PERANCANGAN SISTEM NAVIGASI VISUAL *REAL-TIME* BERBASIS SEGMENTASI OTSU DAN PROYEKSI *BIRD'S-EYE VIEW* PADA JALUR *GREENHOUSE* TERKONTROL

DAFFA ZULQISTHI

TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul "Perancangan Sistem Navigasi Visual *Real-Time* Berbasis Segmentasi Otsu dan Proyeksi *Bird's-Eye View* pada Jalur *Greenhouse* Terkontrol" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Daffa Zulqisthi
J0404221103

@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

ABSTRAK

DAFFA ZULQISTHI. Perancangan Sistem Navigasi Visual *Real-Time* Berbasis Segmentasi Otsu dan Proyeksi *Bird's-Eye View* pada Jalur *Greenhouse* Terkontrol. Dibimbing oleh RIDWAN SISKANDAR.

Penelitian ini merancang sistem panduan navigasi visual *real-time* pada *Unmanned Ground Vehicle* (UGV) untuk jalur *greenhouse* terkontrol. *Pipeline* klasik yang diterapkan mencakup CLAHE, segmentasi Otsu *sub-region* 2×2 dengan *confidence gate*, proyeksi *Bird's-Eye View* (BEV), deteksi *centroid*, perhitungan *error* lateral, serta pembatasan laju dan perataan EMA. Arsitektur *dual-controller* Jetson Nano–ESP32 memisahkan visi dari aktuasi ber-*shared-control*. Pengujian pada Jetson Nano memakai dua rekaman jalur *greenhouse* nyata: Data Uji A (bayangan sebagian, 283 *frame*) dan Data Uji B (tanpa bayangan, 256 *frame*), mencapai 62,4 dan 62,1 FPS dengan latensi rata-rata di bawah 17 ms per *frame*, melampaui target rancangan ≥15 FPS. Pada perbandingan A/B di rekaman identik, deviasi terhadap pusat citra turun 49% di zona bayangan dan 35% pada Data Uji B. Akurasi sebenarnya diuji melalui anotasi manual garis tengah jalur pada 60 *frame* Data Uji A: di zona bayangan Otsu *sub-region* lebih akurat 15,97 piksel daripada Otsu tunggal (MAE 44,02 berbanding 59,98 piksel) dan tetap unggul 6,03 piksel setelah *bias* masing-masing dihilangkan, sehingga perbaikan murni segmentasi. Di zona tanpa bayangan keunggulan itu murni pergeseran *bias*, dan sisa *error* didominasi *bias* pemasangan kamera. Validasi *hardware-in-the-loop* menunjukkan sinyal panduan menggerakkan kemudi secara *end-to-end*. Hasil berbasis video dan HIL, bukan navigasi lapangan otonom.

Kata kunci: *bird's-eye view*, *greenhouse*, navigasi visual, otsu, *unmanned ground vehicle*

ABSTRACT

DAFFA ZULQISTHI. Design of a Real-Time Visual Navigation System Based on Otsu Segmentation and Bird's-Eye View Projection on Controlled Greenhouse Pathways. Supervised by RIDWAN SISKANDAR.

This research designs a real-time visual guidance system for an Unmanned Ground Vehicle (UGV) on controlled greenhouse pathways. The classical pipeline comprises CLAHE, 2 × 2 sub-region Otsu segmentation with a confidence gate, Bird's-Eye View (BEV) projection, centroid detection, lateral error computation, rate limiting, and EMA smoothing. A dual-controller Jetson Nano–ESP32 architecture separates vision from shared-control actuation. Testing on a Jetson Nano used two real greenhouse path recordings, Test Data A (partial shadow, 283 frames) and Test Data B (no shadow, 256 frames), reaching 62.4 and 62.1 FPS with mean latency below 17 ms per frame, exceeding the ≥15 FPS design target. In an A/B comparison on identical footage, image-center deviation fell 49% in shadow and 35% on Test Data B. Manual centerline annotation on 60 Test Data A frames tested true accuracy: in shadow, sub-region Otsu is 15.97 pixels more accurate than single Otsu (MAE 44.02 versus 59.98 pixels) and stays 6.03 pixels better once each method's bias is removed, so the gain comes from segmentation. Without shadow, that advantage is purely a bias shift, with residual error dominated by camera-mounting bias. Hardware-in-the-loop validation showed the signal driving steering end-to-end. Results are video- and HIL-based, not autonomous field navigation.

Keywords: *bird's-eye view*, *greenhouse*, otsu, unmanned ground vehicle, visual navigation

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
© Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

IPB University
Bogor Indonesia

PERANCANGAN SISTEM NAVIGASI VISUAL *REAL-TIME* BERBASIS SEGMENTASI OTSU DAN PROYEKSI *BIRD'S-EYE VIEW* PADA JALUR *GREENHOUSE* TERKONTROL

©Hak cipta milik IPB University

DAFFA ZULQISTHI

Laporan Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan Komputer pada
Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer

TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

Penguji pada ujian Laporan Akhir: Faldiena Marcelita S.T., M.Kom.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

Judul Laporan Akhir	:	Perancangan Sistem Navigasi Visual *Real-Time* Berbasis Segmentasi Otsu dan Proyeksi *Bird's-Eye View* pada Jalur *Greenhouse* Terkontrol
Nama	:	Daffa Zulqisthi
NIM	:	J0404221103

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr. Ridwan Siskandar, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Inna Novianty, S.Si., M.Si.
NPI 201811198611192014

Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP 196607171992031003



Tanggal Ujian:
24 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Mahaesa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan laporan akhir berjudul "Perancangan Sistem Navigasi Visual *Real-Time* Berbasis Segmentasi Otsu dan Proyeksi *Bird's-Eye View* pada Jalur *Greenhouse* Terkontrol" dapat diselesaikan. Laporan akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Empat pada Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor.

Penulisan laporan akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. Ridwan Siskandar, S.Si., M.Si., selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan sepanjang penyusunan laporan akhir ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta beserta seluruh keluarga yang telah memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan moral maupun materiel, serta kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu kelancaran penyusunan laporan akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan akhir ini masih jauh dari sempurna baik dari segi penyajian materi maupun teknis penulisan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun penulis harapkan demi kesempurnaan laporan akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Bogor, Agustus 2026

Daffa Zulqisthi

IPB University
Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
© Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR ISI

PRAKATA		x
DAFTAR TABEL		xii
DAFTAR GAMBAR		xii
DAFTAR LAMPIRAN		xiii
I	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Rumusan Masalah	2
	1.3 Tujuan	2
	1.4 Manfaat	2
	1.5 Ruang Lingkup	3
II	TINJAUAN PUSTAKA	5
	2.1 Arsitektur Sistem dan Landasan Teori Komponen	5
	2.2 Landasan Teori Pengolahan Citra	7
	2.3 Sintesis Penelitian Terdahulu	9
	2.4 Kerangka Pikir Penelitian	10
III	METODE	12
	3.1 Lokasi dan Waktu Proyek Akhir	12
	3.2 Alat dan Bahan	13
	3.3 Prosedur Penelitian	16
	3.4 Perancangan Sistem	16
	3.5 Pengujian Sistem	28
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	34
	4.1 Sistem Keseluruhan	34
	4.2 Kinerja Subsistem Pengolahan Citra	35
	4.3 Verifikasi Algoritma Navigasi dan Logika Kontrol	39
	4.4 Keterbatasan Pengujian	47
V	SIMPULAN DAN SARAN	49
	5.1 Simpulan	49
	5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		50
RIWAYAT HIDUP		73

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR TABEL

1	Kebutuhan Fungsionalitas Perangkat Keras	13
2	Peta Kanal Radio Kontrol FlySky	15
3	Parameter *pipeline* pengolahan citra beserta nilai yang digunakan	24
4	Lebar lantai yang tercakup *ROI*	33
5	Hasil pengujian kinerja komputasi pada Jetson Nano	38
6	Analisis distribusi *error* lateral pada video nyata	40
7	Perbandingan ketahanan bayangan kedua mode	41
8	Akurasi terhadap garis tengah hasil anotasi	45

DAFTAR GAMBAR

1	*State of the art* navigasi *UGV* pertanian	9
2	Jalur kerja di dalam *greenhouse* Sekolah Vokasi IPB	12
3	Diagram koneksi antarperangkat *UGV*	14
4	Tata letak kendali *transmitter* FlySky FS-i6	15
5	Prosedur penelitian	16
6	Diagram blok arsitektur sistem	17
7	Diagram alur pipeline pengolahan citra	18
8	Skema *ROI* trapesium dan transformasi *BEV*	19
9	Tahapan *pipeline* pengolahan citra pada Data Uji A	19
10	Ambang batas per kuadran pada *sub-region Otsu*	20
11	Perhitungan ambang per kuadran beserta ketiga *gate*-nya	21
12	Penerapan batas laju perubahan *error*	21
13	Diagram alir logika program Jetson Nano	23
14	Diagram alir logika kendali ESP32	26
15	Protokol penghentian motor pada ESP32	27
16	Kemudi otomatis pada ESP32	28
17	Tampilan alat anotasi manual garis tengah jalur	30
18	Penyiapan pita kalibrasi di lantai	31
19	Verifikasi bebas kalibrasi terhadap lantai	32
20	Hasil binerisasi Otsu pada Data Uji A	35
21	Distribusi intensitas piksel Data Uji A	36
22	Hasil transformasi *Bird's-Eye View* pada Data Uji A	37
23	Sebaran kumulatif latensi per *frame*	38
24	Deteksi *centroid* dan *error* lateral	39
25	Histogram *error* lateral Data Uji A	40
26	*Error* lateral per *frame* Data Uji A	42
27	Perbandingan rata-rata *error* per zona	43
28	Perbandingan *error* lateral Data Uji B	43
29	Aktivasi *confidence gate* per zona	44
30	Akurasi terhadap anotasi manual	46
31	Posisi garis tengah jalur terhadap pusat citra	46
32	Pengujian *hardware-in-the-loop* Data Uji A	47

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kode program main.py	55
2	Kode program UGVCore_v2.ino (*firmware* ESP32)	64
3	Kode program tune_roi.py	68
4	Ringkasan *benchmark* detektor pada Jetson Nano	72
5	Sebaran akurasi terhadap latensi *benchmark*	72

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University