

OPTIMALISASI PERENCANAAN JALUR PADA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* DI LINGKUNGAN TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN ALGORITMA *REINFORCEMENT LEARNING*

NABILA SEPTA PARAMITA



**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Perpustakaan 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.



@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.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Optimalisasi Perencanaan Jalur pada *Unmanned Aerial Vehicle* di Lingkungan Tiga Dimensi Menggunakan Algoritma *Reinforcement Learning*” 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 tesis ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Nabila Septa Paramita
G6501231026



RINGKASAN

NABILA SEPTA PARAMITA. Optimalisasi Perencanaan Jalur pada *Unmanned Aerial Vehicle* di Lingkungan Tiga Dimensi Menggunakan Algoritma *Reinforcement Learning*. Dibimbing oleh KARLISA PRIANDANA dan MEDRIA KUSUMA DEWI HARDHIENATA.

Penerapan teknologi di industri terus berkembang, termasuk penggunaan pesawat tanpa awak atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) di bidang pertanian untuk tugas-tugas seperti pemetaan lahan dan penyemprotan pupuk. Tantangan utama dalam pengoperasian UAV adalah menentukan jalur penerbangan yang optimal sembari menghindari rintangan. Namun, sebagian besar penelitian yang ada saat ini masih terbatas pada simulasi dua dimensi (2D) yang tidak secara akurat mewakili lingkungan tiga dimensi (3D) di dunia nyata. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan pendekatan perencanaan jalur 2D sebelumnya dengan menerapkan pencarian jalur optimal dalam lingkungan 3D guna mendukung navigasi UAV dalam skenario yang lebih realistis dan kompleks.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menerapkan pendekatan *Reinforcement Learning* (RL), khususnya membandingkan algoritma *Q-learning* dan SARSA, untuk menentukan lintasan UAV yang optimal. Simulasi dilakukan dalam lingkungan 3D dengan berbagai konfigurasi rintangan untuk meniru kondisi dunia nyata. Kinerja kedua algoritma tersebut kemudian dievaluasi dan dibandingkan berdasarkan efisiensi lintasan, jarak tempuh, dan durasi penerbangan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa UAV berhasil mengidentifikasi lintasan yang efisien di lingkungan 3D. Dalam skenario yang disimulasikan, algoritma *Q-learning* memungkinkan UAV untuk menempuh jarak antara 735,39 cm hingga 775,39 cm dengan durasi penerbangan antara 14,70 dan 15,50 detik. Jika dibandingkan dengan SARSA, *Q-learning* meningkatkan efisiensi lintasan titik sebesar 3,33% hingga 22,85%, memperpendek jarak tempuh hingga 17,86%, serta mengurangi durasi penerbangan hingga 17,87%.

Sebagai kesimpulan, *Q-learning* memberikan pendekatan yang lebih efektif dan efisien untuk perencanaan lintasan UAV di lingkungan 3D dibandingkan dengan SARSA. Pendekatan yang diusulkan ini berhasil meningkatkan optimalisasi perencanaan jalur dalam hal jarak, waktu tempuh, dan efisiensi navigasi, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi UAV di dunia nyata pada lingkungan yang kompleks.

Kata kunci: perencanaan jalur, *q-learning*, *reinforcement learning*, SARSA, *unmanned aerial vehicle*.



SUMMARY

NABILA SEPTA PARAMITA. Optimization of Path Planning for Unmanned Aerial Vehicles in Three dimensional Environments using Reinforcement Learning Algorithm. Supervised by KARLISA PRIANDANA and MEDRIA KUSUMA DEWI HARDHIENATA.

The application of technology in industry continues to expand, including the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in agriculture for tasks such as land mapping and fertilizer spraying. A major challenge in UAV operation is determining an optimal flight path while avoiding obstacles. However, most existing studies are limited to two-dimensional (2D) simulations, which do not accurately represent real-world three-dimensional (3D) environments. This study aims to overcome the limitations of previous 2D path-planning approaches by implementing optimal path finding in a 3D environment to support UAV navigation in more realistic and complex scenarios.

To achieve this objective, the study employed Reinforcement Learning (RL) approaches, specifically comparing the Q-learning and SARSA algorithms, to determine optimal UAV trajectories. Simulations were conducted in a 3D environment with varying obstacle configurations to emulate real-world conditions. The performance of both algorithms was evaluated and compared based on trajectory efficiency, travel distance, and flight duration.

The simulation results demonstrated that the UAV successfully identified efficient trajectories in 3D environments. In the simulated scenarios, the Q-learning algorithm enabled the UAV to travel distances ranging from 735.39 cm to 775.39 cm with flight durations between 14.70 and 15.50 seconds. Compared with SARSA, Q-learning improved point travel efficiency by 3.33% to 22.85%, shortened travel distances up to 17.86%, and decreased flight durations up to 17.87%.

In conclusion, Q-learning provides a more effective and efficient approach for UAV trajectory planning in 3D environments compared with SARSA. The proposed approach improves trajectory optimization in terms of distance, travel time, and navigation efficiency, making it suitable for real-world UAV applications in complex environments.

Keywords: *Path planning, Q-learning, Reinforcement learning, SARSA, Unmanned aerial vehicle*



@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.

© 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.



@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.

OPTIMALISASI PERENCANAAN JALUR PADA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* DI LINGKUNGAN TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN ALGORITMA *REINFORCEMENT LEARNING*

NABILA SEPTA PARAMITA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Magister Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1. Dr. Mushthofa, S.Kom., M.Sc.



Judul Tesis : Optimalisasi Perencanaan Jalur pada *Unmanned Aerial Vehicle* di Lingkungan Tiga Dimensi Menggunakan Algoritma *Reinforcement Learning*

Nama : Nabila Septa Paramita

NIM : G6501231026

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Karlisa Priandana, S.T., M.Eng.

Pembimbing 2:

Medria Kusuma Dewi Hardhienata, S.Komp., Ph.D.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si.

NIP 198211172014041001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom

NIP. 196607021993021001

Tanggal Ujian:

15 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan februari 2024 sampai bulan Juli 2026 ini ialah perencanaan jalur UAV, dengan judul “Optimalisasi Perencanaan Jalur pada *Unmanned Aerial Vehicle* di Lingkungan Tiga Dimensi Menggunakan Algoritma *Reinforcement Learning*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada komisi pembimbing, Dr. Karlisa Priandana, S.T., M.Eng. selaku ketua komisi pembimbing dan Medria Kusuma Dewi Hardhienata, S.Komp., Ph.D. selaku anggota komisi pembimbing, yang telah banyak memberi arahan dan bimbingannya kepada penulis dengan penuh kesabaran. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada :

1. Dr. Mushthofa, S.Kom., M.Sc. selaku penguji luar komisi pada ujian tesis.
2. Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si. selaku moderator pada kolokium dan ujian tesis.
3. Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si. selaku moderator pada seminar hasil.
4. Seluruh dosen Program Studi S2 Ilmu Komputer IPB yang telah banyak memberikan ilmu dan pencerahan serta arahan selama masa perkuliahan.
5. Tenaga Kependidikan Program Studi S2 Ilmu Komputer IPB yang telah banyak membantu penulis dalam hal administrasi dan informasi.
6. Ibu Sumarsih, Ayah Majianto, Kakak Rizka Restu Fawzy dan Nikmatul Fauziah, yang telah memberi dukungan dan doa untuk penulis, juga suami penulis, Rifky Yunus Krisnabayu dan anak penulis, Realyn Mecca Amartaneira, yang telah penuh pengorbanan dan kesabaran serta doa dan kasih sayang dalam kebersamaan penulis.
7. Teman teman S2 Ilmu Komputer IPB angkatan 2023 yang telah berjuang menimba ilmu dan saling memotivasi selama proses studi.
8. Pihak lainnya yang tidak penulis sebutkan namun turut mendukung dan membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini tentunya masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Namun, penulis berharap semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Nabila Septa Paramita



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i>	4
2.2 Perencanaan Jalur	4
2.3 <i>Reinforcement Learning</i>	4
2.4 Algoritma <i>Q-Learning</i> dan SARSA	5
METODE	8
3.1 Data dan Lingkungan Penelitian	8
3.2 Skenario Simulasi	8
3.3 Strategi Pengambilan Aksi	9
3.4 Strategi Penghargaan	10
3.5 Parameter Q-learning dan SARSA	10
3.6 Perhitungan Hasil Pengujian	11
3.7 Skenario Pengujian	11
HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Hasil Pengujian Tanpa Rintangan	18
4.2 Hasil Pengujian Dengan Rintangan dan Perbandingan Performa	19
4.3 Analisis Karakteristik Algoritma	25
SIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Simpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	34
RIWAYAT HIDUP	38

DAFTAR TABEL

1	Parameter simulasi yang disesuaikan dengan kondisi nyata	8
2	Aksi UAV yang tersedia	9
3	Nilai Hadiah dan Hukuman	10
4	Parameter untuk Q-learning dan SARSA	11
5	Skenario rintangan tiga dimensi untuk pengujian pertama	13
6	Skenario rintangan tiga dimensi untuk pengujian kedua	14
7	Skenario rintangan tiga dimensi untuk pengujian ketiga	15
8	Skenario rintangan tiga dimensi untuk pengujian keempat	16
9	Dimensi rintangan dan representasi dunia nyata	17
10	Perbandingan hasil Q-learning dan SARSA pengujian tanpa rintangan	18
11	Perbandingan hasil Q-learning dan SARSA pengujian 1 (3 rintangan)	20
12	Perbandingan hasil Q-learning dan SARSA pengujian 2 (5 rintangan)	21
13	Perbandingan hasil Q-learning dan SARSA pengujian 3 (7 rintangan)	23
14	Perbandingan hasil Q-learning dan SARSA pengujian 4 (9 rintangan)	24
15	Perbandingan Karakteristik Q-learning dan SARSA	28

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi proses <i>reinforcement learning</i> (Hidayat et al. 2023)	5
2	<i>Crazyflie 2.0</i> (Bitcraze 2015)	8
3	Simulasi Lingkungan 3D	9
4	Ilustrasi rute untuk mekanisme hadiah dan hukuman	10
5	Konfigurasi lingkungan tanpa rintangan	11
6	Analisis komparatif distribusi metrik jumlah titik yang dilewati (A), jarak tempuh (B), dan durasi tempuh (C) penerbangan antara Q-learning dan SARSA pada pengujian tanpa rintangan	19
7	Analisis komparatif distribusi metrik jumlah titik yang dilewati (A), jarak tempuh (B), dan durasi tempuh (C) penerbangan antara Q-learning dan SARSA pada pengujian dengan 3 rintangan	21
8	Analisis komparatif distribusi metrik jumlah titik yang dilewati (A), jarak tempuh (B), dan durasi tempuh (C) penerbangan antara Q-learning dan SARSA pada pengujian dengan 5 rintangan	22
9	Analisis komparatif distribusi metrik jumlah titik yang dilewati (A), jarak tempuh (B), dan durasi tempuh (C) penerbangan antara Q-Learning dan SARSA pada pengujian dengan 7 rintangan	24
10	Analisis komparatif distribusi metrik jumlah titik yang dilewati (A), jarak tempuh (B), dan durasi tempuh (C) penerbangan antara Q-learning dan SARSA pada pengujian dengan 9 rintangan	25
11	Karakteristik performa algoritma Q-Learning dan SARSA berdasarkan parameter jumlah titik yang dilewati (A), jarak tempuh (B), dan durasi tempuh (C) pada berbagai tingkat kompleksitas lingkungan	26



DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Contoh gambar hasil pengujian tanpa rintangan	35
2	Lampiran 2 Contoh gambar hasil pengujian 3 rintangan	35
3	Lampiran 3 Contoh gambar hasil pengujian 5 rintangan	36
4	Lampiran 4 Contoh gambar hasil pengujian 7 rintangan	36
5	Lampiran 5 Contoh gambar hasil pengujian 9 rintangan	37