

**ROBOT *LINE FOLLOWER* DENGAN KAMERA PENGOLAH  
CITRA MENGGUNAKAN METODE DETEKSI KONTUR DAN  
PERBANDINGAN INTENSITAS GAMBAR**

SKRIPSI

DIAJUKAN SEBAGAI SALAH SATU SYARAT  
UNTUK MEMPEROLEH GELAR  
SARJANA TEKNIK



Oleh:

Muhammad Ikyu Arqie Ramadhan  
NIM. I0717028

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2021**



---

**SURAT TUGAS****Nomor : /TA/TE/2021**

Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret memberikan tugas kepada:

Nama Mahasiswa : **Muhammad Ikyu Arqie Ramadhan**  
NIM : **I0717028**  
Bidang peminatan : **Sistem kendali Mekanika (SKM)**  
Pembimbing Utama : **Dr. Ir. Augustinus Sujono, M.T**  
NIP. **1951100120161001**  
Pembimbing Pendamping : **Dr. Eng Faisal Rahutomo, S.T., M.Kom**  
NIP. **197711162005011008**  
Mata kuliah pendukung : **1. Machine Learning**  
**2. Teknik Robot**  
**3. Kendaraan Cerdas**

untuk mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**ROBOT LINE FOLLOWER DENGAN KAMERA PENGOLAH  
CITRA MENGGUNAKAN METODE DETEKSI KONTUR DAN  
PERBANDINGAN INTENSITAS GAMBAR**

Surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Surakarta, 15 Februari 2021  
Kepala Program Studi

Feri Adriyanto, Ph.D.  
NIP. 196801161999031001

Tembusan:

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA
3. Koordinator TA
4. Arsip

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH

Saya mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Ikyu Arqie Ramadhan

NIM : 10717028

Judul Tugas Akhir : Robot Line Follower Dengan Kamera Pengolah Citra Metode Deteksi Kontur dan Perbandingan Intensitas Gambar

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir atau Skripsi yang saya susun tidak mencontoh atau melakukan plagiat dari karya tulis orang lain. Jika terbukti Tugas Akhir yang saya susun tersebut merupakan hasil plagiat dari karya orang lain maka Tugas Akhir yang saya susun tersebut dinyatakan batal dan gelar sarjana yang saya peroleh dengan sendirinya dibatalkan atau dicabut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila di kemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, 02 Juli 2021



**M. Ikyu Arqie Ramadhan**

**NIM. 10717028**

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI  
ROBOT LINE FOLLOWER DENGAN KAMERA PENGOLAH CITRA  
MENGUNAKAN METODE DETEKSI KONTUR DAN PERBANDINGAN  
INTENSITAS GAMBAR**


Disusun Oleh

**MUHAMMAD IKYU ARQIE RAMADHAN**

**NIM I0717028**

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

  
**Dr. Ir. Augustinus Sujono M.T.**  
NIP 1951100120161001

  
**Dr. Eng. Faisal Rahutomo, S.T.,  
M.Kom.**  
NIP 197711162005011008


Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Jumat tanggal 30 Juli 2021

1. **Dr. Ir. Augustinus Sujono M.T.**  
NIP. 1951100120161001
2. **Dr. Eng. Faisal Rahutomo, S.T., M.Kom.**  
NIP. 197711162005011008
3. **Muhammad Hamka I, S.T., M.Eng.**  
NIP. 198812292019031011
4. **Hari Maghfiroh M.Eng.**  
NIP. 199104132018031001

Mengetahui,

Kepala Prodi Teknik Elektro

Koordinator Tugas Akhir

  
**Feri Adriyanto, Ph.D.**  
NIP. 196801161999031001

  
**Muhammad Hamka I, S.T., M.Eng.**  
NIP. 198812292019031011

## **Robot *Line Follower* dengan Kamera Pengolah Citra Metode Deteksi Kontur dan Perbandingan Intensitas Gambar**

Muhammad Ikyu Arqie Ramadhan

### **ABSTRAK**

Perkembangan *Line Following Robot* berirama dengan perkembangan dunia industri yang berkembang pesat, dari awal dibuat menggunakan Sensor *LDR* dan Sensor Inframerah dengan tujuan sederhana sebagai sarana pembelajaran, kini *Line Following Robot* yang menggunakan kamera digunakan dalam dunia industri seperti mengotomatiskan transportasi barang yang bergerak secara otomatis untuk menggantikan pemasangan rel yang mahal, pengiriman logistik dan lain sebagainya. Pada Skripsi ini, konsep dan algoritma robot, metode pendeteksian garis, serta parameter-parameter (Kecepatan, Sudut Tikungan, FPS, dan lain sebagainya) yang mempengaruhi kinerja *Line Following Robot* yang menggunakan pengolahan citra di analisis dan dibandingkan sehingga diketahui kinerja terbaik *Line Following Robot* tersebut. Disimpulkan bahwa, Robot Line Follower yang menggunakan kamera sebagai sistem persepsi utama dapat diranacng dengan menggunakan metode deteksi kontur yang menggabungkan metode Canny dan Transformasi Hough atau dengan metode perbandingan intensitas gambar seperti pada Robot pendahulunya. Lalu penerapan teknik transtransi gambar, dilasi dan erosi dapat meningkatkan performa robot dengan menghemat waktu tempuh sebesar 20%.

Kata Kunci : Robot, *Line Following Robot*, Kamera, Pengolahan Citra

## ***Line Following Robot with camera using Image Processing by Comparing Image Intensity and Contour Detection***

Muhammad Ikyu Arqie Ramadhan

### **ABSTRACT**

*The development of Line Following Robot is in rhythm with the development of the rapidly growing industrial world, from the beginning it was made using LDR Sensors and Infrared Sensors with the simple purpose of being a learning tool, now Line Following Robots that use cameras are used in the industrial world such as automating the transportation of moving goods automatically to replace expensive rail installation, logistics delivery and so on. In this thesis, robot concepts and algorithms, line detection methods, and parameters that affect the performance of Line Following Robot that uses image processing such as Speed, Bend Angle, FPS, etc. are analyzed and compared so that the best performance of Image Processing based Line Following Robot is known. It was concluded that the Line Follower Robot that uses the camera as the main perception system can be run by using a detection method that combines the Canny and Hough Transform methods or by comparing images intensity as in its predecessor LFR Robot. Then the application of image transformation, dilation and erosion techniques can improve robot performance by saving travel time by 20%.*

*Keywords: Mobile Robot, Line Following, Camera, Image Processing*

## KATA PENGANTAR

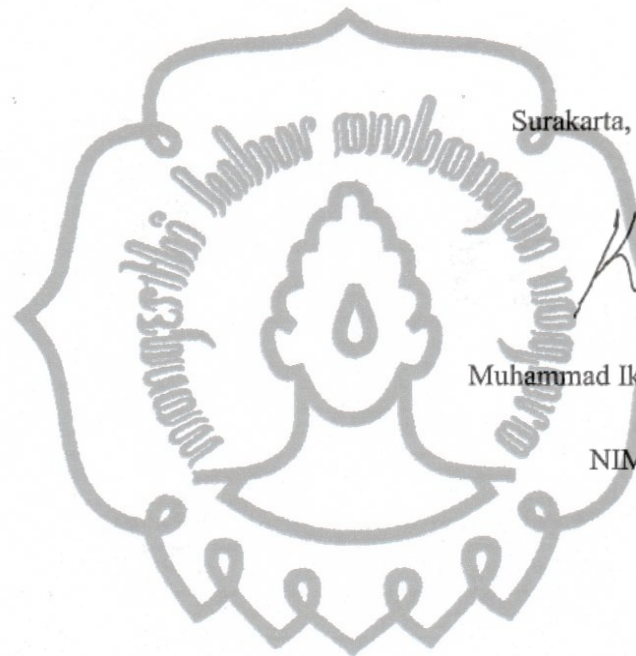
Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan Judul “Robot Line Follower dengan Kamera Pengolah Citra Metode Deteksi Kontur dan Perbandingan Intensitas Gambar” dengan lancar dan tepat waktu. Laporan Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan akademik dalam memperoleh kelulusan studi di Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis telah mendapatkan banyak bimbingan, doa, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan kemurahan-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan penuh penyertaan,
2. Bapak Feri Adriyanto, PhD. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro,
3. Bapak Dr. Ir. Augustinus Sujono, M.T, selaku Dosen Pembimbing Utama,
4. Bapak Dr. Eng Faisal Rahutomo, S.T., M.Kom, selaku Dosen Pembimbing Pendamping,
5. Bapak Dr. Eng Faisal Rahutomo, S.T., M.Kom, selaku Dosen Pembimbing Pendamping,
6. Bapak Muhammad Hamka I., S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1,
7. Bapak Hari Maghfiroh M.Eng. selaku Dosen Penguji 2,
8. Bapak Prof. Ir. Muhammad Nizam, S.T., M.T., Ph.D., IPM. S.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik,
9. Kedua Orang Tua saya, Bapak Ir. Gunawan dan Ibu Dr. Harti Budi Yanti M.Si, Ak, Ca, yang selalu memberikan doa,
10. Segenap jajaran Dewan Dosen dan Staff Prodi Teknik Elektro yang telah memberikan sumbangsih terhadap Teknik Elektro.

11. Gilang Satria Ajie, Faishal Hanifan Ma'ruf, Kevin Dwiyanto Saputra dan teman-teman lainnya yang membantu membimbing penulis hingga menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun sangat diharapkan. Demikian Laporan Tugas Akhir ini disusun, dengan harapan dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.



Surakarta, 03 Agustus 2021

*Kelly*  
Muhammad Ikyu Arqie Rmaadhan

NIM. I0717028



## DAFTAR ISI

HALAMAN SURAT PENUGASAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN PENGUJI.....	iv
ABSTRAK.....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Konsep Robot Bergerak.....	5
2.2 Sistem Persepsi.....	6
2.2.1 Kamera.....	6
2.2.1.1 Kamera Raspberry Pi.....	6
2.2.1.2 Kamera Night Vision Raspberry Pi.....	7
2.3 Sistem Kognisi.....	7
2.3.1 Raspberry Pi 4.....	7
2.3.2 Pengolahan Citra.....	8
2.3.2.1 Pengondisian Gambar ( <i>Image Enhancement</i> ).....	8
2.3.2.2 Metode Iterasi.....	9
2.3.2.3 Histogram.....	10
2.3.2.4 Metode Filter Morfologi.....	11
2.3.2.5 Teknik Filter.....	15
2.3.2.6 Metode Canny.....	20
2.3.2.7 Metode Transformasi Hough.....	21
2.3.2.8 Transformasi Gambar.....	24
2.3.2.9 OpenCV.....	25
2.4 Sistem Gerak.....	26
2.4.1 Kemudi Differential.....	26
2.4.2 Metode Kontrol.....	27
2.4.1.1 PWM.....	27
2.4.1.2 PID.....	27
2.4.3 Driver Motor L298.....	30
2.5 Performa dan Metode Pengujiannya.....	31
2.5.1 Akurasi Robot Terhadap Jalur.....	31
2.5.2 Akurasi Robot terhadap Jalur Tikungan.....	32
2.5.2.1 Error Terhadap Jalur Tikungan ( <i>Cornerring Round-off error</i> )...	33
2.5.2.2 Overshoot Tikungan ( <i>Cornering Overshoot</i> ).....	33
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	34

3.1 Waktu dan Tempat .....	34
3.2 Metode Penelitian.....	34
3.3 Studi Literatur .....	35
3.4 Perancangan Sistem Pendeteksian Lintasan Pada <i>Robot Line Follower</i> Yang menggunakan Pengolahan Citra.....	35
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras .....	36
3.4.2 Perancangan Perangkat Lunak .....	37
3.4.2.1 Metode Perbandingan Intensitas Gambar.....	38
3.4.2.2 Metode Deteksi Kontur .....	40
3.5 Penerapan Filter Erosi dan Dilasi serta Pengujian Respons Sistem.....	44
3.5.1 Pengujian Akurasi Sistem dalam melakukan Pendeteksian Garis .....	44
3.5.2 Pengujian Akurasi Sistem Pendeteksian Terhadap Perubahan Kontur ..	45
3.5.3 Pengujian Respons sistem terhadap perubahan Pencahayaan .....	46
3.5.4 Pengujian Execution Time .....	47
3.5.5 Pengujian Respons Sistem Terhadap Perubahan Sudut Lintasan .....	47
3.6 Penyesuaian Metode.....	49
3.6.1 Penerapan Teknik Transformasi Gambar untuk memperbaiki respons sistem terhadap perubahan sudut lintasan .....	49
3.6.2 Penerapan Metode PID Untuk Memperbaiki Respons Sistem Terhadap Perubahan Kecepatan dan Sudut Lintasan .....	50
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....</b>	<b>51</b>
4.1 Perancangan Sistem Pendeteksian Lintasan.....	51
4.1.1 Penempatan Komponen.....	51
4.1.2 Posisi Kamera.....	52
4.1.3 Pembuatan Perangkat Lunak .....	55
4.1.3.1 Metode Perbandingan Intensitas Gambar.....	55
4.1.3.2 Metode Deteksi Kontur .....	56
4.2 Penerapan Filter Erosi dan Dilasi serta Pengujian Respons Sistem.....	57
4.2.1 Pengujian Akurasi Sistem Pendeteksian Terhadap Perubahan Kontur ..	60
4.2.2 Pengujian Respons Sistem Terhadap Perubahan Pencahayaan.....	62
4.2.3 Pengujian Execution Time .....	64
4.2.4 Pengujian Respons Sistem Terhadap Perubahan Sudut Lintasan .....	66
4.2.5 Pengujian Respons Sistem Terhadap Perubahan Kecepatan.....	68
4.3 Peningkatan Kinerja .....	69
4.3.1 Penerapan Transformasi Gambar Untuk Meningkatkan Akurasi dan Kestabilan Sistem dalam Mendeteksi Lintasan.....	69
4.3.2 Penerapan Metode PID untuk Meningkatkan Akurasi Pendeteksian Lintasan .....	72
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>73</b>
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>74</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>
Lampiran 1. Spesifikasi Kamera Night Vision Raspberry Pi.....	78
Lampiran 2. Spesifikasi Kamera Raspberry Pi .....	78
Lampiran 3. Datasheet L298 Driver Motor.....	80
Lampiran 4. Kode Python Robot Line Follower Metode Deteksi Kontur .....	82

Lampiran 5. Kode Python Robot Line Follower Menggunakan Metode Perbandingan Intensitas Gambar..... 89



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kamera Hd Pi Camera [8].....	6
Gambar 2.2 Kamera Night Vision Pi Camera [9].....	7
Gambar 2.3 Raspberry Pi [10] .....	8
Gambar 2.4 Tahapan Pengolahan Citra secara garis besar .....	8
Gambar 2.5 Penggunaan Histogram [13].....	10
Gambar 2.6 Proses Dilation dan Erosion [14] .....	12
Gambar 2.7 Proses erosi [14].....	13
Gambar 2.8 Proses dilasi [14].....	13
Gambar 2.9 Proses opening [14].....	13
Gambar 2.11 Proses <i>Boundary Extraction</i> [14] .....	15
Gambar 2.13 Gambar Asli (kiri), Gambar yang diberi Blur (kanan) [13] .....	17
Gambar 2.15 Filter Sobel Secara vertikal (kiri), secara horizontal (kanan) [13]..	19
Gambar 2.16 Hasil Filter Sobel (kiri), Hasil setelah dilakukan Thresholding (kanan) [13] .....	19
Gambar 2.17 Nilai Treshold minimum (kiri), Nilai Threshold Maksimum (kanan) [13] .....	20
Gambar 2.18 Contoh Garis dengan sudut $\theta$ berbeda [13].....	22
Gambar 2.19 Garis yang terdeteksi algoritma Hough Transform [13] .....	23
Gambar 2.20 Garis yang terdeteksi algoritma Transformasi Hough Probabilitas [13] .....	24
Gambar 2.21 Perubahan Perspektif [14].....	25
Gambar 2.22 Kinematika penggerak Differential [17].....	27
Gambar 2.23 Diagram blok pengendali PID [20] .....	28
Gambar 2.24 Motor Driver L298N [21] .....	30
Gambar 2.25 Akurasi Robot Terhadap Tikungan [22] .....	32
Gambar 3.1 Diagram Metode Penelitian.....	34
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem .....	35
Gambar 3.3 Blok Diagram Perangkat Keras.....	36
Gambar 3.4 Sirkuit Diagram Perangkat Keras.....	36
Gambar 3.5 Perancangan Sudut pandang Kamera.....	37
Gambar 3.6 Flowchart Robot <i>Line Follower</i> metode Perbandingan Intesitas .....	38
Gambar 3.7 Proses pembagian wilayah untuk dibandingkan intensitasnya .....	39
Gambar 3.8 Flowchart Robot <i>Line Follower</i> dengan Metode <i>Deteksi Kontur</i> .....	40
Gambar 3.9 Flowchart Metode Canny .....	41
Gambar 3.10 Flowchart Metode Hough .....	42
Gambar 3.11 Penerapan Filter Dilasi dan Erosi.....	44
Gambar 3.12 Lintasan dengan sudut 30 dan 60° .....	48
Gambar 3.13 Penerapan <i>Bird Eye Perspective</i> (A) Tampak Kamera (B) <i>Bird Eye Perspective</i> .....	49
Gambar 4.1 Penempatan Komponen.....	51
Gambar 4.2 Robot <i>Line Follower</i> dengan posisi kamera 90° terhadap lintasan... 52	52
Gambar 4.3 Perbandingan Tangkapan Kamera dan Posisi Robot (A) Tampak Kamera 2 cm dari tikungan, (B) Posisi Kamera 25 cm dari tikungan, (C) Tampak Kamera 1 cm dari tikungan, (D) Posisi Kamera 20 cm dari tikungan .....	53

Gambar 4.4 Penempatan Kamera pada Sudut 45° (A) Perancangan Penempatan Kamera, (B) Tampak Kamera, (C) Posisi Robot .....	54
Gambar 4.6 Proses Pendeteksian Lintasan Metode Deteksi Kontur (A) Tangkapan Kamera, (B) Filter <i>Grayscale</i> , (C) Pengaburan, (D) Canny, (E) ROI, (F) Transformasi Hough.....	56
Gambar 4.7 Penerapan Filter Erosi dan Dilasi pada metode Perbandingan Intesitas (A) Tangkapan Kamera, (B) Hasil Pendeteksian, (C) Penggunaan Filter .....	57
Gambar 4.8 Penerapan Filter Erosi dan Dilasi pada metode Deteksi Kontur (A) Tangkapan Kamera, (B) Hasil Pendeteksian, (C) Penggunaan Filter.....	58
Gambar 4.9 Grafik Laju Perubahan Sudut Kemudi Dengan dan Tanpa Filter Dilasi dan Erosi pada metode Deteksi Kontur.....	59
Gambar 4.10 Grafik Laju Perubahan Sudut Kemudi dengan Penambahan Filter Dilasi dan Erosi pada metode Perbandingan Intensitas .....	59
Gambar 4.11 Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Kontur dengan Metode Perbandingan Intensitas (A) Tangkapan Kamera, (B) Proses Pendeteksian, (C) Hasil Pendeteksian.....	60
Gambar 4.12 Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Kontur Metode Deteksi Kontur (A) Tangkapan Kamera, (B) Proses Pendeteksian, (C) Hasil Pendeteksian.....	61
Gambar 4.13 Pendeteksian Garis ketika pencahayaan minim pada metode Perbandingan Intensitas (A) Tangkapan Kamera, (B) Proses Pendeteksian, (C) Hasil Pendeteksian .....	62
Gambar 4.14 Pendeteksian Garis ketika pencahayaan minim pada metode Deteksi Kontur (A) Tangkapan Kamera Pi Camera, (B) Proses Pendeteksian, (C) Hasil Pendeteksian, (D) Tangkapan Kamera Night Vision, (E) Proses Pendeteksian, (F) Hasil Pendeteksian .....	63
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Waktu Eksekusi 1 Siklus Program .....	65
Gambar 4.16 Proses pendeteksian lintasan tikungan pada metode perbandingan intensitas (A) Tangkapan Kamera pada Tikungan 30°, (B) Proses Pendeteksian, (C) Hasil Pendeteksian, (D) Tangkapan Kamera pada Tikungan 60°, (E) Proses Pendeteksian, (F) Hasil Pendeteksian, .....	66
Gambar 4.17 Proses pendeteksian tikungan dengan metode deteksi kontur (A) Tangkapan Kamera pada Tikungan 30°, (B) Proses Pendeteksian, (C) Hasil Pendeteksian, (D) Tangkapan Kamera pada Tikungan 60°, (E) Proses Pendeteksian, (F) Hasil Pendeteksian, .....	67
Gambar 4.18 Hasil Pengujian Waktu Tempuh pada Lintasan terhadap Perubahan Kecepatan.....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar ISO 8266 Tentang Pengukuran Akurasi Robot Terhadap Jalur .....	31
Tabel 2.2 Standar ISO 8266 Tentang Pengukuran Akurasi Robot Terhadap Jalur Tikungan .....	33
Tabel 3.1 Pengaturan besar sudut untuk kontrol motor .....	39
Tabel 3.1 Pengaturan besar sudut untuk kontrol motor .....	43
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Akurasi Sistem dengan Filter Erosi dan Dilasi.....	58
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Kontur .....	61
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Pencahayaan....	64
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Waktu Eksekusi .....	65
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Sudut Lintasan	68
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Sudut dan Kecepatan.....	68
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Akurasi Sistem dengan Penerapan <i>Bird Eye View</i> .....	71
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Akurasi Sistem dengan Bird Eye View Pada Sudut Derajat.....	71
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Akurasi Sistem Terhadap Perubahan Kecepatan dengan Penerapan Metode PID .....	72

