{G}_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G}_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Gambar 6. Operator Gradien Horisontal dan Vertikal [10].

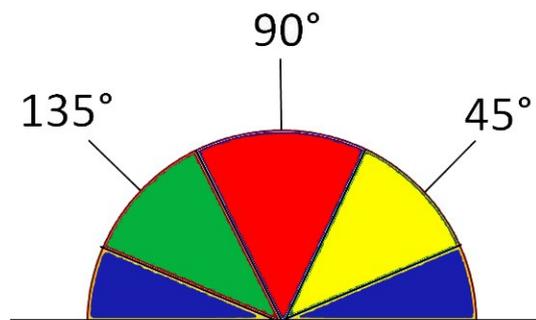
Hasil dari kedua operator tersebut digabungkan menggunakan persamaan (1).

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

Selanjutnya menentukan arah tepian dengan menggunakan persamaan (2).

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (2)$$

Setelah arah tepi diperoleh, selanjutnya hubungkan antara arah tepi dengan sebuah arah yang dapat dilacak dari citra. Membagi ke dalam 4 warna.



Gambar 7. Pembagian Warna Arah Tepi *Canny* [9].

Semua arah tepi yang berkisar antara 0 sampai 22,5 serta 157,5 sampai 180 derajat (warna biru) diubah menjadi 0 derajat. Semua arah tepi yang berkisar antara 22,5 sampai 67,5 derajat (warna kuning) diubah menjadi 45 derajat. Semua arah tepi yang berkisar antara 67,5 sampai 112,5 derajat (warna merah) diubah menjadi 90 derajat. Semua arah tepi yang berkisar antara 112,5 sampai 157,5 derajat (warna hijau) diubah menjadi 135 derajat.

c. *Non-maximum Suppression*

Penghilangan *non-maximum* dilakukan di sepanjang tepi dan menghilangkan piksel –piksel yang tidak dianggap sebagai tepi. Hanya nilai maksimum yang ditandai sebagai tepi. Sehingga didapatkan garis tepi yang lebih ramping.

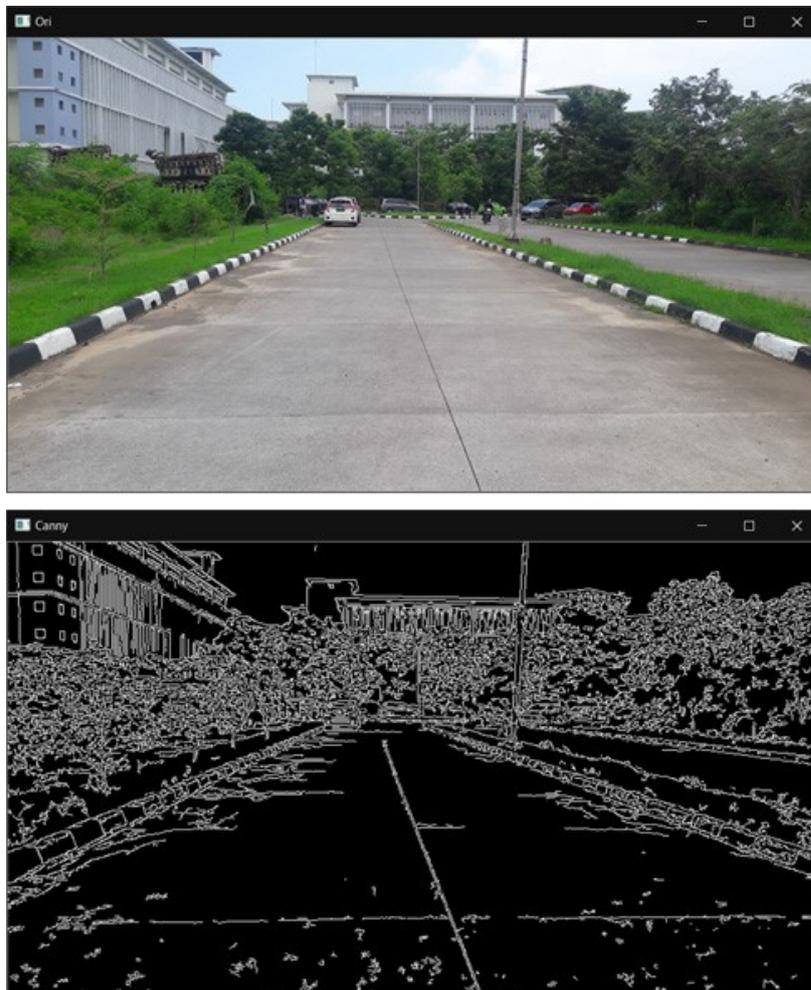
d. *Double Thresholding*

Untuk membuat gambar biner, diterapkan dua buah *thresholding* yaitu *low-thresholding* (T1) dan *high-thresholding* (T2). Nilai yang

kurang dari T_1 akan diubah menjadi hitam (nilai 0) dan nilai yang lebih dari T_2 diubah menjadi putih (nilai 255).

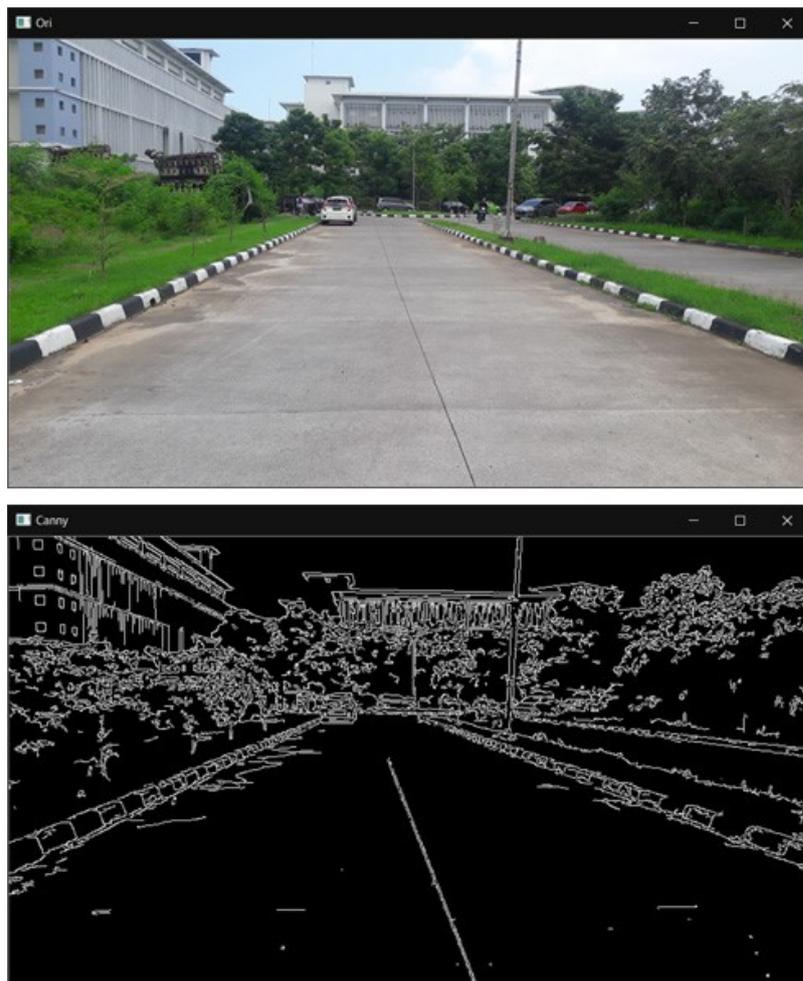
e. *Edge Tracking by Hysteresis*

Tepian akhir ditentukan dengan menekan semua sisi yang tidak terhubung dengan tepian yang kuat. Semua piksel yang terhubung dengan piksel putih yang memiliki nilai lebih besar dari T_1 juga dianggap sebagai tepi [9,10].



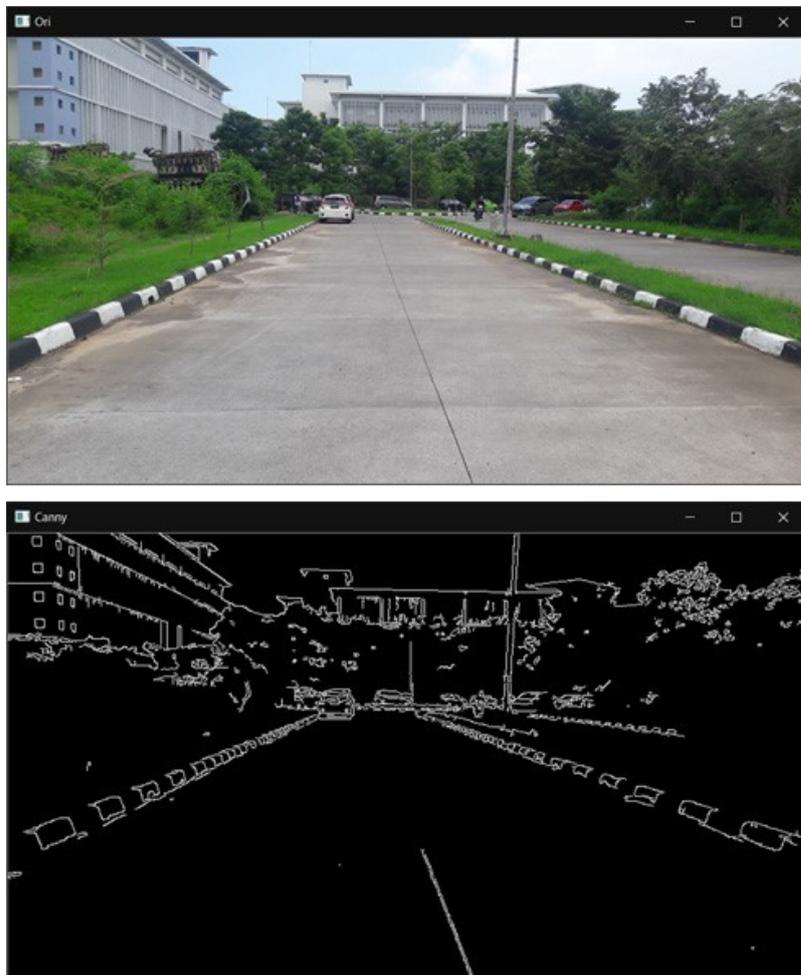
Gambar 8. Deteksi Tepi (*Canny*) $T_1 = 50$, $T_2 = 150$.

Pada gambar 8 merupakan implementasi *edge detector (Canny)* dengan nilai *low-thresholding* ($T1 = 50$) dan nilai *high-thresholding* ($T2 = 150$). Batas tepi pada sebuah objek yang kecil dan jauh masih terdeteksi dengan baik.



Gambar 9. Deteksi Tepi (*Canny*) $T1 = 100$, $T2 = 250$.

Pada gambar 9 merupakan implementasi *edge detector (Canny)* dengan nilai *low-thresholding* ($T1 = 100$) dan nilai *high-thresholding* ($T2 = 250$). Batas tepi pada sebuah objek yang kecil pada jalan dan pepohonan mulai berkurang.



Gambar 10. Deteksi Tepi (*Canny*) $T1 = 200$, $T2 = 450$.

Pada gambar 10 merupakan implementasi *edge detector (Canny)* dengan nilai *low-thresholding* ($T1 = 200$) dan nilai *high-thresholding* ($T2 = 450$). Berdasarkan pada gambar 8,9 dan 10 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai $T1$ dan $T2$ yang diberikan, maka jumlah deteksi pada sebuah objek juga akan lebih sedikit.

5. *Hough Transform*

Algoritma *Hough transform* atau yang biasa dikenal dengan sebutan *edge linking* (penghubung tepi) merupakan sebuah teknik yang populer

digunakan untuk analisis gambar, visi komputer, dan pemrosesan gambar digital untuk mendeteksi garis dan lingkaran. Dalam mendeteksi tepi, piksel yang dihasilkan jarang mengkarakterisasi tepi sepenuhnya karena *noise*, gambar yang pecah atau efek-efek yang lain, mengakibatkan diskontinuitas dari tepi itu sendiri. Sehingga dengan menggunakan teknik *Hough transform* dapat menghubungkan piksel-piksel yang pecah tadi sehingga menjadi satu kesatuan dan membentuk garis lurus [12].

Dalam mendeteksi garis metode yang digunakan dalam pustaka *OpenCV* adalah `cv2.HoughLinesP()` yang memiliki beberapa parameter di dalamnya yaitu:

1. *Image* adalah gambar titik-titik piksel yang dihasilkan menggunakan *edge detector*.
2. *Rho* adalah resolusi parameter r dalam piksel.
3. *Theta* adalah resolusi parameter θ dalam radian.
4. *Threshold* adalah jumlah minimum titik perpotongan untuk mendeteksi garis.
5. *MinLineLength* adalah jumlah angka minimum dari poin yang dapat membentuk garis. Garis dengan jumlah poin kurang dari ini akan diabaikan.
6. *MaxLineGap* adalah jumlah antara dua poin untuk dipertimbangkan dalam garis yang sama [23].

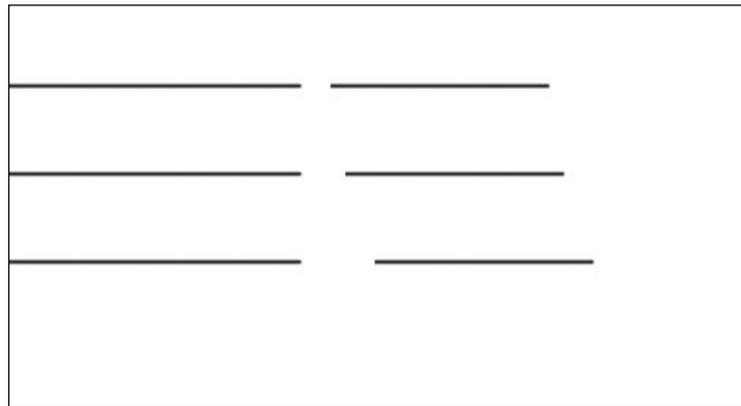
Dalam mengimplementasikan *Hough transform* dapat dilihat pada persamaan (3).

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta), \quad (3)$$

dimana (x, y) adalah kordinat bukan nol piksel dalam gambar biner [11].

ρ = adalah jarak antara sumbu x dan garis pas.

θ = adalah sudut antara sumbu x dan garis normal. Kisaran nilai θ adalah $\pm 90^\circ$.

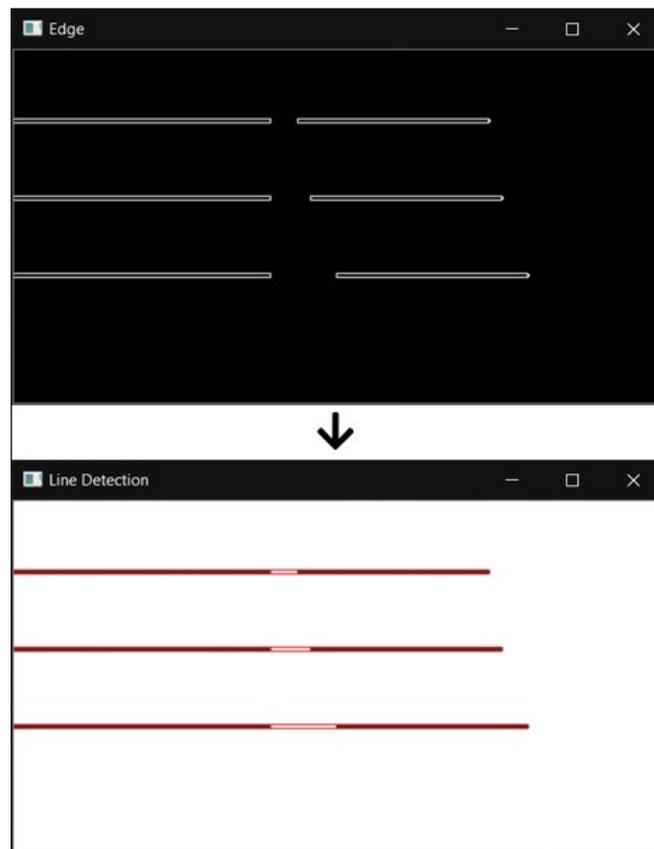


Gambar 11. Contoh Gambar Bergaris.

Pada gambar 11 terlihat ada 3 garis yang terputus, dimana garis sebelah kiri memiliki panjang 195px dan garis sebelah kanan memiliki panjang 150px. Jarak yang memisahkan garis pada baris pertama = 20px, pada baris kedua = 30px dan pada baris ketiga = 50px. Jadi *MinLineLength* dan *MaxLineGap* untuk mendeteksi garis pada gambar 11 yaitu:

- a) Baris pertama, *MinLineLength* ≥ 365 px (195 + 150 + 20) dan *MaxLineGap* ≥ 20 .
- b) Baris kedua, *MinLineLength* ≥ 375 px (195 + 150 + 30) dan *MaxLineGap* ≥ 30 .
- c) Baris ketiga, *MinLineLength* ≥ 395 px (195 + 150 + 50) dan *MaxLineGap* ≥ 50 .

Berdasarkan dari parameter di atas maka untuk dapat mendeteksi semua garis, maka $MinLineLength \leq 365$ dan $MaxLineGap \Rightarrow 50$, seperti yang terlihat pada gambar 12.



Gambar 12. Contoh Implementasi *Hough transform*.

B. PENELITIAN TERKAIT

Berikut beberapa penelitian sebelumnya dalam hal mendeteksi jalan yang tidak memiliki garis tepi:

1. Sistem dapat mendeteksi batas tepi jalan dengan cara mengenali situasi dari batas jalan tersebut. Ada beberapa kelas yang dijadikan sebagai parameter sebagai situasi dari kondisi tepi jalan yaitu (a)

garis putih (b) garis putih buram (c) trotoar dan garis putih (d) trotoar dan garis putih buram (e) trotoar (f) trotoar dan rumput (g) rumput dan garis putih (h) rumput dan garis putih buram (i) rumput (j) rumput, trotoar dan garis putih (k) rumput dan trotoar (l) rumput, selokan dan garis putih (m) selokan dan garis putih (n) jalur kereta api dan garis putih (o) jalur kereta api, trotoar dan garis putih (p) jalur kereta api dan rumput (q) sisi dinding dan garis putih (r) sisi dinding (s) sisi dinding, rumput dan garis putih (t) sisi dinding dan rumput (u) kendaraan yang diparkir (v) sisi jalan bersalju dan sisi jalan bersalju kasar (w) sisi jalan bersalju dan sisi jalan bersalju yang rusak (x) sisi jalan bersalju dan sisi jalan bersalju halus (y) sisi jalan bersalju dan garis putih. Metode yang digunakan yaitu *Convolutional Neural Network* (CNN) dan akurasi yang dicapai lebih dari 90% [13].

2. Sistem dapat mendeteksi jalan berdasarkan penyaringan histogram warna RGB dan klasifikasi batas untuk mengenali jalan dan non-jalan. Selanjutnya menggunakan *edge detector (Canny)* untuk mendeteksi tepi objek kemudian menyatukan tepi tersebut yang diasumsikan sebagai batas tepi jalan menggunakan *Hough transform* [14].
3. Sistem dapat mendeteksi jalan dengan mengusulkan dua tahap dalam mendeteksi jalan, yaitu berdasarkan ruang warna yang dihasilkan dari kumpulan data jalan umum dan koneksi klaster.

Dimana langkah yang kedua (koneksi klaster) merupakan tahapan untuk menghapus deteksi jalan yang gagal pada tahap pertama (ruang warna) dengan menggunakan korelasi. Rumus korelasi digunakan untuk menghitung kesamaan dari masing-masing gambar klaster. Deteksi jalan yang gagal akan dihapus, jika gambar klaster tidak berkorelasi dengan gambar klaster sekitarnya. Adapun akurasi yang dicapai diatas 90% [15].

4. Sistem pendeteksi jalan dengan menerapkan teknik *thresholding* menggunakan metode *Otsu*. Setelah itu penulis menerapkan metode IPM (*Inverse Perspective Mapping*) yaitu sebuah teknik yang dapat melihat gambar di berbagai sudut pandang, dalam kasus ini penulis mengintegrasikan *Bottom-Up* untuk melakukan pemindaian dan memilih piksel *non-zero*. Terakhir menggunakan *Hough transform* untuk menyesuaikan dua garis lurus yang mewakili batas kiri dan kanan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada kesalahan deteksi pada 80 gambar jalan yang berlokasi di Santiago [16].
5. Sistem yang diusulkan yaitu peningkatan operasi morfologi, yaitu melakukan konversi gambar asli menjadi gambar tipe *grayscale*, kemudian dilakukan konversi menjadi gambar biner dengan menggunakan algoritma segmentasi *threshold* adaptif 2 dimensi *Otsu*. Selanjutnya menggunakan *LOG* operator untuk mendeteksi

tepi, setelah itu penulis menggunakan metode *Hough transform* untuk menandai batas jalan [17].

6. Sistem pendeteksi jalan dengan mengusulkan metode baru yaitu menggabungkan *top-down* dan *bottom-up*. Algoritma ini terintegrasi dalam kerangka penyaringan partikel. Penelitian ini memodelkan jalan dan hubungan kendaraan-jalan secara eksplisit dan menggunakan model generatif untuk memproyeksikan jalan ke dalam tampilan perspektif kamera yang dipasang di kendaraan. Pengklasifikasi piksel yang ditingkatkan yang dipelajari digunakan untuk menghasilkan isyarat visual tingkat tinggi yang jauh lebih adaptif dan kuat. Pengklasifikasi menghasilkan peta probabilistik dan partikel diberi bobot berdasarkan konsistensi jalan yang diproyeksikan dengan peta probabilitas. Kemudian parameter model jalan dan hubungan kendaraan-jalan yang optimal dapat diperkirakan. Untuk membuat metode ini memenuhi kebutuhan waktu nyata (*realtime*), langkah pembobotan partikel yang paling memakan waktu dipercepat dengan hanya menggunakan beberapa baris keluaran klasifikasi, bukan seluruh gambar, yang selanjutnya mengurangi kompleksitas komputasi fitur dan klasifikasi piksel. Tes waktu nyata (*realtime*) menunjukkan ketahanan dari algoritma yang diusulkan [18].
7. Sistem pendeteksi jalan dengan mengusulkan algoritma baru untuk mereduksi biaya komputasi estimasi titik hilang (*vanishing point*)

dan memperkuat ketahanannya terhadap interferensi tepi yang kuat. Secara khusus, penelitian ini menggunakan aktivitas gabungan dari empat filter *Gabor* untuk mempercepat komputasi orientasi tekstur. Piksel dengan tingkat kepercayaan rendah akan dibuang dan sisanya digunakan untuk estimasi titik hilang. Selain itu, algoritma pelacakan titik hilang yang efisien dan efektif juga diusulkan. Sistem yang diusulkan hanya menggunakan ukuran puncak VAS bersama dengan perpindahan rata-rata bergerak pengamatan titik hilang untuk mengatur distribusi calon titik hilang. Sistem yang diusulkan masih memiliki akurasi deteksi yang tinggi meski kurang dari 60 calon titik hilang yang digunakan untuk pemungutan suara. Dengan demikian kompleksitas komputasi sangat berkurang. Metode ini telah diterapkan dan diuji lebih dari 20.000 bingkai video [19].

8. Sistem mengusulkan deteksi jalan berdasarkan seleksi kontur. Pertama, sistem melakukan *preprocessing* yaitu mengonversi gambar ke skala abu-abu (*grayscale*) lalu menghilangkan *noise* menggunakan *Gaussian Filter*. Selanjutnya sistem melakukan deteksi tepi menggunakan *edge detector (Canny)* kemudian memperluas area garis yang dihasilkan. Proses selanjutnya yaitu mendeteksi garis menggunakan *Hough transform* untuk dicocokkan pada saat menyeleksi kontur [20].

9. Metode yang diusulkan melibatkan segmentasi pemandangan jalan dari gambar RGB yang diberikan menggunakan fitur statis yang telah ditentukan yaitu deskripsi tekstur. Pendekatan ini mengidentifikasi wilayah seragam sebagai jalan pada gambar yang diberikan. Langkah *preprocessing* yaitu merubah ukuran gambar dari gambar berwarna. Setelah menerapkan *Uniform Measure* gambar histogram disamakan dan dilakukan proses *threshold* yang menghasilkan gambar biner dengan piksel putih yang mewakili wilayah paling seragam. Untuk mengurangi bintik hitam palsu pada gambar, dilakukan proses dilasi. Estimasi Batas diterapkan untuk mendapatkan tepi jalan yang akurat [21].
10. Sistem pendeteksi jalan dengan mengusulkan algoritma deteksi jalan yang tidak terstruktur dengan menggabungkan aritmatika segmentasi ambang batas (*threshold*) berdasarkan varian eksponen variabel dalam klaster minimum dan algoritma deteksi tepi morfologi. Dengan menganalisis prinsip *Otsu* untuk mendapatkan ambang batas optimal kemudian menggunakan algoritma deteksi tepi morfologi *anti-noise* untuk mendeteksi tepi jalan. Terakhir, batas jalan tersebut diekstraksi dengan menggunakan *Hough transform* [22].

Tabel 1. State of The Art

No	Judul	Penulis	Penerbit	Metode	Hasil
1.	Driving Lane Detection based on Recognition of Road Boundary Situation [13].	H. Komori dan K. Onoguchi	IEEE Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA). 2018	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	Hasil pengujian mencapai tingkat akurasi lebih dari 90%
2.	Road Detection System based on RGB Histogram Filterization and Boundary Classifier [14].	M.D. Enjat Munajat dkk.	IEEE International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS). 2015	<i>Hough Transform</i> berdasarkan penyaringan histogram warna RGB	Sistem dapat mendeteksi jalan dan non-jalan dengan pencahayaan yang baik, akan tetapi belum diuji untuk berbagai kondisi pencahayaan.
3	Road Detection Based on The Color Space and Cluster Connecting [15].	I.K.Somawirata dan F. Utaminingrum	IEEE International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP). 2016	Segmentasi ruang warna jalan umum dan koneksi klaster dari data tersebut.	Hasil pengujian mencapai tingkat akurasi lebih dari 90%

No	Judul	Penulis	Penerbit	Metode	Hasil
4	Robust Lane Marking Detection Using Boundary-Based Inverse Perspective Mapping [16].	Z. Ying dan G. Li	IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2016	<i>Hough Transform</i> berdasarkan hasil binerisasi menggunakan metode Otsu dan IPM (<i>Inverse Perspective Mapping</i>) dari sudut pandang <i>Bottom-Up</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada kesalahan deteksi pada 80 gambar jalan yang berlokasi di Santiago
5	Research On Unstructured Road Detection Algorithm Based On Improved Morphological Operations [17].	X. Ming dkk.	IEEE 4th International Conference on Smart and Sustainable City (ICSSC). 2017	<i>Hough transform</i> berdasarkan batas tepi jalan menggunakan operator LOG	Sistem tidak hanya menghilangkan elemen yang tidak sejenis di area non-jalan, tetapi juga memiliki keuntungan dari operasi yang cepat dan akurasi yang tinggi

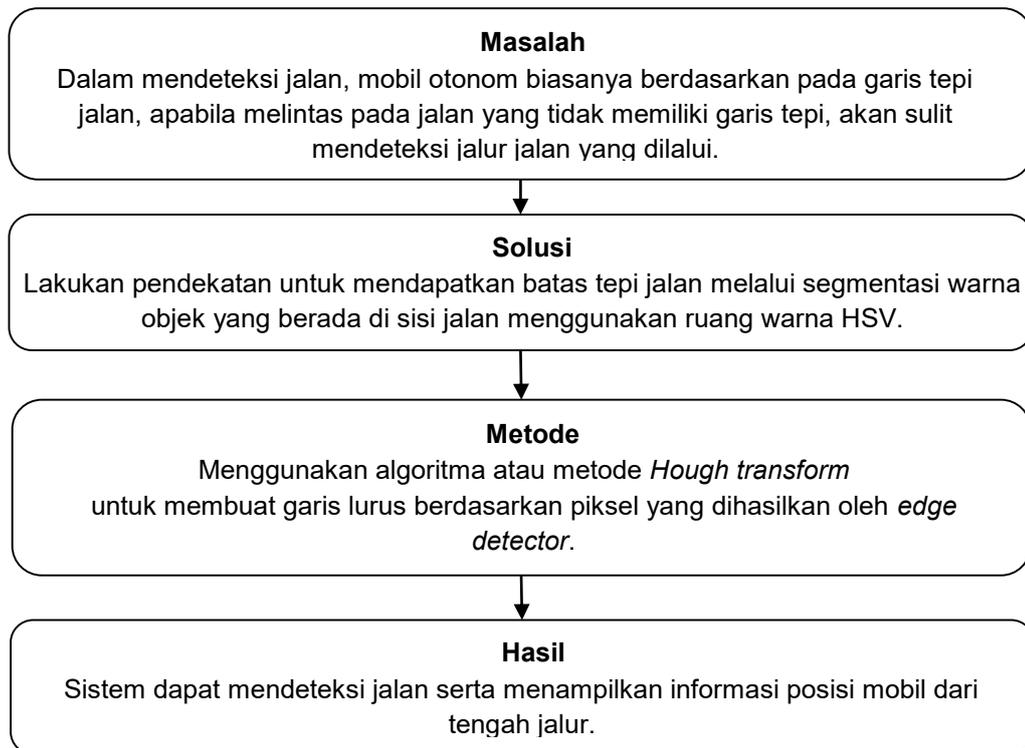
No	Judul	Penulis	Penerbit	Metode	Hasil
6	Fast Unstructured Road Detection And Tracking From Monocular Video [18].	L. Shiao dkk.	Proceedings of the 2015 27th Chinese Control and Decision Conference, CCDC. 2015	Menggabungkan <i>top-down</i> dan <i>bottom-up</i> . Algoritma tersebut terintegrasi dalam kerangka penyaringan partikel. Selanjutnya memodelkan jalan dan hubungan kendaraan-jalan secara eksplisit dan menggunakan model generatif untuk memproyeksikan jalan ke dalam tampilan perspektif kamera yang dipasang di kendaraan.	Sistem mampu mendeteksi jalan di berbagai lingkungan dengan kecepatan eksekusi 50 ms atau 0,05 detik per <i>frame</i>
7	Fast and Robust Vanishing Point Detection for Unstructured Road Following [19].	J. Shi dkk.	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 17. 2015	Mereduksi komputasi estimasi titik hilang dan memperkuat ketahanannya terhadap interferensi tepi yang kuat. Secara khusus, metode menggunakan aktivitas gabungan dari empat filter <i>Gabor</i> untuk mempercepat komputasi orientasi tekstur.	Metode ini telah diterapkan dan diuji lebih dari 20.000 bingkai video. Hasil percobaan menunjukkan bahwa algoritma mencapai kinerja yang lebih baik daripada beberapa metode deteksi titik hilang berbasis tekstur yang canggih dalam hal akurasi dan kecepatan deteksi 0,027 detik per <i>frame</i>

No	Judul	Penulis	Penerbit	Metode	Hasil
8	Unstructured Road Detection Based On Contour Selection [20].	W. Xiang dkk.	4th International Conference on Smart and Sustainable City (ICSSC). 2017	Perluasan gairs tepi yang dihasilkan oleh <i>edge detector (Canny)</i> , selanjutnya menerapkan <i>Hough transform</i> dalam mendeteksi garis lurus dan mendeteksi kontur.	Hasil eksperimen telah dilakukan pada 200 jalan yang berbeda dengan resolusi 420 x 240 piksel
9	ROBOG an autonomously navigating vehicle based on road detection for unstructured road [21].	R.K. Kumar dkk.	International Conference on Signal Processing and Communication Engineering Systems. 2015		<i>Prototipe</i> diuji coba di kampus <i>RGUKT-Basar</i> . <i>ROBOG</i> dijalankan sejauh 5 km tanpa henti pada jalur yang terdiri dari aspal dan tanah. Jalan tersebut tidak memiliki garis marka atau garis tepi.
10	An unstructured road detection method with multi-environmental adaptability [22].	L. Wu dkk.	International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology. 2016	Menggunakan algoritma deteksi morfologi <i>anti-noise</i> pada gambar yang difilter dan diekstraksi pada tepi jalan. Menggunakan <i>Hough transform</i> untuk memvisualisasi batas tepi jalan.	Pengujian telah dilakukan di berbagai kondisi jalan baik secara langsung, maupun gambar yang diunduh di Internet dengan resolusi 300 x 210 piksel.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu cara mendapatkan batas tepi jalan dengan melakukan *thresholding* pada objek yang berada di sisi jalan menggunakan ruang warna HSV berbasis video secara *realtime* dengan biaya rendah (*low cost*) karena hanya menggunakan *single camera*. Penelitian ini juga akan membahas bagaimana menentukan posisi kendaraan dari tengah jalur (*center offset*) yang akan menjadi parameter sistem dalam mengambil keputusan untuk menggerakkan kemudi mobil agar kembali ke tengah jalur pada bagian *actuator*, yang dimana penelitian sebelumnya tidak membahas masalah ini.

C. KERANGKA PIKIR

Kerangka pikir dapat dilihat pada gambar 13, yang menjelaskan alur penelitian yang akan dilakukan. Pada tahap pertama menjelaskan permasalahan yang ada sehingga diperlukan pendekatan untuk mendapatkan solusinya. Selanjutnya yang akan ditawarkan adalah sebuah pendekatan yang dapat melakukan segmentasi warna objek di sekitar jalan. Tahap berikutnya yaitu menggunakan metode yang diusulkan untuk mendeteksi batas tepi jalan yang dijadikan sebagai garis tepi. Tahap akhir sistem dapat memberikan informasi posisi mobil dari tengah jalur.



Gambar 13. Kerangka Pikir Penelitian.