

**SISTEM PENELUSURAN RUTE DAN KONTROL TERPUSAT
UNTUK TUGAS PEMETAAN
MENGUNAKAN *DRONE* JAMAK**

TUGAS AKHIR



Oleh

Shania Argiliana NIM: 13320053

**PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2024**

ABSTRAK

SISTEM PENELUSURAN RUTE DAN KONTROL TERPUSAT UNTUK TUGAS PEMETAAN MENGUNAKAN *DRONE* JAMAK

Oleh
Shania Argiliana NIM: 13320053

(Program Studi Teknik Fisika)

Drone jamak dapat digunakan untuk melakukan tugas pemetaan, sehingga diperlukan akurasi yang baik dalam penelusuran rute pemetaan. Selain akurasi, *drone* harus melaksanakan tugas dengan waktu tempuh sesingkat-singkatnya. Untuk mencapai tersebut, *drone* akan dikontrol dengan menggunakan kontrol terpusat yang terhubung pada *access point*. Kontrol tersebut menyebabkan *drone* dianggap sebagai individu yang berbeda, sehingga *drone* akan bersifat independen. Meningkatkan akurasi penelusuran posisi dilakukan dengan mendeteksi beberapa marka fidusial persegi (MFP) dalam proses penentuan posisi. Posisi dari *drone* diasumsikan dengan titik pusat kamera, sehingga perhitungan posisi *drone* lebih akurat. Selain itu, algoritma pemisahan diterapkan juga pada *drone* untuk menghindari tabrakan saat menjalankan tugas pemetaan. Algoritma tersebut akan memisahkan *drone* sesuai dengan jarak aman yang telah ditetapkan, yaitu 200 cm. Pada penelitian ini, jumlah *drone* yang digunakan berjumlah 2 *drone*. Dari hasil penelitian, *drone* melakukan sebuah pengujian penelusuran rute searah sumbu x dan sumbu y. Berdasarkan pengujian tersebut, nilai RMSE yang dihasilkan mengalami penurunan. Saat *drone* bergerak searah sumbu x positif, nilai RMSE yang diperoleh adalah 5,2 cm. Nilai tersebut lebih rendah dari hasil penelitian sebelumnya yang bernilai 19,3 cm. Dalam menjalankan tugas pemetaan, *drone* akan melakukan penelusuran rute dan didapat nilai RMSE untuk *drone* A sebesar 12,3 cm dan *drone* B sebesar 22,5 cm dengan waktu tempuh 51 detik. Dengan demikian, Teknik pendeteksian beberapa marka meningkatkan kemampuan penelusuran rute dan *drone* dapat melakukan tugas pemetaan dengan baik, meskipun *drone* bekerja pada area yang terbatas, yaitu 5m x 4m.

Kata kunci: *drone*, kontrol terpusat, penelusuran rute, marka fidusial persegi

ABSTRACT

POINT-TRACING AND CENTRALIZED CONTROL SYSTEMS FOR MAPPING TASKS USING MULTIPLE DRONES

By

Shania Argiliana NIM: 13320053

(Engineering Physics Study Program)

Multiple drones can be used for mapping tasks, so high accuracy is needed in trajectory-tracing for mapping. In addition to accuracy, drones must complete their tasks in the shortest possible time. To achieve this, the drones will be controlled using a centralized control system connected to an access point. This control system treats each drone as a distinct individual, thus making the drones independent. Enhancing the accuracy of position tracing is done by detecting several square fiducial markers (SFM) in the positioning process. The position of the drone is assumed to be at the center of the camera, leading to more precise position calculations. Furthermore, a separation algorithm is also applied to the drones to avoid collisions while performing mapping tasks. This algorithm will separate the drones according to a predetermined safe distance, which is 200 cm. In this research, the number of drones used amounted to 2 drones. According to the research findings, the drones underwent a trajectory-tracing test along the x-axis and y-axis. Based on this test, the resulting RMSE value decreased. When the drones moved along the positive x-axis, the RMSE value obtained was 5,2 cm, lower than the previous research result of 19,3 cm. While performing mapping tasks, the drones traced the route and obtained RMSE values of 12,3 cm for drone A and 22,5 cm for drone B, with a travel time of 51 seconds. Thus, the technique of detecting multiple markers enhances the trajectory-tracing capability, and the drones can perform mapping tasks well even though they operate in a confined area of 5 m x 4 m.

Keywords: *drone, centralized control, trajectory-tracing, square fiducial marker.*

**SISTEM PENELUSURAN RUTE DAN KONTROL TERPUSAT
UNTUK TUGAS PEMETAAN
MENGUNAKAN *DRONE* JAMAK**

HALAMAN PENGESAHAN

Oleh

Shania Argiliana NIM: 13320053

(Program Studi Teknik Fisika)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Tim Pembimbing

Rabu, 26 Juni 2024


Pembimbing 1

Pembimbing 2



(Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D.)

NIP. 196908052008012020



(Faqihza Mukhlis, S.T., M.T., Ph.D.)

NOPEG. 121110001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat beserta karunia-Nya, serta diberi-Nya kemudahan dalam menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Sistem Penelusuran Rute dan Kontrol Terpusat untuk Tugas Pemetaan Menggunakan *Drone* Jamak”. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tahap sarjana pada Program Studi Sarjana Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.

Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari banyak pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis dengan segala hormat mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini,
2. Faqihza Mukhlis, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini,
3. Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, MT., Ph.D., selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung,
4. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis,
5. Seluruh Dosen dan Staf di Program Studi Sarjana Teknik Fisika yang telah membekali banyak ilmu pengetahuan yang bermanfaat selama penulis menjalani studi di Program Studi Sarjana Teknik Fisika,
6. Rekan-rekan di laboratorium CITA atas kebersamaan selama penelitian ini dilaksanakan,
7. Teman-teman S1 Teknik Fisika Angkatan 2020 yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis, dan

8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya kepada semua pihak yang terlibat dalam proses penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini ke arah yang lebih baik. Semoga segala yang tertuang dalam Laporan Tugas akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua baik sekarang maupun dimasa yang akan datang.

Bandung, Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Permasalahan.....	3
1.4.1 Batasan	3
1.4.2 Asumsi.....	4
1.5 Alur Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TEORI	7
2.1 Model Sistem <i>Drone</i>	7
2.1.1 Persamaan Dinamika <i>Drone</i>	7
2.1.2 Persamaan Dinamika <i>Drone</i> Menggunakan FOPTD	10
2.2 Pengontrol PD	11
2.3 Marka Fidusial Persegi.....	12
2.4 <i>Moving Average</i>	13
2.5 Jaringan Nirkabel	13
2.5.1 TCP/IP	14
2.5.2 UDP.....	14
2.6 Algoritma Pemisahan	15
2.7 Jenis-Jenis Jalur Pemetaan pada <i>Drone</i>	15
BAB III METODE.....	17
3.1 Arsitektur Komunikasi dan Pengaturan Pengujian	17

3.1.1	Komunikasi <i>Done</i>	17
3.1.2	Pengaturan Pengujian.....	18
3.2	Karpet MAT.....	19
3.3	Sistem Pemosisian.....	19
3.3.1	Pendeteksian Marka ArUco.....	20
3.3.2	Konversi Marka ArUco Menjadi Titik Koordinat.....	20
3.3.3	Penentuan Posisi <i>Drone</i>	21
3.4	Perancangan Algoritma Pemisahan pada <i>Drone</i> Jamak.....	25
3.5	Perancangan Penelusuran Titik pada Tugas Pemetaan.....	27
3.6	Pengujian Penelusuran <i>Drone</i>	27
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		31
4.1	Sistem Pemosisian.....	31
4.2	Identifikasi Karakteristik <i>Drone</i>	33
4.2.1	Hasil Identifikasi Karakteristik <i>Drone</i>	33
4.2.2	Hasil Penalaan Parameter Pengontrol PD	35
4.3	Pengujian Individu	36
4.3.1	Penelusuran Rute Searah Sumbu X.....	36
4.3.2	Penelusuran Rute Searah Sumbu Y.....	40
4.4	Pengujian Berkelompok	41
4.4.1	Pengujian Algoritma Pemisahan untuk Menghindari Tabrakan	41
4.4.2	Pengujian untuk Tugas Pemetaan.....	43
BAB V PENUTUP.....		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN A. SPESIFIKASI <i>DRONE</i> PARROT ARDRONE 2.0.....		51
LAMPIRAN B. SPESIFIKASI <i>ROUTER</i> WI-FI.....		52
LAMPIRAN C. HASIL IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK KECEPATAN <i>DRONE</i>		53
C.1	Grafik Karakteristik Kecepatan <i>Drone</i> A.....	53
C.2	Grafik Karakteristik Kecepatan <i>Drone</i> B.....	55

C.3 Grafik Pengontrol PD untuk <i>Drone A</i>	57
C.4 Grafik Pengontrol PD untuk <i>Drone A</i>	59
LAMPIRAN D. PENELUSURAN POSISI <i>DRONE</i>	60
D.1 Penelusuran Posisi <i>Drone A</i>	60
D.2 Penelusuran Posisi <i>Drone B</i>	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram tulang ikan rumusan permasalahan.	3
Gambar 1.2. Diagram alir penelitian.....	5
Gambar 2.1 Skema gaya yang ada pada <i>drone</i> dalam kerangka sistem <i>drone</i>	7
Gambar 2.2. Diagram blok pengontrol PD pada <i>drone</i>	12
Gambar 2.3. Ilustrasi marka ArUco.	12
Gambar 2.4. Proses pengolahan citra marka (a) penangkapan marka, (c) Pengembangan citra, (c) pembagian sel citra, dan (d) informasi bit hitam putih [6].	12
Gambar 2.5. Ilustrasi algoritma pemisahan dua individu.	15
Gambar 2.6. Ilustrasi jalur pada tugas pemetaan dengan pola (a) berliku-liku, (b) pilin, dan (c) S.	16
Gambar 3.1. Arsitektur komunikasi.....	17
Gambar 3.2. Pengaturan pengujian (a) sudut hadap <i>drone</i> pada karpet dan (b) ketinggian <i>drone</i> saat terbang.....	18
Gambar 3.3. Desain karpet MAT.....	19
Gambar 3.4. Diagram alir pendeteksian MFP ArUco.....	20
Gambar 3.5. Diagram alir konversi kode unik MFP menjadi koordinat pada karpet MAT.	20
Gambar 3.6. Ilustrasi jumlah baris dan kolom dari marka ArUco.	21
Gambar 3.7. Hasil deteksi MFP pada ketinggian 80 cm.....	22
Gambar 3.8. Hasil pendeteksian empat marka MFP pada <i>drone</i>	22
Gambar 3.9. Diagram alir pendeteksian beberapa MFP saat <i>drone</i> bergerak.....	23
Gambar 3.10. Hasil deteksi dua marka MFP saat <i>drone</i> bergerak searah sumbu x ⁻	23
Gambar 3.11. Diagram alir perancangan algoritma pemisahan.	26
Gambar 3.12. Diagram alir perancangan algoritma kohesi.....	26
Gambar 3.13. Diagram alir perancangan penelusuran titik pada tugas pemetaan.	27
Gambar 3.14. Jalur pengujian individu (a) lurus terhadap sumbu x dan (b) lurus terhadap sumbu y.	28
Gambar 3.15. Jalur pengujian algoritma pemisahan.....	29
Gambar 3.16. Jalur pengujian secara berkelompok untuk tugas pemetaan.	30
Gambar 4.1. Marka MFP yang terdeteksi oleh drone (a) saat diam dan (b) saat <i>drone</i> bergerak dengan kecepatan 50 cm/s.....	31
Gambar 4.2. Ilustrasi deteksi beberapa MFP (a) MFP yang terdeteksi dan menunjukan posisi riil <i>drone</i> dan (b) posisi <i>drone</i> dari hasil pengolahan pada UI.....	32
Gambar 4.3. Hasil identifikasi pergerakan ke kiri dari <i>drone</i> A.....	33
Gambar 4.4. Respons sistem input step untuk <i>drone</i> A arah maju	35
Gambar 4.5. Grafik respons sistem <i>drone</i> A arah maju dengan pengontrol PD....	36
Gambar 4.6. Ilustrasi pengujian individu.....	36

Gambar 4.7. Penelusuran posisi dengan arah maju pada sumbu x (a) rekaman posisi <i>drone</i> saat bergerak maju, (b) profil posisi pada sumbu x dan (c) profil posisi sumbu y.....	38
Gambar 4.8. Penelusuran posisi pada penelitian Giga dengan arah maju pada sumbu x (a) posisi pada sumbu x dan (b) posisi sumbu y.	40
Gambar 4.9. Ilustrasi pengujian berkelompok.	41
Gambar 4.10. Rekaman posisi <i>drone</i> pada pengujian algoritma pemisahan (a) pada $t = 3$ detik, (b) pada $t = 5$ detik, dan (c) pada $t = 11$ detik.....	43
Gambar 4.11. Penelusuran posisi <i>drone</i> A dan <i>drone</i> B selama 20 detik.....	44
Gambar 4.12. Hasil pengujian tugas pemetaan (a) posisi <i>drone</i> pada koordinat <i>cartesius</i>	46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil identifikasi kecepatan <i>drone</i> A dan <i>drone</i> B.	34
Tabel 4.2. Parameter pengontrol PD untuk <i>drone</i> A dan <i>drone</i> B	35
Tabel 4.3. Perbandingan nilai RMSE pada penelitian 2022 dan penelitian 2024..	39
Tabel 4.4. Waktu tempuh pengujian penelusuran posisi tiap <i>drone</i> (detik).....	41
Tabel 4.5. Data hasil tugas pemetaan.....	47

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
MFP	Marka Fidusial Persegi	2
CITA	<i>Center for Instrumentation Technology and Automation</i>	4
FOPTD	<i>First Order Process with Time Delay</i>	9
SMA	<i>Simple Moving Average</i>	12
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>	12
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>	12
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>	13

LAMBANG

ϕ	Sudut guling	6
θ	Sudut angguk	6
ψ	Sudut belok	6
m	Massa <i>drone</i>	6
I	Matriks identitas	6
V	Vektor linear	6
F	Gaya resultan	6
τ	Momen resultan	6
Ω	Kecepatan sudut	6
R	Matriks inersia	7
J	Momen inersia dari <i>drone</i>	7
\bar{u}	Gaya mekanik yang memberikan gerak rotasi pada <i>drone</i>	7
k_i	Faktor yang menghubungkan kecepatan sudut dengan motor	8
K	Penguatan	9
τ	Konstanta waktu	9
t_d	Waktu tunda	9
K_p	Penguatan proporsional	10
$e(t)$	Error	10
$u(t)$	Masukan	10
T_d	Waktu derivatif	10
π	Rangkaian aksi setiap agen	15
\bar{x}	Nilai rata-rata koordinat x	20
\bar{y}	Nilai rata-rata koordinat y	20
r_{pixel}	Radius dua titik dalam satuan piksel	22
α_x	Faktor konversi satuan piksel ke cm untuk koordinat x	22

α_y	Faktor konversi satuan piksel ke cm untuk koordinat y	22
(x_1, y_1)	Koordinat dari pendeteksian beberapa MFP	22
(x_2, y_2)	Koordinat titik pusat kamera <i>drone</i> pada bingkai kamera	22
x^+	Pergerakan <i>drone</i> arah sumbu x positif	23
x^-	Pergerakan <i>drone</i> arah sumbu x negatif	23
y^+	Pergerakan <i>drone</i> arah sumbu y positif	23
y^-	Pergerakan <i>drone</i> arah sumbu y negatif	23