



Buku Tugas Akhir

Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Robot* Berbasis Visual untuk Mengikuti Target

Avicenna Fahrúnasa
2016630026

Pembimbing:
Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T.
Triana Mugia Rahayu, S.T., M.Sc.

Diajukan untuk memenuhi salah
satu syarat mendapatkan gelar
Sarjana Teknik

Januari 2021

Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Robot* Berbasis Visual untuk Mengikuti Target

Avicenna FAHRUNASA
2016630026

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Universitas Katolik Parahyangan.

Panitia Penguji :

Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T., Pembimbing 1
Triana Mugia Rahayu, S.T., M.Sc., Pembimbing 2
Nico Saputra, PhD., Penguji 1
Dr. Christian Fredy Naa, S.Si., M.Si., M.Sc.,
Penguji 2

© 2021, Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekanika)– Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit no 94, Bandung 40141, INDONESIA.

Dokumen ini dilindungi oleh undang-undang. Tidak diperkenankan mereproduksi seluruh ataupun sebagian isi dokumen ini dalam bentuk apa pun, baik secara cetak, photoprint, mikrofilm, elektronik, atau cara lainnya tanpa izin tertulis dari Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekanika), Universitas Katolik Parahyangan.

All rights reserved. No part of the publication may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm, electronic or any other means without written permission from the Department of Electrical Engineering (Mechatronics), Parahyangan Catholic University.

Lembar Persetujuan Selesai



Tugas Akhir berjudul:

Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Robot* Berbasis Visual untuk Mengikuti Target

oleh:

Avicenna Fahrnasa

NPM : 2016630026

ini telah diujikan pada Sidang Tugas Akhir 2 (IME 184500) di Program Studi Sarjana
Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Katolik Parahyangan serta dinyatakan SELESAI.

TANDA PERSETUJUAN SELESAI,

Bandung, Januari 2021

Ketua Program Studi Sarjana

Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika

Dr. Ir. Ali Sadiyoko, M.T

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T.

Triana Mugia Rahayu, S.T., M.Sc.

PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

AVICENNA FAHRUNASA

dengan ini menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir dengan judul:

"PERANCANGAN SISTEM KONTROL *MOBILE ROBOT* BERBASIS
VISUAL UNTUK MENGIKUTI TARGET"

adalah hasil pekerjaan Saya. Seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka Saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada Saya.

Bandung,

Avicenna Fahrúnasa

NPM: 2016630026

Lembar Persembahan

Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk
orang tua saya yang terus mendukung saya,
pacar saya yang selalu bersama saya,
almamater tercinta,
bangsa dan negara.

Pedoman Penggunaan Buku Tugas Akhir

Buku Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Katolik Parahyangan, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Katolik Parahyangan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Buku Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Staf dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan dapat menggunakan Buku Tugas Akhir ini sebagai rujukan pada penelitian-penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh Koordinator Tugas Akhir dan/atau Tim Dosen Pembimbing.

Abstrak

Latar belakang penelitian ini berawal dari kamera yang terpasang pada kendaraan tetapi tidak digunakan dan waktu respon komputer dalam mengatur pergerakan kendaraan dengan cepat dan stabil dibanding pengendara manusia. Pada penelitian ini dilakukan replikasi teknologi *leader-follower* (konvoi) pada *mobile robot* yang bertujuan untuk menunjukkan bahwa implementasi teknologi untuk mengikuti target di depannya cukup mudah untuk dilakukan. Pada penelitian ini juga dipaparkan rancangan dan hasil rancangan *mobile robot leader* dan *follower*. Tahap perancangan dimulai dari pemilihan komponen, pembuatan program pengolahan citra dan sistem kontrol logika fuzzy pada *leader* dan *follower* dilanjutkan dengan pembuatan *mobile robot* tersebut. *Mobile robot leader* dan *follower* pada penelitian ini menggunakan LEGO Mindstorm (*leader*) dan *mobile robot* Ackerman (*follower*). Selanjutnya dilakukan percobaan sistem kontrol *leader-follower* pada *mobile robot*. Percobaan yang ada direkam dengan kamera dan dianalisis menggunakan program Python untuk mendapatkan nilai koordinat *leader* dan *follower*. Berdasarkan analisis yang ada dapat disimpulkan bahwa *follower* berhasil mengikuti target di depannya dengan rata-rata jarak 11.77 cm pada jalur lurus dan 20.13 cm pada jalur berbelok. Tetapi batasan sistem pada keduanya adalah 20 cm. Waktu respon *follower* dari akuisisi data hingga menghasilkan *output* memiliki nilai yang stabil dengan rata-rata keseluruhan sebesar 61 ms. Perancangan sistem kontrol untuk mengikuti target ini diharapkan dapat mendorong implementasi teknologi *leader-follower* untuk mempermudah manusia dalam berkendara khususnya di kondisi konvoi pada semua jenis kendaraan roda 4 atau lebih.

Kata kunci:

Konvoi, leader, follower, Teknologi leader-follower, mobile robot Ackerman dan LEGO Mindstorm, Sistem kontrol logika fuzzy, Kamera, Pengolahan Citra

Abstract

The background of this research starts from the camera that is installed in vehicle but not used optimally and the response time of the computer in regulating vehicle movement is faster and steadier compared to human drivers. In this research, the leader-follower (convoy) technology is replicated in mobile robot aimed to show that the implementation of the technology to follow the target in front of it is easy enough to do. This research also described the designs and results of the mobile robot leader and follower designs. The design phase starts from the selection of components, the creation of image processing programs and fuzzy logic control systems on the leader and followers followed by the creation of mobile robots. The leader and follower in the design are LEGO Mindstorm and mobile robot Ackerman respectively. Furthermore, an experiment of the leader-follower control system was carried out on the mobile robot. The existing experiment was recorded with a camera and analyzed using the Python program to obtain the leader and follower coordinates. Based on the existing coordinates, it can be concluded that the existing follower has succeeded in following the target in front of it with an average distance of 11.77 cm on a straight line and on the curving path, the resulted value was 20.13 cm. However, the value of the limitation made for both was 20 cm. The mobile robot response time has a stable value with an overall average of 61 ms. It is hoped that the design of a control system to follow this target can encourage the implementation of leader-follower technology to make it easier for humans to drive, especially convoys on all types of vehicles with 4 wheels or more.

Keywords:

Convoy, leader, follower, leader-follower Technology, mobile robot Ackerman and LEGO Mindstorm, Fuzzy logic control system, Camera, Image Processing

Kata Pengantar

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena rahmat-Nya penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Robot* Berbasis Visual untuk Mengikuti Target" disusun, sebagai syarat untuk mengikuti Sidang Laporan pada mata kuliah Tugas Akhir II (IME 184500-04) pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.

Saat melakukan penelitian serta menyusun laporan ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dorongan dari berbagai pihak dalam bentuk bantuan moral dan bantuan moril, diantaranya:

1. Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T. dan Triana Mugia Rahayu, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir di Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.
2. Bapak Norman Syakir dan ibu Trimurti Hesti Wardini, sebagai orangtua penulis. Terima kasih atas semua kasih sayang, perhatian, dorongan kepada penulis, dan segala kebutuhan yang telah dipenuhi.
3. Ignatius Evan S.T. yang telah menyumbangkan hasil karya tugas akhirnya untuk digunakan sebagai basis dari tugas akhir dan dikembangkan oleh penulis pada tugas akhir ini.
4. Rekan-rekan Jurusan Mekatronika yang memiliki topik yang mirip sehingga dapat belajar bersama tentang topik tersebut.
5. Pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu pada proposal ini.

Laporan Tugas Akhir dengan judul "Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Robot* Berbasis Visual untuk Mengikuti Target" dibuat berdasarkan dua masalah. Masalah pertama adalah kamera pada kendaraan semi-otonom yang dapat digunakan untuk membuat hubungan *leader-follower* tetapi tidak digunakan untuk mengikuti target di depannya. Padahal berdasarkan penelitian yang ada

fungsi tersebut cukup mudah untuk diimplementasikan dan memiliki banyak manfaat sehingga implementasi yang ada dilakukan pada *mobile robot* terlebih dahulu. Kedua adalah manusia memiliki kecepatan respon terhadap impuls yang lebih rendah dibanding mesin sehingga peran teknologi dapat memberikan dampak positif sangat penting.

Mohon maaf bila terdapat beberapa kekurangan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membaca Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas Akhir dapat berguna bagi perkembangan Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan serta khazanah keilmuan Teknik Mekatronika pada umumnya serta bila ada suatu kekurangan dapat disampaikan kepada penulis untuk menjadi perbaikan kedepannya.

Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	5
1.4 Tujuan Tugas Akhir	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir	6
1.6 Metodologi Tugas Akhir	6
1.7 Sistematika Penulisan	7
2 Tinjauan Pustaka	9
2.1 <i>Advanced Driving Assist System</i> (ADAS)	9
2.2 Pengolahan Citra Digital	10
2.3 Kontrol Motor DC dan Motor Servo Sederhana	13
2.4 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	14
2.4.1 Kontroler Logika Fuzzy dengan Masukan Tunggal	17
2.4.2 Inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno-Kang(T-S-K)	18

2.5	Konsep <i>Leader-Follower</i>	18
2.6	Ringkasan Penelitian Terkait	20
2.6.1	Teknik Identifikasi Target	20
2.6.2	Teknik Pengambilan Data dari <i>Input Visual</i>	21
2.6.3	Teknik untuk Menghasilkan Kontrol Motor	22
3	Perancangan Sistem	25
3.1	Spesifikasi Sistem/Disain	25
3.1.1	<i>Mobile Robot Leader</i>	25
3.1.2	<i>Mobile Robot Follower</i>	27
3.2	Rincian Disain	27
3.2.1	Komponen Utama <i>Leader</i>	28
3.2.2	Komponen Utama <i>Follower</i>	28
3.3	Rincian Sistem	29
3.3.1	Program <i>Leader</i>	29
3.3.2	Program <i>Follower</i>	30
3.3.3	Fuzzy Logic System	35
3.4	Prosedur Pengujian Sistem	41
4	Analisis Sistem	42
4.1	Hasil Rancangan <i>Mobile Robot</i>	42
4.1.1	<i>Mobile Robot Leader</i>	42
4.1.2	<i>Mobile Robot Follower</i>	44
4.2	Pengujian <i>Mobile Robot Follower</i>	46
4.2.1	Rancangan Pengujian	46
4.2.2	Pengambilan Data Posisi <i>Mobile Robot</i>	50
4.2.3	Data Posisi <i>Mobile Robot Follower</i> Pengujian Jalur Lurus	51
4.2.4	Data Posisi <i>Mobile Robot Follower</i> Pengujian Jalur Belok	54
4.2.5	Data Waktu Respon <i>Mobile Robot Follower</i>	57
5	Simpulan dan Saran	59
5.1	Simpulan	59
5.2	Saran	60
	Daftar Pustaka	61
	Lampiran A Data Percobaan <i>Leader-Follower</i>	66
A.1	Tabel Data Percobaan Lurus	67
A.2	Tabel Data Percobaan Belok	69
A.3	Data Kecepatan Proses <i>Mobile Robot Follower</i>	71

Lampiran B Program Yang Digunakan	73
B.1 Program Phyton <i>Leader-Follower</i> & Sistem Fuzzy Logic	73
B.2 Program Python Untuk Analisis Video Percobaan	79
B.3 Program Matlab Untuk <i>Live-Plotting</i> Data Hasil Analisis Percobaan	82
B.3.1 Function Circle	84

Daftar Tabel

2.1	Nilai Pada Ruang Warna RGB, HSV, dan HSV OpenCV	10
2.2	Matrix Referensi <i>Input</i> hingga Proses Pengolahan Citra	23
2.3	Matrix Referensi <i>Output</i>	24
3.1	Spesifikasi Warna	26
3.2	Himpunan Keanggotaan <i>Input</i> Posisi Target	35
3.3	Himpunan Keanggotaan <i>Input</i> Ukuran Target	36
3.4	Himpunan Keanggotaan <i>Output</i> Kecepatan	38
3.5	Himpunan Keanggotaan <i>Output</i> Kemudi	39
A.1	Tabel Rata-Rata Jarak antara <i>Leader</i> dan <i>Follower</i>	67
A.2	Tabel Rata-Rata Jarak antara <i>Leader</i> dan <i>Follower</i> pada sumbu x	68
A.3	Tabel Rata-Rata Jarak antara <i>Leader</i> dan <i>Follower</i> pada sumbu y	68
A.4	Tabel Rata-Rata Jarak antara <i>Leader</i> dan <i>Follower</i>	69
A.5	Tabel Rata-Rata Jarak antara <i>Leader</i> dan <i>Follower</i> pada sumbu x	70
A.6	Tabel Rata-Rata Jarak antara <i>Leader</i> dan <i>Follower</i> pada sumbu y	70
A.7	Data Waktu Respon Mikroprosesor <i>Mobile Robot Follower</i>	71

Daftar Gambar

1.1	Perkiraan linier jalur kendaraan berdasarkan model <i>Car-Following</i> sederhana dari Newell [5].	3
1.2	Perbandingan jalur kendaraan ideal dan sebenarnya [6].	4
2.1	RGB dan HSV <i>Color Space</i> [11].	11
2.2	Diagram Blok sederhana <i>Input</i> hingga <i>Output Follower</i>	11
2.3	Pengaruh <i>Duty Cycle</i> terhadap Rata-Rata Tegangan	13
2.4	Contoh Fungsi keanggotaan Segitiga FLC	15
2.5	Bagan Alur FLC	16
2.6	Contoh Fungsi Keanggotaan Input = 52	17
2.7	Topologi informasi <i>predecessor following</i> (PF)	19
2.8	Topologi informasi <i>predecessor following</i> (PF) pada penelitian	20
3.1	Rancangan Sistem <i>Mobile Robot Follower</i> secara Umum	25
3.2	<i>Mobile Robot</i> LEGO MindStorm, Sumber : LEGO MindStorm Education Application	26
3.3	Tampak Isometric <i>mobile robot</i> Ackerman [8].	27
3.4	Ilustrasi pemasangan kamera RGB pada <i>mobile robot ackerman</i>	29
3.5	<i>Visual Programming</i> sederhana LEGO MindStorm	30
3.6	Diagram Alur pada <i>Follower</i>	31
3.7	Contoh Gambar Hasil Akuisisi Kamera RGB pada <i>Follower</i>	32
3.8	Gambar Hasil Deteksi Warna Target	33
3.9	Ilustrasi Hasil Akhir Pengolahan Gambar pada <i>follower</i>	34
3.10	Himpunan Keanggotaan <i>Input</i> Posisi Target	36
3.11	Himpunan Keanggotaan <i>Input</i> Ukuran Target	37
3.12	Himpunan Keanggotaan <i>Output</i> Kecepatan	38
3.13	Himpunan Keanggotaan <i>Output</i> Kemudi	39
4.1	Tampak Isometric <i>mobile robot leader</i>	43
4.2	Tampak Belakang <i>mobile robot leader</i>	43
4.3	Tampak Atas <i>mobile robot leader</i>	44

4.4	Tampak Isometric <i>mobile robot follower</i>	44
4.5	Tampak Depan <i>mobile robot follower</i>	45
4.6	Tampak Atas <i>mobile robot Follower</i>	45
4.7	Program <i>Mobile Robot Leader</i> untuk Jalur Lurus	46
4.8	Jalur <i>Mobile Robot Leader</i> pada Percobaan Lurus	47
4.9	Jalur <i>Mobile Robot</i> Menurut Teori Newell pada Percobaan Lurus	47
4.10	Program <i>Mobile Robot Leader</i> untuk Jalur Berbelok	48
4.11	Jalur <i>Mobile Robot Leader</i> pada Percobaan Belok	48
4.12	Jalur <i>Mobile Robot</i> Menurut Teori Newell pada Percobaan Belok	49
4.13	Kondisi Awal Percobaan Berdasarkan Tangkapan Kamera . . .	49
4.14	Ilustrasi Analisis Video Percobaan Lurus dan Belok	51
4.15	Contoh Hasil Percobaan Lurus	52
4.16	Contoh Hasil Percobaan Lurus pada Sumbu x	53
4.17	Contoh Hasil Percobaan Lurus pada Sumbu y	54
4.18	Contoh Hasil Percobaan Belok	55
4.19	Contoh Hasil Percobaan Belok pada Sumbu x	56
4.20	Contoh Hasil Percobaan Belok pada Sumbu y	56
4.21	Waktu Respon Mikroprosesor pada Salah Satu Data	57

Bab 1

Pendahuluan

Dalam situasi berkendara, kendaraan-kendaraan yang ada dapat membentuk suatu hubungan konvoi *leader-follower*. Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), konvoi berarti "iring-iringan kendaraan (dalam suatu perjalanan bersama)" [1]. Jika pada hubungan *leader-follower* biasa, kendaraan *follower* sekedar mengikuti kendaraan *leader*, maka pada situasi konvoi, kendaraan *follower* harus bisa mengikuti kendaraan *leader* dengan jarak yang dijaga tetap. Saat ini beberapa produsen mobil menambahkan teknologi *car-following* pada beberapa produknya. Teknologi tersebut merupakan salah satu bentuk dari *Advanced Driver Assistance System* (ADAS). *Advanced Driver Assistance System* merupakan sistem pendukung canggih dalam berkendara yang digunakan pada bidang otomotif untuk menangkap situasi sekitar kendaraan menggunakan berbagai macam sensor. *Advanced Driver Assistance System* digunakan untuk memberikan sinyal bahaya kepada pengemudi, memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengemudi dan pejalan kaki. *Advanced Driver Assistance System* menyediakan segala fungsi yang berhubungan dengan pengaturan kemudi dan rem kendaraan serta sistem pendukung pengemudi lainnya termasuk *Adaptive Cruise Control* (ACC). Pada level kendaraan otonom, ADAS ditempatkan pada level 2 yaitu *autonomous driving* [2].

1.1 Latar Belakang Masalah

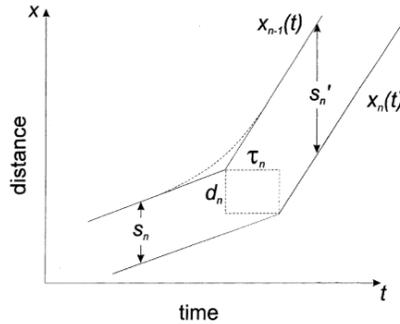
Pada teknologi otomotif saat ini terdapat teknologi yang digunakan untuk mengatur pergerakan kendaraan seperti *Adaptive Cruise Control* (ACC) yang dapat mengontrol kecepatan kendaraan dan *Lane Keeping Assist System* (LKAS) yang dapat mempertahankan posisi kendaraan agar tetap berada di jalurnya.

Kedua teknologi tersebut menggunakan sensor kamera yang bisa digunakan untuk mendeteksi target serta aktuator yang bisa digunakan untuk menggerakkan kendaraan menuju target tetapi teknologi tersebut tidak untuk situasi konvoi atau mengikuti kendaraan di depannya. Bila kendaraan yang ada ditambahkan algoritma *leader-follower* yang dapat mengontrol pergerakan kendaraan maka situasi konvoi tersebut dapat dicapai.

Pada zaman kendaraan pintar seperti saat ini, kamera sudah menjadi bagian yang umum pada kendaraan yang ada seperti BMW, Tesla, dan lain-lain [3]. Oleh karena itu, sangat disayangkan penggunaannya yang tidak dimanfaatkan sebaik mungkin. Contohnya di Indonesia dengan sistem lalu lintas yang berbeda dengan negara-negara Eropa atau Amerika, teknologi tersebut belum dapat digunakan walaupun kamera yang ada tetap terpasang di kendaraan tersebut.

Teknologi *car-following* berbasis kamera untuk kebutuhan konvoi bisa didapatkan dengan murah dibandingkan harga pasaran yang ada [4]. Berdasarkan pengalaman peneliti di brand mobil, hal ini menunjukkan biaya pasaran yang tidak murah hanya terbuang sia-sia, padahal telah dibuktikan bahwa implementasi dari teknologi *leader-follower* cukup mudah dan tidak memakan biaya yang mahal. Hal itu terjadi karena sistem lalu lintas Indonesia yang berbeda dengan negara luar, tetapi situasi konvoi seharusnya dapat diimplementasikan di jalan tol seperti negara luar pada umumnya. Karena jalan tol di Indonesia dan negara luar memiliki kesamaan yaitu hanya untuk kendaraan roda 4 ke atas.

Pada suatu konvoi kendaraan, *follower* yang ada diharuskan dapat mengikuti kendaraan *leader* dengan kecepatan dan jarak yang sama sepanjang perjalanan [5]. Hal itu sulit untuk dilakukan oleh pengendara manusia dikarenakan waktu respon pengendara yang tidak konsisten bila dibandingkan dengan komputer. Waktu respon dari pengendara manusia dipengaruhi oleh keadaan pengendara itu sendiri seperti kelelahan, tidak fokus, dan sebagainya. Lain halnya dengan waktu respon komputer yang lebih stabil dan hanya dipengaruhi oleh spesifikasi sistem seperti prosesor, memori, dan lain-lain.



Asumsi n : 2 (2 kendaraan)

$X_{n-1}(t)$: Kendaraan I (*leader*)

$X_n(t)$: Kendaraan II (*follower*)

S_n : Jarak antara *leader* dan *follower* Sebelum Kejadian

S'_n : Jarak antara *leader* dan *follower* Sesudah Kejadian

d_n : Jarak minimal *leader* dan *follower*

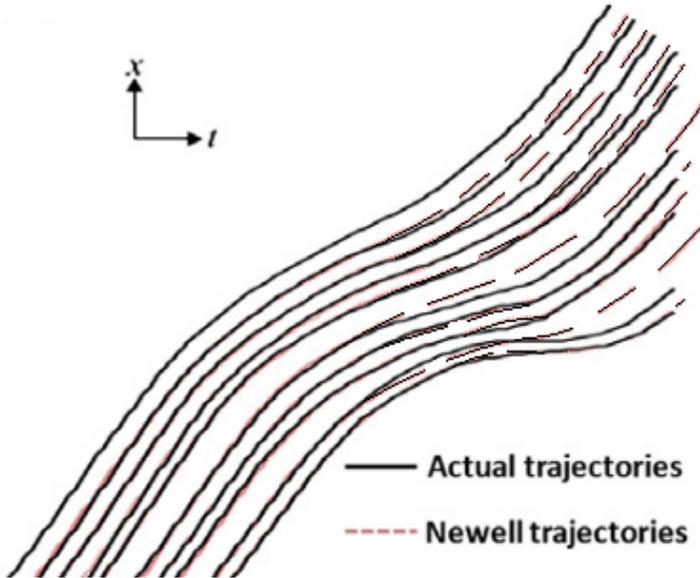
τ_n : lama respon pengemudi

Gambar 1.1. Perkiraan linier jalur kendaraan berdasarkan model *Car-Following* sederhana dari Newell [5].

Pada Gambar 1.1 terlihat hasil perkiraan jalur kendaraan berdasarkan model *car-following* sederhana Newell [5]. Variabel n merupakan jumlah kendaraan pada barisan tersebut. Berikut rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai S_n berdasarkan komponen lainnya.

$$S_n = d_n + \tau_n \times V_n \quad (1.1)$$

Pada persamaan (1.1), S_n adalah jarak akhir antar kendaraan, d_n adalah jarak awal antar kendaraan yang idealnya selalu konstan, τ_n adalah lama respon manusia, dan V_n adalah kecepatan kendaraan yang idealnya selalu sama pada *leader* dan *follower*. Berdasarkan persamaan tersebut hal paling mempengaruhi nilai S_n adalah lama respon manusia (τ_n). Respon manusia yang tidak konsisten dapat menyebabkan jarak antar kendaraan yang berubah-ubah dan kendaraan pun tersendat-sendat dibandingkan respon komputer yang konsisten.



Gambar 1.2. Perbandingan jalur kendaraan ideal dan sebenarnya [6].

Pada Gambar 1.2 terlihat perkiraan jalur *leader* dan *follower* secara aktual dan ideal berdasarkan teori Newell. Perbedaan itu disebabkan oleh pengemudi manusia yang tidak dapat merespon dengan cepat sehingga *follower* tidak bisa mengikuti *leader* dengan baik. Berdasarkan penelitian MIT bersama Toyota yang dipublikasikan pada tahun 2019, diperkirakan manusia membutuhkan waktu 1,5 detik untuk bereaksi setelah mendeteksi bahaya yang ada pada saat mengendarai kendaraan [7]. Bila pengemudi manusia digantikan oleh komputer berdasarkan hasil percobaan konvoi otomatis di malam hari tahun 2015, kendaraan otomatis memiliki waktu respon antara 20-60 ms [4].

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan dapat diidentifikasi masalah yang ada sebagai berikut :

1. Teknologi *Adaptive Cruise Control* (ACC) dan *Lane Keeping Assist System* (LKAS) pada kendaraan memiliki sensor dan aktuator yang sama dengan teknologi *leader-follower*, tetapi tidak digunakan untuk mengikuti kendaraan di depannya.

2. Adanya perbedaan kecepatan respon antara komputer dan pengendara manusia dimana pengendara manusia menunjukkan respon yang kurang stabil dalam situasi berkendara yang beriringan.

Berdasarkan masalah yang telah diidentifikasi, rumusan masalah penelitian ini mencakup hal-hal sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem kontrol kendaraan yang dapat diterapkan dalam situasi konvoi kendaraan?
2. Bagaimana caranya agar sistem kontrol tersebut dapat bekerja hanya dengan menggunakan alat *input* visual berupa kamera RGB?

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Berikut ini adalah batasan masalah yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini, yaitu :

- Hanya untuk konvoi 2 unit *mobile robot* yaitu 1 *leader* yang diikuti oleh 1 *follower*.
- *Input* dari sistem hanya menggunakan kamera RGB.
- Hanya untuk situasi dengan pencahayaan yang cukup terang (*daylight*).
- *Mobile robot leader* diidentifikasi berdasarkan objek target yang terletak pada bagian belakang badan *leader*.
- Lintasan yang digunakan adalah jalur lurus dan jalur berbelok.
- Jalur yang ada memiliki permukaan yang datar.
- *Mobile robot follower* tidak dapat berhenti mendadak seperti kendaraan yang memiliki rem.

Asumsi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Tidak ada penghalangan di antara *mobile robot leader* dan *follower*.
- Target dan lingkungan sekitar memiliki perbedaan kontras warna yang jelas.
- *Follower* tidak kehilangan kontak visual objek dari *leader*.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol *mobile robot* berbasis visual untuk mengikuti target dalam situasi konvoi. Tugas akhir ini juga

bertujuan untuk menunjukkan bahwa teknologi *leader-follower* berbasis visual untuk mengikuti target di depannya itu cukup mudah untuk diimplementasikan dan menunjukkan waktu respon komputer yang lebih stabil dan cepat dibanding pengendara manusia. Sistem kontrol berbasis visual ini akan diimplementasikan ke *mobile robot* Ackerman hasil penelitian sebelumnya [8].

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Perancangan sistem kontrol *mobile robot* berbasis visual untuk mengikuti target ini digunakan untuk mensimulasikan situasi konvoi. Manfaat lainnya adalah sistem ini dapat digunakan sebagai modul pembelajaran mengenai teknologi *visual servoing*.

1.6 Metodologi Tugas Akhir

Metodologi yang digunakan pada laporan tugas akhir dengan judul "Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Robot* Berbasis Visual untuk Mengikuti Target" meliputi:

1. Studi literatur untuk menentukan sumber informasi yang sesuai dengan topik tugas akhir untuk dijadikan sebagai sumber landasan dalam pengerjaan suatu tugas akhir ini.
2. Merancang ide pengolahan citra dan sistem kontrol yang dapat membentuk konfigurasi konvoi antara *mobile robot leader* dengan *follower* dengan cara mempelajari teknik pengolahan citra dan sistem kontrol yang ada.
3. Menentukan pengolahan citra dan sistem kontrol yang akan digunakan berdasarkan kebutuhan dari hubungan konvoi dengan melakukan percobaan sederhana.
4. Merancang simulasi sistem kontrol dan sistem percobaan pada komponen yang ada dengan memberikan *input* visual dengan perubahan titik tengah dan ukuran target untuk melihat *output* perubahan motor pada kemudi dan kecepatan.
5. Melakukan pembuatan *mobile robot leader* dan *follower* yang selanjutnya akan diuji berdasarkan rencana pengujian yang telah dirancang.
6. Melakukan analisis dari video percobaan hasil pengujian untuk mendapatkan data-data hasil percobaan.
7. Berdasarkan data yang ada ditarik kesimpulan yang akan menjawab latar belakang dari penelitian ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Bab ini berisi mengenai latar belakang, identifikasi, dan perumusan masalah pada perancangan sistem kontrol *mobile robot* berbasis visual untuk mengikuti target serta batasan masalah, asumsi yang digunakan dengan tujuan dan manfaat dari perancangan sistem ini yang diakhiri dengan metodologi serta sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Bab ini menjelaskan tentang *Advanced Driving Assist System*, teori pengolahan citra dengan OpenCV-Python, kontrol motor sederhana dengan PWM, *Fuzzy Logic Controller (FLC)*, dan konsep *Leader-Follower*. Bab ini juga berisi penelitian terdahulu yang relevan dengan tujuan dari laporan tugas akhir ini.
3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Bab ini berisi mengenai rancangan sistem kontrol dan komponen yang digunakan untuk *mobile robot leader* dan *follower*, rencana pengujian sistem, rencana anggaran biaya dari rancangan *mobile robot follower*, dan rencana kerja dari pembuatan desain sistem kontrol hingga penyelesaian laporan tugas akhir ini.
4. **Bab 4 Analisis Sistem.** Bab ini berisi tentang data hasil dari analisis video percobaan pada percobaan jalur lurus dan belok.
5. **Bab 5 Simpulan dan Saran.** Bab ini berisi tentang kesimpulan dari data yang ada pada bab sebelumnya dan saran yang dapat mengembangkan hasil percobaan tugas akhir ini agar menjadi lebih baik.

