



Buku Tugas Akhir

Perancangan Sistem Penjejakan Objek Manusia Berbasis *Visual* *Servoing*

Lisuarung Satria Ekapaksi Pasande

2015630002

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 Penjejukan Objek Manusia Berbasis *Visual Servoing*

Lisuarung Satria Ekapaksi PASANDE
2015630002

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 Penjejukan Objek Manusia Berbasis *Visual Servoing*

oleh:

Lisuarung Satria Ekapaksi Pasande
NPM : 2015630002

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,

LISUARUNG SATRIA EKAPAKSI PASANDE

dengan ini menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir dengan judul:

"PERANCANGAN SISTEM PENJEJAKAN OBJEK MANUSIA BERBASIS
VISUAL SERVOING"

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,

Lisuarung Satria Ekapaksi Pasande

NPM: 2015630002

Lembar Persembahan

Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk
orang tua saya yang selalu mendukung saya,
pembimbing saya yang selalu membantu saya,
teman-teman saya yang selalu mendukung 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

Penelitian ini secara umum berisi mengenai pembahasan tentang perancangan dan percobaan sistem penjejakan objek manusia berbasis *visual servoing* menggunakan wahana kamera 2 DoF (*degree of freedom*). Perancangan yang dibahas meliputi perancangan sistem mekanik wahana, perancangan sistem elektrik wahana, perancangan program, dan simulasi sistem penjejakan objek. Sedangkan untuk pengujian sistem penjejakan, dilakukan pada objek manusia diam dan bergerak serta objek non-manusia diam dan bergerak. Penelitian ini dilakukan dengan maksud, untuk menghasilkan sebuah model kamera pengawas yang dapat melakukan proses penjejakan terhadap objek manusia secara otomatis. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat prototipe sistem penjejakan objek manusia berbasis *visual servoing* yang dapat digunakan sebagai kamera keamanan dengan kemampuan untuk mendeteksi objek manusia dengan warna baju tertentu dan melakukan penjejakan secara otomatis dengan maksud untuk menjaga agar gerakan objek tetap berada di dalam bidang pandang kamera. Agar tujuan penelitian dapat dicapai maka dilakukan tinjauan pustaka mengenai bagaimana cara melakukan proses *visual servoing*, melakukan perancangan sistem penjejakan objek, melakukan simulasi terhadap rancangan sistem penjejakan objek yang telah dirancang, melakukan pembuatan sistem penjejakan objek yang telah dirancang, dan melakukan pengujian terhadap sistem penjejakan yang telah dibuat. Hasil pengujian yang didapat dari penelitian ini adalah sistem yang dibuat, berhasil melakukan tugas penjejakan terhadap objek manusia dan non-manusia dalam keadaan diam dan bergerak. Untuk penjejakan objek manusia diam, sistem berhasil melakukan penjejakan dalam 11.17s sedangkan, untuk penjejakan objek non-manusia diam sistem berhasil melakukan penjejakan dalam 3.14 s. Untuk hasil penjejakan objek manusia bergerak dan objek non-manusia bergerak, sistem dapat menyelesaikan dalam 50.12 s dan 20.97 s.

Kata kunci:

Degree of Freedom, Visual Servoing

Abstract

This study generally contains a discussion of the design and experimentation of visual servoing based human object tracking systems using 2 degree of freedom camera platform. The report discussed about the design of platform mechanical system, design of platform electrical system, design the coding of tracking system, and object tracking system simulation. As for testing the tracking system, it is performed on idle and moving human objects as well as non-human objects. This research was conducted with the intention to produce a model of surveillance camera that can perform the process of tracking human objects automatically. The goal of this research, is to create a prototype of human tracking system based on visual servoing that can be used, as a security camera with the ability to detect human objects with a certain color of clothing and perform automatic tracking with the intention of keeping object movements in the camera field of view. In order to achieve the goal, conducted a literature review on how to do the visual servoing process, do the design of the object tracking system, do a simulation of the design, made the tracking system that has been designed and do testing to the tracking system that has been created. The test results obtained from this research is the system successfully performing the task of tracking human and non-human objects in idle and moving condition. For tracking human objects in idle condition, the system successfully performs tracking in 11.17s while, for tracking non-human objects in idle condition, the system successfully performs tracking in 3.14s. For tracking results of moving human objects and non-human objects, the system can complete in 50.12 s and 20.97 s.

Keywords:

Degree of Freedom, Visual Servoing

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan penyertaan-Nya lah penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Perancangan Sistem Penjejakan Objek Manusia Berbasis *Visual Servoing*" disusun, sebagai syarat untuk mengikuti sidang akhir pada mata kuliah Tugas Akhir II (IME 184500-04) pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan. Ucapan terima kasih juga tidak lupa disampaikan kepada pihak - pihak yang turut membantu sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T. selaku pembimbing satu dan ibu Triana Mugia Rahayu, S.T., M.Sc. selaku pembimbing dua yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing selama proses pengerjaan laporan tugas akhir .
2. Kedua orang tua serta keluarga yang selalu memberikan dukungan doa, semangat dan biaya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Kevin Sagita yang telah meminjamkan printer 3d serta mengajarkan cara menggunakannya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Jonathan Chandra, Felix Saputra, Cedric Taruna, dan Samuel Sitanggang yang selalu memberi dukungan semangat dan biaya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Seluruh teman - teman sejawat dari jurusan Teknik Mekatronika angkatan 2015 yang selalu memberi semangat serta dukungan sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Akhir kata penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Karena itu penulis memohon kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua.

Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
Daftar Simbol dan Variabel	xxv
Daftar Singkatan	xxvii
1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Tugas Akhir	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir	4
1.6 Metodologi Tugas Akhir	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
2 Tinjauan Pustaka	7
2.1 Pengenalan Sistem <i>Visual Servoing</i>	7
2.1.1 IBVS (<i>image-based visual servoing</i>)	7

2.2	Identifikasi Objek	8
2.2.1	Algoritma Viola - Jones (Deteksi Objek)	9
2.3	Set Data	14
2.4	Klasifikasi Objek Berdasarkan Warna	15
2.5	Menentukan Titik Tengah Objek	19
2.6	Menentukan Sudut Aktuator	19
2.6.1	Menghitung Nilai Sudut Simpangan Menggunakan <i>Image Jacobian</i>	20
2.6.2	Menghitung Nilai Sudut Simpangan Menggunakan Geometri Kamera	23
2.7	Model Pergerakan Servo	25
2.8	Persamaan Nilai Sudut Aktual Motor Servo	27
3	Perancangan Sistem	29
3.1	Perancangan Sistem Mekanik	29
3.1.1	Bagian Dasar / <i>Base</i>	30
3.1.2	Sambungan 1 / <i>joint 1</i>	34
3.1.3	Sambungan 2 / <i>Joint 2</i>	38
3.2	Perancangan Sistem Elektrik	41
3.2.1	Spesifikasi Komponen Elektrik	42
3.2.2	Kalibrasi Motor Servo	43
3.2.3	Perhitungan Nilai <i>Focal Length</i>	46
3.3	Perancangan Program	50
3.4	Simulasi Gerakan Wahana <i>Pan</i> dan <i>Tilt</i> serta Situasi Penjejakan	53
3.4.1	Simulasi pada Objek Diam	54
3.4.2	Simulasi pada Objek Bergerak	58
4	Pengujian dan Analisis Sistem	63
4.1	Rancangan Pengujian	63
4.1.1	Wahana Kamera 2 DoF	64
4.1.2	Pengujian Set Data	66
4.1.3	Rancangan Kondisi Percobaan dan Protokol Pengujian	69
4.2	Hasil Pengujian	70
4.2.1	Pengujian Fungsi Deteksi Objek Manusia dan Membedakan warna baju objek	71
4.3	Pengujian Fungsi Penjejakan Objek	73
4.3.1	Pengujian Penjejakan Objek Diam	74
4.3.2	Pengujian Penjejakan Objek Bergerak	82
4.4	Analisis	87
5	Simpulan dan Saran	89

5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	90
Daftar Pustaka	91
Lampiran A Kode Program Proses Simulasi dan Percobaan Sitem Penjejakan Objek	95
A.1 Program Simulasi Sistem Penjejakan Menggunakan Bahasa Pemrograman Lua	95
A.2 Program Python Untuk Melakukan Proses Penjejakan dan Ploting Data Log	97
Lampiran B Rancangan Sistem Elektrik Wahana Kamera	103
Lampiran C Rancangan CAD Wahana Kamera	105

Daftar Tabel

2.1	Komparasi metode klasifikasi objek [3]	16
3.1	Tabel spesifikasi modul regulator tegangan	43
3.2	Tabel kalibrasi motor <i>pan</i>	45
3.3	Tabel kalibrasi motor <i>tilt</i>	46
3.4	Hasil percobaan pembuktian kebenaran nilai λ_x	48
3.5	Hasil percobaan pembuktian kebenaran nilai λ_y	49
4.1	Tabel perbandingan hasil pengujian proses penjejakan objek manusia dan non manusia	81
4.2	Tabel perbandingan hasil pengujian proses penjejakan objek manusia bergerak, non manusia bergerak, dan simulasi	86

Daftar Gambar

1.1	Model kamera PTZ.	3
2.1	Diagram proses IBVS (<i>image-based visual servoing</i>) [6]	8
2.2	Filter Haar	10
2.3	Ilustrasi proses ekstraksi fitur.	11
2.4	Ilustrasi perhitungan <i>integral image</i>	12
2.5	Ilustrasi proses mencari akumulasi nilai di wilayah tertentu . .	13
2.6	Filter Haar yang digunakan untuk mendeteksi objek manusia .	14
2.7	Model diagram warna.	17
2.8	Koordinat kamera.	20
2.9	Model <i>Pinhole</i> θ_x	24
2.10	Model <i>Pinhole</i> θ_y	24
2.11	Grafik <i>duty cycle</i>	26
2.12	Model sudut sumbu x	27
2.13	Model sudut sumbu y	28
3.1	Rancangan wahana <i>Pan</i> dan <i>tilt</i>	30
3.2	Rancangan bagian dasar / <i>base</i>	31
3.3	Rancangan plat atas.	31
3.4	Rancangan plat atas.	32
3.5	Rancangan <i>spacer</i>	33
3.6	Rancangan pengunci poros sambungan 1 / <i>joint 1</i>	33
3.7	Laher 1 / <i>Bearing 1</i>	34
3.8	Rancangan sambungan 1 / <i>joint 1</i>	35
3.9	Rancangan poros.	35
3.10	Rancangan penutup poros.	36
3.11	Rancangan dudukan lengan.	36
3.12	Rancangan lengan.	37
3.13	Laher 2 / <i>bearing 2</i>	38
3.14	Rancangan sambungan 2 / <i>joint 2</i>	38

3.15	Rancangan kotak kamera.	39
3.16	Rancangan batang poros.	39
3.17	Rancangan roda gigi.	40
3.18	Rancangan sistem elektrik.	41
3.19	Percobaan kalibrasi motor pan.	44
3.20	Percobaan kalibrasi motor tilt.	45
3.21	Set percobaan untuk mencari nilai λ_x	47
3.22	Set percobaan untuk mencari nilai λ_y	48
3.23	Alur kerja proses <i>visual servoing</i>	51
3.24	Kondisi awal simulasi.	54
3.25	Simulasi sistem saat objek diam berada di sebelah kanan kamera.	55
3.26	Simulasi sistem saat objek diam berada di sebelah kiri kamera.	56
3.27	Grafik perubahan sudut terhadap waktu (objek berada di sebelah kanan kamera).	57
3.28	Grafik perubahan sudut terhadap waktu (objek berada di sebelah kiri kamera).	58
3.29	Simulasi sistem saat objek bergerak.	59
3.30	Hasil simulasi penjejakan objek bergerak.	60
4.1	Rancangan model wahana.	64
4.2	Alat yang dibuat.	65
4.3	Model rancangan sistem elektrik.	65
4.4	Sistem elektrik yang dibuat.	66
4.5	Percobaan set data pada objek dengan pose berdiri tegak (posisi 1).	67
4.6	Percobaan set data pada objek dengan pose berdiri tegak (posisi 2).	67
4.7	Posisi menunduk	67
4.8	Percobaan set data pada objek dengan pose berjalan.	68
4.9	Percobaan set data pada objek dengan pose berjalan.	68
4.10	Model percobaan.	69
4.11	Model objek yang akan diujikan pada pengujian 1.	71
4.12	Hasil pengujian 1.	72
4.13	Model objek yang akan diujikan pada pengujian 2.	72
4.14	Hasil pengujian 2.	73
4.15	Hasil pengujian pada objek manusia diam dengan posisi objek berada di kanan kamera.	74
4.16	Hasil pengujian pada objek manusia diam dengan posisi objek berada di kiri kamera.	74
4.17	Hasil pengujian pada objek manusia diam dengan posisi objek berada di kanan kamera (sudut pandang kamera).	75
4.18	Hasil pengujian pada objek manusia diam dengan posisi objek berada di kiri kamera (sudut pandang kamera).	75

4.19 Hasil pengujian pada objek non manusia diam dengan posisi objek berada di kiri kamera (sudut pandang kamera).	76
4.20 Hasil pengujian pada objek non manusia diam dengan posisi objek berada di kiri kamera (sudut pandang kamera).	76
4.21 Grafik hasil pengujian sistem pada objek manusia diam.	77
4.22 Grafik hasil pengujian sistem pada objek non manusia diam.	79
4.23 Hasil pengujian sistem penjejakan objek manusia bergerak.	82
4.24 Hasil pengujian sistem penjejakan objek non manusia bergerak.	83
4.25 Grafik hasil pengujian kondisi nyata.	84

Daftar Simbol dan Variabel

C_x	Titik tengah objek pada sumbu x
C_y	Titik tengah objek pada sumbu y
P	Posisi objek terhadap koordinat kamera
C	Kamera
\dot{P}	Kecepatan objek terhadap terhadap koordinat kamera
ω	Kecepatan rotasi kamera terhadap koordinat basis
T	Kecepatan translasi kamera terhadap koordinat basis
λ	<i>Focal length</i> kamera
(u, v)	Posisi objek di bidang gambar (<i>pixel</i>)
(x, y)	Posisi objek di bidang gambar (mm)
J	Matriks Jacobian
v_c	Kecepatan sudut sumbu x dan y
S	Letak objek di bidang gambar
e	<i>Error</i>
J^+	Pseudo <i>invers image</i> Jacobian
K	Penguat
R	Simbol warna merah
G	Simbol warna hijau
B	Simbol warna biru
H	Nilai <i>hue</i>
S	Nilai <i>saturation</i>
V	Nilai <i>brightness</i> warna
θ_x	Sudut simpangan di sumbu x
θ_y	Sudut simpangan di sumbu y
θ_m	Sudut aktual motor servo
θ_a	Sudut awal motor servo
θ_s	Sudut simpangan

Daftar Singkatan

IBVS	<i>Image-Based Visual Servoing</i>
PBVS	<i>Pose-Based Visual Servoing</i>
DoF	<i>Degree of Freedom</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
HSV	<i>Hue, Saturation, Value</i>

Bab 1

Pendahuluan

Saat ini, *vision sensor* atau kamera sangat banyak digunakan sebagai alat pengindra pada robot. Hal ini disebabkan karena informasi umpan balik visual yang diberikan oleh kamera sangat lengkap dan detail. Informasi tersebut dapat menggambarkan kondisi di sekitar robot secara jelas seperti posisi rintangan di sekitar robot, dimensi rintangan, warna rintangan, jumlah rintangan, jarak rintangan dari robot, dan suhu dari objek di sekitar robot. Keuntungan lain dari penggunaan kamera sebagai sensor adalah dapat menghemat penggunaan sensor pada robot seperti sensor jarak dan sensor suhu.

Banyaknya penggunaan kamera pada robot menyebabkan berkembangnya metode-metode untuk meningkatkan performa dari hasil penginderaan. Salah satu metodenya adalah metode *visual servoing*. Penelitian ini akan membahas mengenai sistem penjejakan objek manusia berbasis *visual servoing*. Penjelasan lebih dalam tentang penelitian ini dijabarkan pada poin-poin berikut.

1.1 Latar Belakang Masalah

Visual servoing merupakan metode menggerakkan robot untuk memenuhi beberapa kondisi spesifik dengan menggunakan umpan balik gambar hasil tangkapan kamera [1]. Penggunaan informasi umpan balik gambar hasil tangkapan kamera dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan fleksibilitas dari sistem robot [2]. Metode *visual servoing* dikembangkan untuk mengatasi masalah keterbatasan bidang pandang yang dimiliki oleh kamera. Keterbatasan ini dapat menyebabkan aktifitas penjejakan terhadap sebuah objek menjadi kurang maksimal karena wilayah pergerakan objek yang dapat dipantau hanya sebesar bidang pandang kamera.

Dalam proses penjejakan objek berbasis *visual servoing* terdapat dua jenis pendekatan yang secara langsung mempengaruhi cara kerja sistem dan proses kontrol yang dilakukan yaitu *image-based visual servoing* (IBVS) dan *pose-based visual servoing* (PBVS) [1,2]. Teknik IBVS tidak memperhatikan parameter geometri dan orientasi dari objek melainkan hanya posisi objek di bidang gambar yang direpresentasikan oleh titik referensi yang biasanya terletak pada *centroid* objek atau sisi objek. Teknik ini melihat perbedaan posisi pixel pusat bidang gambar kamera dan titik referensi pada objek sebagai *error*. Dengan demikian teknik IBVS sering disebut penjejakan dua dimensi (2D). Lain halnya dengan teknik PBVS yang menggunakan geometri objek dari hasil ekstraksi gambar seperti pose target dan orientasi target dari pusat bidang pandang kamera. Teknik ini sering disebut penjejakan tiga dimensi (3D).

Secara umum terdapat dua proses yang harus dijalankan untuk melakukan aktifitas penjejakan objek berbasis *visual servoing* yaitu proses pengolahan informasi visual dan proses mengatur posisi aktuator. Pada proses identifikasi objek dilakukan ekstraksi fitur dari gambar hasil tangkapan kamera. Fitur-fitur tersebut dapat berupa bentuk, warna, pose, dan gerakan. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan posisi objek pada bidang gambar kamera yang di representasikan oleh titik tengah dari objek (*centroid point*). Terdapat empat algoritma untuk melakukan proses identifikasi berdasarkan fitur yang dimiliki oleh objek [3] yaitu *motion based*, *texture based*, *shape based*, dan *color based*. Untuk melakukan pengaturan posisi aktuator dibutuhkan nilai sudut simpangan antara titik tengah bidang gambar kamera dan titik tengah objek. Terdapat dua cara untuk menentukan sudut simpangan yaitu dengan menggunakan *image Jacobian* [4] atau menggunakan perhitungan geometri kamera [5].

Metode *visual servoing* banyak digunakan dalam misi pengawasan. Contoh penerapannya dalam bidang keamanan adalah pada kamera pengawas PTZ (*Pan, Tilt, Zoom*). Kamera PTZ sering digunakan sebagai kamera pengawas di tempat yang memiliki tingkat keramaian tinggi seperti di pusat perbelanjaan, stasiun, bandara, persimpangan jalan, dan terminal karena memiliki kelebihan yaitu cakupan area pengawasan yang lebih besar dan area titik buta yang lebih sedikit dibandingkan dengan kamera statis. Kelebihan tersebut disebabkan karena kamera diletakkan di atas wahana 2 DoF (*degree of freedom*) yang memungkinkan kamera dapat berputar ke kanan atau ke kiri (*panning*) serta berputar ke atas dan kebawah (*tilting*). Bentuk dari kamera PTZ dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Contoh kamera PTZ.

Berdasarkan pada penerapan metode *visual servoing* yang dapat digunakan pada kamera pengawas, maka fokus penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sebuah model sistem penjejakan objek berbasis *visual servoing* yang dapat digunakan sebagai kamera pengawas. Sistem yang dirancang dan dibuat memiliki kemampuan untuk mendeteksi objek manusia dengan fitur warna tertentu dan melakukan penjejakan pada objek secara otomatis. Penelitian ini akan mencakup pembahasan lengkap mengenai rancangan sistem elektrik, sistem mekanik, rancangan program dan simulasi dari sistem penjejakan berbasis *visual servoing*.

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Penelitian yang dilakukan membahas tentang proses *visual servoing* pada penjejakan objek manusia dengan menggunakan wahana 2 DOF. Sejauh yang diamati, penelitian-penelitian dalam bidang *visual servoing* hanya berfokus pada pembahasan tentang kontrol dari sistem *visual servoing* [1, 2, 5–9].

Hanya terdapat satu jurnal yang memiliki kesamaan dengan penelitian ini, yaitu [10] yang membahas mengenai proses penjejakan terhadap objek manusia dengan menggunakan wahana 2 DoF. Pada penelitian tersebut ditampilkan hasil penelitian dimana sistem berhasil melakukan proses penjejakan namun, tidak ditunjukkan bentuk wahana 2 DoF seperti apa yang digunakan dan bagaimana cara menentukan parameter intrinsik kamera seperti *focal length*. Dengan demikian, penelitian tersebut masih belum cukup menjawab kebutuhan laporan tugas akhir ini sehingga, penelitian ini memiliki rumusan masalah untuk membuat sebuah sistem *visual servoing* sederhana yang membahas mengenai sistem mekanik wahana, sistem elektrik, program dan simulasi dari sistem. Dengan memilih objek manusia tunggal sebagai target penjejakan, rumusan masalah penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Metode apa yang dapat digunakan untuk melakukan identifikasi terhadap objek manusia?
2. Metode apa yang dapat digunakan untuk membedakan fitur warna baju dari objek manusia yang dijejaki?

3. Bagaimana menggunakan informasi hasil identifikasi objek untuk mengatur posisi aktuator?
4. Bagaimana model rancangan wahana 2 DOF (*degree of freedom*) *pan* dan *tilt*?

1.3 Batasan Masalah

Agar masalah dapat diselesaikan dengan baik, maka dibuat batasan masalah yang dijabarkan pada poin-poin berikut:

1. Target penjejakan adalah manusia tunggal.
2. Klasifikasi objek manusia menggunakan fitur warna baju.
3. Deteksi posisi dan pergerakan objek di sumbu koordinat x dan y (planar).

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan tugas akhir ini adalah untuk membuat prototipe sistem penjejakan objek manusia berbasis *visual servoing* menggunakan wahana 2 DoF (*degree of freedom*) dengan kemampuan membedakan objek menggunakan fitur warna baju.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penelitian ini dijabarkan pada poin-poin berikut:

1. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang bagaimana cara melakukan proses identifikasi objek dan proses penjejakan menggunakan metode *visual servoing* dengan menggunakan wahana *pan* dan *tilt*.
2. Kepada pribadi peneliti, untuk menambah pengetahuan mengenai proses identifikasi dan penjejakan terhadap objek manusia menggunakan metode *visual servoing*.
3. Kepada pembaca yang ingin mempelajari sistem penjejakan objek berbasis *visual servoing* dan komponen yang terkait di dalamnya.
4. Kepada mahasiswa Teknik Elektro Mekatronika sebagai sarana pembelajaran tentang bagaimana cara menggunakan informasi visual yang ditangkap kamera untuk mengatur posisi aktuator aktuator.

1.6 Metodologi Tugas Akhir

Untuk mencapai tujuan dari laporan tugas akhir ini, maka dilakukan proses studi pustaka, perancangan sistem penjejakan objek, simulasi sistem penjejakan objek, pembuatan sistem penjejakan objek, dan percobaan terhadap sistem penjejakan objek yang telah dibuat. Studi yang dilakukan yaitu studi mengenai bagaimana cara melakukan identifikasi terhadap objek manusia, melakukan klasifikasi terhadap objek yang dijejaki, cara menggunakan informasi posisi objek di bidang gambar untuk melakukan kalkulasi sudut simpangan, cara mencari parameter *focal length* kamera, cara melakukan kalibrasi aktuator, dan rancangan wahan 2 DoF yang dapat digunakan. Sementara untuk proses Perancangan yang dilakukan terdiri dari tiga tahap yaitu perancangan sistem mekanik dari wahana *pan* dan *tilt*, rancangan elektrik dari sistem, rancangan program dari sistem. Setelah melakukan perancangan, maka dilakukan proses simulasi terhadap rancangan sistem penjejakan yang telah dikerjakan. Setelah itu dilanjutkan dengan merealisasi sistem penjejakan yang telah dirancang dan disimulasi serta melakukan percobaan terhadap sistem yang telah dibuat.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan Laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yakni sebagai berikut:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, metodologi Tugas Akhir serta sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Dalam Bab ini dijelaskan mengenai sistem *visual servoing* secara umum, Sistem *visual servoing* yang dikerjakan, IBVS (image-based visual servoing), identifikasi objek, klasifikasi objek, menentukan titik tengah objek, dan pergerakan aktuator.
3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai perancangan sistem mekanik, perancangan sistem elektrik, perancangan program sistem penjejakan dan simulasi sistem penjejakan.
4. **Bab 4 Analisis Perancangan Sistem.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai rancangan pengujian, hasil pengujian, pengujian fungsi penjejakan objek, dan analisis.
5. **Bab 5 Kesimpulan dan Saran.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran berdasarkan hasil pengujian sistem penjejakan serta tujuan awal dari penelitian ini.

