

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL PADA KENDARAAN
QUADROTOR NIRAWAK UNTUK MANUVER LINCAH
BERBASIS HARDWARE IN THE LOOP**

PROPOSAL TUGAS AKHIR



Oleh

Deedat Fatahillah NIM: 13320072

**PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2023**

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM KONTROL PADA KENDARAAN QUADROTOR NIRAWAK UNTUK MANUVER LINCAH BERBASIS HARDWARE IN THE LOOP

Oleh

Deedat Fatahillah NIM: 13320072

(Program Studi Teknik Fisika)

Quadrotor merupakan salah satu tipe wahana nirawak melayang yang memiliki empat buah rotor untuk melakukan manuver yang membuatnya dapat bergerak dengan memiliki enam derajat kebebasan. Hal ini membuat quadrotor menjadi konfigurasi yang populer belakangan ini oleh industri dengan meningkatnya kompleksitas kriteria manuver dari suatu wahana nirawak. Namun sistem kontrol yang sudah ada sebelumnya kurang sesuai dalam melakukan kendali pada *quadrotor* yang bergerak dengan lincah. Sehingga, kebutuhan sistem kontrol mutakhir dalam melakukan kontrol pengendalian manuver *quadrotor* dengan lincah sangatlah dibutuhkan untuk memenuhi perkembangan aplikasi *quadrotor* kedepannya.

Penelitian ini akan membahas terkait desain sistem kontrol drone yang tepat guna dalam melakukan manuver lincah. Desain sistem kontrol akan dirancang secara langsung pada *flight controller* nyata sehingga sistem kontrol yang didesain diharapkan dapat diimplementasikan secara tepat. Selain itu, desain sistem kontrol ini akan dilakukan pengujian dengan lingkungan virtual dengan metode *Hardware in the loop*.

Kata kunci: *quadrotor*, sistem kontrol, wahana nirawak, *hardware in the loop*

ABSTRACT

CONTROL SYSTEM DESIGN IN AN UNMANNED QUADROTOR VEHICLE FOR AGILE MANEUVERS BASED ON HARDWARE IN THE LOOP

By

Deedat Fatahillah NIM: 13320072

(Engineering Physics Study Program)

Quadrotor is one type of unmanned aerial vehicle with four rotors for maneuvering, allowing it to move with six degrees of freedom. This has made quadrotor a popular configuration in recent years due to the increasing complexity of maneuver criteria for unmanned vehicles. However, existing control systems are not well-suited for agile quadrotors. Therefore, the need for advanced control systems to handle the agile maneuver control of quadrotors is essential to meet the future applications of quadrotors.

This research will discuss the design of an effective drone control system for agile maneuvering. The control system design will be directly implemented on a real flight controller, with the expectation that the designed control system can be implemented accurately. Additionally, the control system design will be tested in a virtual environment using Hardware in the Loop method.

Keywords: quadrotor, control systems, unmanned aerial vehicles, hardware in the loop

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL PADA KENDARAAN
QUADROTOR NIRAWAK UNTUK MANUEVER LINCAH
BERBASIS HARDWARE IN THE LOOP**

HALAMAN PENGESAHAN

Oleh

Deedat Fatahillah NIM: 13320072

(Program Studi Teknik Fisika)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Tim Pembimbing

Tanggal

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Ir. Eko Mursito Budi, M.T.
NIP. 196710061997021001

Faqihza Mukhlis, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 121110001

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	vii
BAB I PENDAHULUAN	8
1.1 Latar Belakang	8
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Batasan dan Asumsi	9
BAB II METODOLOGI DAN RENCANA PELAKSANAAN	10
2.1 Metodologi	10
2.2 Rencana Pelaksanaan	12
2.2.1 Lokasi Pelaksanaan	12
2.2.2 Alat dan Bahan	12
2.2.3 Jadwal Pelaksanaan	12
2.2.4 Biaya	13
BAB III PENUTUP	14
DAFTAR PUSTAKA	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rencana Penelitian	10
-------------------------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lokasi Pelaksanaan	12
Tabel 2.2 Alat dan Bahan.....	12
Tabel 2.3 Jadwal Pelaksanaan.....	12

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>	8
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i>	8
LQR	<i>Linear Quardratic Regulator</i>	8
HILS	<i>Hardware in the Loop Simulation</i>	8
MPC	<i>Model Predictive Control</i>	11

LAMBANG

x	Posisi pada koordinat x	10
y	Posisi pada koordinat y	10
z	Posisi pada kootdinat z	10
θ	Sudut <i>roll</i>	10
ϕ	Sudut <i>pitch</i>	10
ψ	Sudut <i>yaw</i>	10

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, pengembangan teknologi seputar *unmanned aerial vehicle* (UAV) atau pesawat tanpa awak telah berkembang dengan pesat yang mengakibatkan adanya peningkatan aplikasi UAV yang masif di berbagai macam industri. Macam-macam pengaplikasiannya antara lain di ranah logistik, misi penyelamatan, infrastruktur, agrikultur, dan rekreasi [1]. Dengan semakin banyak industri yang mengadopsi UAV, kriteria gerak dan manuver dari sebuah UAV juga semakin kompleks. Sehingga, penggunaan konfigurasi kendaraan nirawak dengan empat rotor atau *quadrotor* menjadi sangatlah populer. Hal ini dikarenakan *quadrotor* mampu bergerak dengan lincah sehingga mampu melakukan manuver yang kompleks [2], [3]. Agar *quadrotor* dapat melakukan manuver dengan lincah maka harus terdapat suatu desain sistem kontrol yang dapat menjaga *quadrotor* tetap stabil.

Pada umumnya, sistem kontrol *quadrotor* menggunakan suatu bentuk atau variasi dari pengontrol proporsional, integral, dan derivative (PID) [4]. Kontroler ini merupakan tipe kontroler yang paling sederhana sehingga seseorang yang tidak memiliki latar belakang di bidang kontrol dapat menggunakannya. Namun, berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, pengontrol PID telah terbukti menghasilkan manuver yang lebih buruk dibandingkan dengan sistem kontrol yang berbeda seperti *Fuzzy Logic* maupun *Linear Quadratic Regulator* (LQR) [5], [6]. Sehingga, pada penelitian ini akan dilakukan desain dan implementasi sistem kontrol mutakhir untuk kasus manuver *quadrotor* secara lincah.

Sistem kontrol yang telah didesain tersebut tentunya perlu diuji untuk melihat kinerja pengontrol dalam melakukan tugasnya. Dalam pengujian dan validasi pengontrol ini dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi sehingga resiko kerusakan sistem fisik dapat dihindari. Salah satu strategi untuk melakukan simulasi ini ialah *Hardware in the Loop Simulation* (HILS). Metode ini dapat mengkombinasikan perangkat keras *flight controller* dengan simulasi lingkungan secara virtual. Sehingga sistem kontrol dapat didesain secara tepat dengan mempertimbangkan limitasi komputasi *flight controller* seperti yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [7].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang akan dicoba untuk diselesaikan ialah desain dan implementasi sistem kontrol *quadrotor* mutakhir untuk manuver lincah dengan pendekatan simulasi *Hardware in the loop*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah terbentuknya sebuah desain sistem kontrol *quadrotor* dengan memanfaatkan *Hardware in the Loop* yang nantinya dapat digunakan untuk melakukan manuver dengan lincah. Adapun sasaran dari penelitian ini adalah:

1. Merancang lingkungan simulasi sistem kontrol secara waktu nyata dengan metode *Hardware in the Loop*.
2. Mendesain sistem kontrol mutakhir untuk *quadrotor*.
3. Menganalisis kinerja antara sistem kontrol PID dan hasil desain.
4. Memrogram dan mengimplementasi sistem kontrol pada perangkat keras kontroler penerbangan secara langsung.

1.4 Batasan dan Asumsi

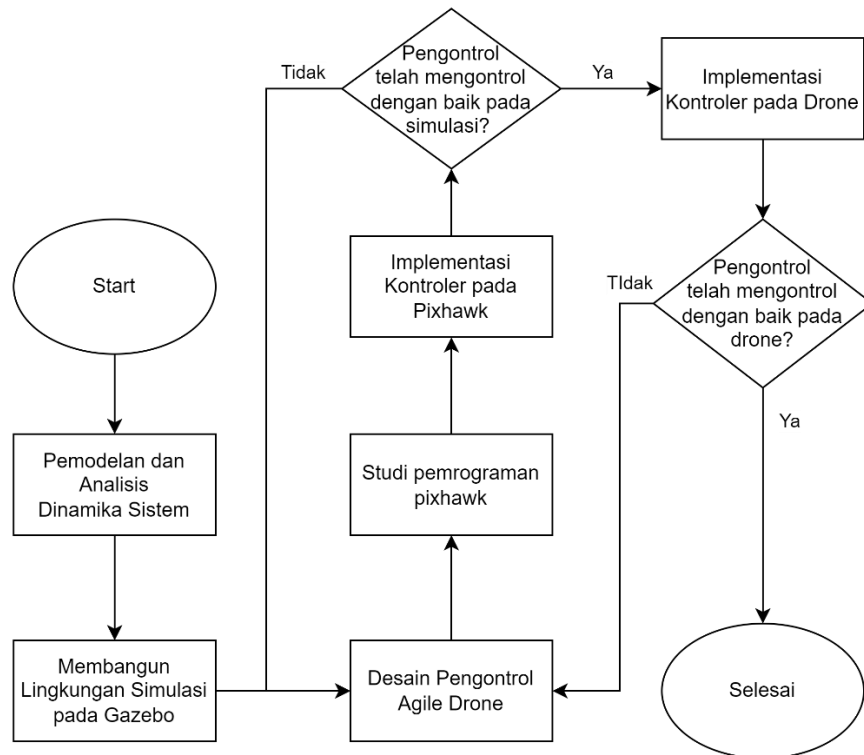
Untuk memenuhi tujuan dan sasaran pada perancangan penelitian ini, beberapa batasan yang digunakan antara lain:

1. Lingkungan virtual yang didesain dianggap sesuai dengan lingkungan asli.
2. Struktur dari *quadrotor* dianggap tegar dan simetris. Titik pusat massa berada pada titik tengah dari *quadrotor*.
3. Baling-baling dianggap tegar.
4. Pengaruh dari gaya horizontal dan vertikal pada baling-baling diabaikan.
5. Ketidakpastian diakibatkan oleh gangguan angin yang disimulasikan.

BAB II

METODOLOGI DAN RENCANA PELAKSANAAN

2.1 Metodologi



Gambar 2.1 Rencana Penelitian

Rencana penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar di atas. Secara garis besar, tahapan di atas dapat dibagi menjadi dua bagian utama yaitu perancangan sistem kontrol dan pengujian pengontrol. Bagian perancangan sistem kontrol terdiri dari tiga bagian utama yaitu, pemodelan dan analisis dinamika sistem, membangun lingkungan simulasi pada gazebo, desain pengontrol agile drone, serta studi pemrograman pixhawk. Sedangkan bagian pengujian terdiri dari dua bagian utama yaitu, pengujian performa kontroler secara simulasi dan pengujian performa kontroler pada drone fisik.

Tahap desain sistem kontrol ini akan dilakukan tentunya dengan pertama-tama melakukan analisis dinamika sistem dan memodelkan sistem kontrol secara keseluruhan. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui variabel apa saja yang perlu dilakukan aksi kontrol sehingga pengontrol dapat didesain dengan tepat. Seperti motor apa yang harus digerakan untuk mengubah posisi maupun sudut dari UAV $(x, y, z, \theta, \phi, \psi)$.

Setelah itu, akan dilakukan pembangunan lingkungan simulasi pada gazebo. Gazebo sendiri merupakan sebuah perangkat lunak yang akan digunakan dalam

membuat lingkungan simulasi sekaligus melakukan pengujian sistem kontrol secara simulasi. Pembuatan lingkungan simulasi ini akan dilakukan dengan sebaik mungkin sehingga aproksimasi yang telah dibuat pada simulasi dapat merepresentasikan kondisi nyata dari UAV maupun lingkungan sekitarnya dengan ketelitian yang tinggi. Tahap ini tidak hanya penting dalam proses pengujian sistem kontrol nanti, namun dalam melakukan desain juga. Tahap ini akan krusial dalam mengetahui karakteristik gangguan yang akan diterima oleh UAV.

Dengan mengetahui karakteristik dinamika sistem UAV dan karakteristik gangguan yang ada, maka langkah selanjutnya ialah melakukan desain pengontrol yang tepat guna untuk mencapai objektif yang dituju. Pada tahap inilah, akan dilakukan pembelajaran lebih lanjut mengenai berbagai macam sistem kontrol yang sekiranya sesuai, seperti *model predictive control* (MPC), *linear quadratic control* (LQR), atau bentuk kontroler lainnya yang akan diuji. Selain aspek-aspek gangguan dari luar, aspek seperti limitasi komputasi dan waktu cacah dari *flight controller* juga akan diperhitungkan. Hal ini perlu dipertimbangkan karena sistem kontrol ini akan diimplementasi pada perangkat *flight controller* nyata sehingga aspek-aspek ini tentunya merupakan aspek yang cukup penting.

Desain sistem kontrol yang dilakukan akan menghasilkan diagram blok dan persamaan matematis dari sistem. Namun hal ini tidak bisa semerta-merta diimplementasi secara langsung kepada *flight controller* yang ada. Sehingga untuk mengimplementasi sistem kontrol yang sudah dibuat, maka perlu dilakukan studi mengenai bagaimana cara mengimplementasi sistem kontrol yang sudah dirancang pada *flight controller* pixhawk secara *software*. Dengan memahami ini, maka tahap selanjutnya dapat dilakukan secara langsung.

Tahap selanjutnya ialah, tahap pengujian sistem kontrol yang telah didesain. Tahap ini diawali dengan menggunakan lingkungan simulasi yang sudah dibuat sebelumnya dengan menggunakan metode *hardware in the loop* (HILS). Metode ini akan dilakukan dengan pertama-tama mengunggah kode sumber sistem kontrol kepada *flight controller* secara langsung dan menghubungkan *flight controller* tersebut kepada lingkungan simulasi yang telah dirancang. *Flight controller* akan menganggap dirinya hidup di dalam lingkungan tersebut sehingga pengujian sistem kontrol yang telah dibuat. Jika keluaran dari sistem kontrol ini kurang sesuai dengan yang diinginkan, maka desain sistem kontrol akan dilakukan kembali sampai sistem kontrol yang diimplementasi dan diuji telah sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan.

Setelah sistem kontrol yang cocok telah ditemukan pada tahap sebelumnya, sistem kontrol ini akan diimplementasi secara langsung kepada wahana terbang *quadcopter* nyata. Sama seperti tahap sebelumnya, hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem kontrol secara nyata dan bila perlu dilakukan modifikasi kepada sistem kontrol yang ada. Namun, tahap ini merupakan tahap yang bersifat opsional dikarenakan terdapat penelitian lain yang akan mengerjakan aspek ini.

2.2 Rencana Pelaksanaan

2.2.1 Lokasi Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini bertempat di dua lokasi sesuai dengan yang tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Lokasi Pelaksanaan

No	Lokasi	Instansi	Kegiatan	Kesediaan
1	CITA ITB	Institut Teknologi Bandung	Pengembangan sistem kontrol drone dan simulasi	Siap
2	Kantor Pusat PT.SIS	PT. SIS	Konsultasi dan pengembangan	Siap

2.2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Alat dan Bahan

No	Nama alat / bahan	Banyak	Kegiatan	Ketersediaan
1	Laptop	1	Pengembangan algoritma sistem kontrol	Siap
2	Pixhawk 2.4.8	1	Pengembangan Sistem Kontrol	Siap

2.2.3 Jadwal Pelaksanaan

Rincian jadwal pelaksanaan dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Jadwal Pelaksanaan

No	Kegiatan	2023				2024						
		Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli
1	Studi Literatur											
2	Konsultasi dengan pihak PT. SIS											
3	Instalasi perangkat lunak dan penyiapan alat											

Tabel 2.4 Jadwal Pelaksanaan

4	Membangun Lingkungan Simulasi pada Gazebo											
5	Pemodelan dan Analisis Dinamika Sistem											
6	Desain Pengontrol Agile Drone											
7	Implementasi Kontroler di Gazebo											
8	Implementasi Kontroler pada Drone											
9	Penyelesaian Laporan TA dan Presentasi											
10	Persiapan sidang akhir dan pemenuhan administrasi											

2.2.4 Biaya

Biaya untuk penelitian ini telah disediakan oleh program MBKM Kedaireka dengan topik “Pembuatan Purwarupa Drone dengan Kepresisian Pendaratan sebagai Pembawa Kebutuhan Obat saat Bencana”.

BAB III

PENUTUP

Demikian proposal tugas akhir dengan judul “Perancangan Sistem Kontrol Pada Kendaraan Quadroter Nirawak Untuk Manuver Lincah Berbasis *Hardware in the Loop*” telah dibuat dengan sebaik-baiknya. Semoga proposal ini dapat diterima dengan baik dan penelitian tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Deja, M. S. Siemtkowski, G. C. Vosniakos, dan G. Maltezos, “Opportunities and challenges for exploiting drones in agile manufacturing systems,” dalam *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2020, hlm. 527–534. doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.074.
- [2] J. Verbeke dan J. De Schutter, “Experimental maneuverability and agility quantification for rotary unmanned aerial vehicle,” *International Journal of Micro Air Vehicles*, vol. 10, no. 1. SAGE Publications Inc., hlm. 3–11, 1 Maret 2018. doi: 10.1177/1756829317736204.
- [3] E. T. Efaz, M. M. Mowlee, J. Jabin, I. Khan, dan M. R. Islam, “Modeling of a high-speed and cost-effective FPV quadcopter for surveillance,” dalam *ICCIT 2020 - 23rd International Conference on Computer and Information Technology, Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Des 2020. doi: 10.1109/ICCIT51783.2020.9392696.
- [4] “https://docs.px4.io/main/en/flight_stack/controller_diagrams.html,” Controller Diagram PX4 .
- [5] M. W. Mueller dan R. D’Andrea, *A Model Predictive Controller For Quadcopter State Interception*. 2013.
- [6] A. Surriani, un Budiyanto, dan M. Arrofiq, “Altitude Control of Quadrotor using Fuzzy Self Tuning PID Controller,” 2015.
- [7] K. D. Nguyen dan C. Ha, “Development of Hardware-in-the-Loop Simulation Based on Gazebo and Pixhawk for Unmanned Aerial Vehicles,” *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 19, no. 1, hlm. 238–249, Mar 2018, doi: 10.1007/s42405-018-0012-8.