

## PERANCANGAN *DRONE HEXACOPTER* UNTUK MENDETEKSI KUALITAS AIR SUNGAI CITARUM

(Perancangan Sistem Kontrol *Drone Hexacopter, Hovering, Landing, Take Off, dan Positioning*)

### DESIGN *HEXACOPTER DRONE FOR DETECTING WATER QUALITY OF CITARUM RIVER*

(Control System Design of *Drone Hexacopter, Hovering, Landing, Take Off, and Positioning*)

Shofiyyullah, Angga Rusdinar, S.T., M.T., Ph.D., Dr. Eng. Ahmad Sugiana, S.Si., M.T.

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>axislocks@telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>ahmad.sugiana@gmail.com

---

#### Abstrak

Dalam rangka mendukung pengendalian pencemaran Sungai Citarum akan dirancang sebuah *drone* yang dapat mendarat dan mengapung dipermukaan sungai, sehingga aktifitas dalam pelaksanaannya dapat diselesaikan dengan mudah tanpa terjun langsung ke sungai. Seperti untuk pengambilan sampel kualitas air ataupun untuk monitoring keadaan dapat menggunakan *drone*. *Paper* ini membahas tentang implementasi sistem kontrol *drone hexacopter* sebagai *mobile robot* untuk *sub-sistem gate* sensor kualitas air. Pada penelitian ini dirancang kontroler Proporsional-Integral (PI) dan Proporsional-Integral-Derivatif (PID). Parameter yang dicari oleh metode ini adalah  $K_u$  dan  $T_u$  yang didasarkan pada struktur PID klasik. Uji coba performansi menggunakan *rising time*, *settling time*, *maximum overshoot*, dan *steady-state error* untuk menentukan kontroler yang cocok. Hasilnya menunjukkan bahwa kontroler PID memiliki kinerja terbaik diantara kandidat lainnya, terutama nilai *maximum overshoot* dan *settling time*. Mencapai 0,4 detik untuk *settling time* dan 13,93% untuk *maximum overshoot* Roll, sedangkan untuk Pitch attitude mencapai 0,77 detik untuk *settling time* dan 15,87% untuk *maximum overshoot*.

**Kata kunci :** Hexacoper, roll attitude, pitch attitude, Ziegler Nichols, PID controller

---

#### Abstract

To support control of Citarum River pollution, a drone that can be land and float on the surface of the river will be designed, making it easier to implement to monitoring water quality. As for taking air quality samples or for monitoring using can use drones. In this paper discusses the implementation hexacopter drone control system as a mobile robot for the water quality sensor gate sub-system. In this study, a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller are designed. Parameters tuned by the method are  $K_u$ , and  $T_u$  which is based on the ideal PID structure. The performance test utilizes rising time, settling time, maximum overshoot, and steady-state error to determine the most preferred controller. The result shows that PID-controller has the best performance among the other candidates, especially in maximum overshoot and settling time. It reaches 0,4 seconds in settling time and 13,93% in maximum overshoot for *roll attitude*, *pitch attitude* reaches 0,77 seconds in settling time and 15,87% in maximum overshoot.

**Keywords:** Hexacopter, roll attitude, pitch attitude, Ziegler Nichols, PID controller

---

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Kebanyakan sungai di Indonesia terutama pada daerah industri dan pemukiman penduduk telah tercemar, salah satu sungai yang paling tercemar di Indonesia adalah Sungai Citarum. Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2018[1], Sungai Citarum merupakan sungai strategis nasional sebagai kesatuan ekosistem alami, untuk mendukung pemerintah dalam percepatan pengendalian pencemaran dan kerusakan daerah aliran Sungai Citarum dirancang sebuah sistem *drone hexacopter* yang dapat memantau kualitas air

menggunakan sensor TDS, suhu, pH, dan Turbidity secara *real time*[2], [3]. Sistem *drone hexacopter* di *set-up* agar dapat terbang secara otomatis menuju titik koordinat titik tengah Sungai Citarum menggunakan *waypoint method*, dan Ziegler Nichols *tuning method* digunakan agar kestabilan pergerakan sistem *drone hexacopter* dapat terjaga[4].

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mewujudkan *drone hexacopter* yang dapat secara otomatis terbang, mendarat di permukaan air sebagai *mobile robot* menggunakan *waypoint method*.
2. Melakukan desain dan implementasi *drone hexacopter* dengan mengungkap kapasitas baterai 10.000 mAH agar dapat menyelesaikan misi sebanyak 1 kali dengan jarak tempuh <50 meter saat baterai terisi penuh.

## 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kerja *drone hexacopter* sehingga dapat terbang, mendarat, mengapung dipermukaan air secara otomatis?
2. Bagaimana cara mengimplementasi PID dengan metode Ziegler-Nichols pada *drone hexacopter* untuk terbang menyelesaikan misi?
3. Berapa daya tahan baterai *drone hexacopter* untuk menyelesaikan misi?

## 1.4 Metode Penelitian

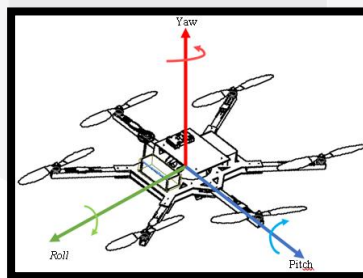
Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini diantaranya adalah:

1. Studi literatur
2. Penentuan spesifikasi
3. Perubahan desain pelampung
4. Pengambilan data
5. Diskusi ilmiah
6. Pengujian dan evaluasi sistem
7. Penarikan kesimpulan

## 2. Dasar Teori

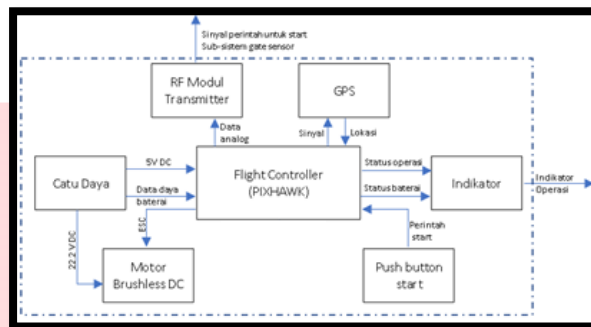
### 2.1 Drone Hexacopter

Variabel masukan dan keluaran harus ditentukan terlebih dahulu sebelum mengendalikan suatu sistem. Sistem *drone hexacopter* memiliki 3 sumbu x, y, dan z akan tetapi yang digunakan dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan *roll angle* dan *pitch angle* sebagai keluaran dan menggerakkan sinyal untuk 6 motor sebagai masukan[5]. Desain sistem *drone hexacopter* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Drone Hexacopter

Gambar 2 menjelaskan diagram blok skema kontrol loop tertutup untuk sistem *drone hexacopter*. *Flight controller (Pixhawk)* digunakan agar fungsi dari *drone* tetap seimbang selama mengudara karena telah dilengkapi sensor *gyroscope* dan *accelerometer*[6].



Gambar 2 Diagram blok sistem drone hexacopter

### 2.2 Ziegler-Nichols untuk kontroler PID

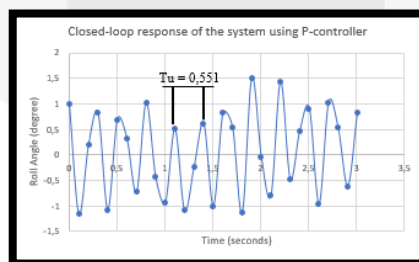
Modul fungsi transfer linier, kontrol PID dapat ditulis sebagai (1), dimana  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  adalah konstanta proporsional, integral, dan derivatif dari kontrol[7]. Nilai *error*  $e(t)$  yang menentukan *gap* antara nilai yang diinginkan dan keluaran dari sistem  $y(t)$  yang diperoleh selama proses tuning.

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

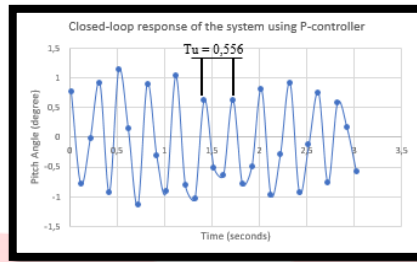
Tabel 1 Ziegler-Nichols Methods

Tipe Kontrol	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$0,5K_u$	-	-
PI	$0,45K_u$	$0,54K_u/T_u$	-
PD	$0,8K_u$	-	$K_u T_u/10$
Classic PID	$0,6K_u$	$1,2K_u/T_u$	$3K_u T_u/40$

Ada beberapa metode untuk menentukan nilai parameter PID yang sesuai untuk sistem kontrol tertentu atau yang disebut metode perhitungan. Salah satu metode tuning kontroler PID yang terkenal adalah Ziegler-Nichols[4], [8]. Langkah pertama yang diambil adalah menetapkan nilai  $K_i = 0$ ,  $K_d = 0$ , dan kemudian meningkatkan nilai  $K_p$  dari 0 pada setiap *roll attitude* maupun *pitch attitude* dilakukan perhitungan yang sama namun terpisah, sampai sebuah sistem itu dapat menunjukkan osilasi dalam kondisi stabil. Untuk mendefinisikan  $T_u$ , perhitungan metode osilasi ditunjukkan pada Gambar 3 untuk *roll* dan Gambar 4 untuk *pitch*. Dari simulasi pada *roll attitude* didapatkan nilai  $K_u = 0,95$ ,  $T_u = 0,551$ , dan pada *pitch attitude* didapatkan nilai  $K_u = 0,95$ ,  $T_u = 0,556$ .



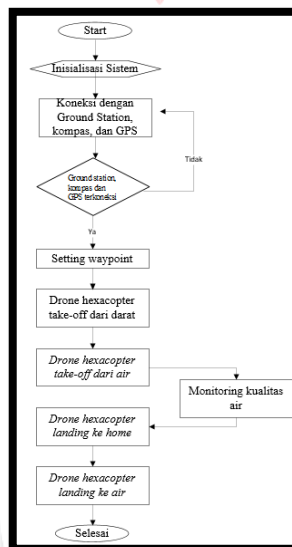
Grafik 1 Closed-loop response of the system using P-Controller (Roll)



Grafik 2 Closed-loop response of the system using P-Controller (Roll)

**2.3 Waypoint Methods**

Waypoint methods dirancang untuk mengatur pergerakan sistem *drone hexacopter* dalam mencapai titik koordinat bumi menggunakan GPS dan kompas untuk mengenali posisi dan arah yang ditentukan. *Software* yang digunakan untuk membantu dalam *setup* titik koordinat *take-off* dan *landing* adalah Mission Planner 1.3.56, software ini dirancang untuk mempermudah *user behavior* dalam perencanaan terbang otomatis dan digunakan untuk pemetaan maupun monitoring.



Gambar 3 Diagram alir perangkat lunak sistem waypoint methods



Gambar 4 Proses setup waypoint methods

**2.4 Proyeksi Kebutuhan Pengendalian Pencemaran Sungai Citarum**

Dalam mendukung Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2018 mengenai Percepatan Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Daerah Aliran Sungai Citarum

Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi memberikan dukungan dengan memfasilitasi riset dan keikutsertaan akademisi dalam inovasi pengendalian DAS Citarum.

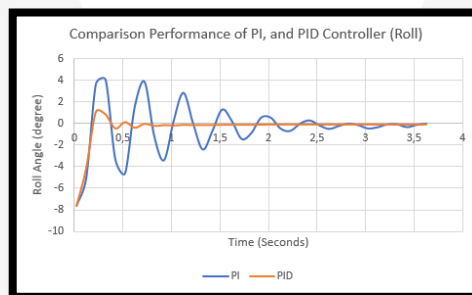
Sungai di Indonesia yang kondisinya tercemar dan kritis mencapai 82% dari 550 sungai yang tersebar di seluruh Indonesia (Irwan Gunawan, 2019). Apabila sistem drone digunakan untuk menguji kualitas air sungai dan diasumsikan setiap provinsi membutuhkan sistem drone sebanyak 5% dari jumlah sungai yang tercemar maka dibutuhkan sistem drone sebanyak 28 buah. Nilai tersebut cukup besar yang merupakan proyeksi dari kebutuhan pemerintah provinsi terhadap sistem drone yang digunakan untuk monitoring kualitas air sungai di Indonesia.

### 3. Pembahasan

#### 3.1. Pengujian Ziegler-Nichols

Pengujian kinerja sistem kontrol yang dirancang dapat ditunjukkan melalui tes loop tertutup yang mempertimbangkan respon transien. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan reaksi sistem *drone hexacopter* ketika diberikan kontrol PI dan PID, berdasarkan nilai parameter yang didapatkan dari metode Ziegler-Nichols. Berdasarkan perhitungan yang disebutkan dalam Tabel 1, nilai parameter  $K_p$  pada kontroler P (roll dan pitch) adalah 0,95 sehingga menghasilkan respon transien seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

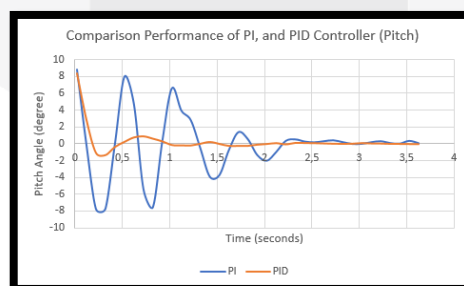
Untuk menghilangkan *error steady state*, ditambahkan kontroler PI. Pada penelitian ini dirancang kontroler PI dan PID. Parameter yang digunakan dalam kontroler PI berdasarkan metode Ziegler-Nichols untuk *roll attitude* (PI) adalah  $K_p = 0,4275$ ,  $K_i = 0,9308$ , untuk *pitch attitude* (PI) adalah  $K_p = 0,4275$ ,  $K_i = 0,923$ , sedangkan untuk nilai *roll attitude* (PID) adalah  $K_p = 0,57$ ,  $K_i = 2,06$ ,  $K_d = 0,039$ , dan untuk nilai *pitch attitude* (PID) adalah  $K_p = 0,57$ ,  $K_i = 2,04$ ,  $K_d = 0,04$ .



Grafik 3 Performa kontrol PI dan PID (Roll)

Tabel 2 Perbandingan performa kontrol PI dan PID (Roll)

Kriteria	PI-Controller	PID-Controller
2% Settling time (s)	1,9	0,4
Percent Overshoot (%)	53,08%	13,93%



Grafik 4 Performa kontrol PI dan PID (Pitch)

Tabel 3 Perbandingan performa kontrol PI dan PID (Pitch)

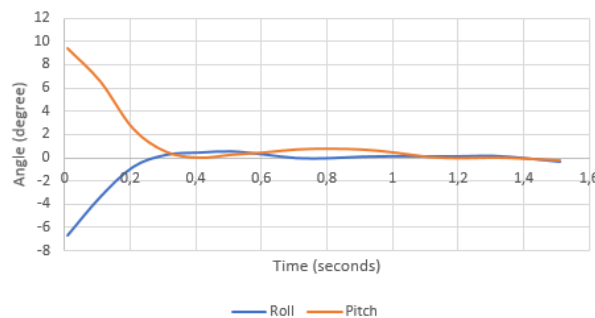
Kriteria	PI-Controller	PID-Controller
2% Settling time (s)	8,48	0,77
Percent Overshoot (%)	86,81%	15,87%

Seperti terlihat pada Grafik 3 dan 4, perbaikan telah dicapai. Tabel 2 dan 3 membandingkan kinerja yang lebih terperinci dari masing-masing kontrol dari roll attitude dan pitch attitude. Penambahan nilai integral cenderung menghilangkan error steady-state. Kontroler PI dapat mengurangi settling time dan maximum overshoot dari sistem loop tertutup sedangkan kontroler PID dapat mempercepat kinerja rise time.

Dari hasil perbandingan performa dari setiap attitude kontroler PID lebih diunggulkan untuk diimplementasikan pada sistem drone hexacopter untuk mendukung kestabilan pada saat terbang menuju waypoint dengan settling time pada roll attitude yaitu 0,4 dan pitch attitude 0,77 sedangkan nilai maximum overshoot roll attitude 13,93%, dan pitch attitude 15,87%.

Pada implementasinya grafik kontroler PID dari masing-masing attitude dapat dilihat pada Grafik 5, dimana sistem drone hexacopter mencapai kestabilan dalam waktu hanya 0,3 detik setiap diberi gangguan step.

Combination of Performance PID Roll & PID Pitch

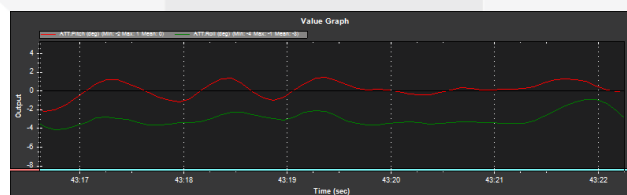


Grafik 5 Implementasi kontroler PID Roll dan Pitch

Hasil percobaan integrasi seluruh sistem untuk menyelesaikan misi dapat dilihat pada Tabel 4, dan grafik log data dari software Mission Planner dapat dilihat pada Grafik 6.

Tabel 4 Hasil pengujian sistem drone hexacopter

Tanggal	Waktu Pengujian (WIB)	HDOP	Satelite	Jarak (m)	Waktu (s)	Kondisi awal Baterai (V)	Kondisi Akhir Baterai (V)	Keterangan
13 Juli 2020	16.43	0,7	18	25	38	25,1	24,7	Berhasil (darat ke air)
	16.48	0,7	18	25	40	24,7	24,3	Berhasil (air ke darat)



Grafik 6 Hasil integrasi seluruh sistem kontrol PID (roll dan pitch)

Dari grafik terdapat osilasi, kondisi lingkungan yang tidak stabil mengakibatkan sistem memiliki gangguan eksternal yang disebabkan kecepatan angin, akan tetapi drone mampu menyelesaikan misi dengan baik.

### 3.2. Pengujian tegangan keluaran *drone hexacopter* terhadap jarak *waypoint*

Pengujian tegangan *output drone hexacopter* terhadap jarak *waypoint* dilakukan untuk mengkarakterisasi nilai tegangan terhadap jarak *waypoint*.

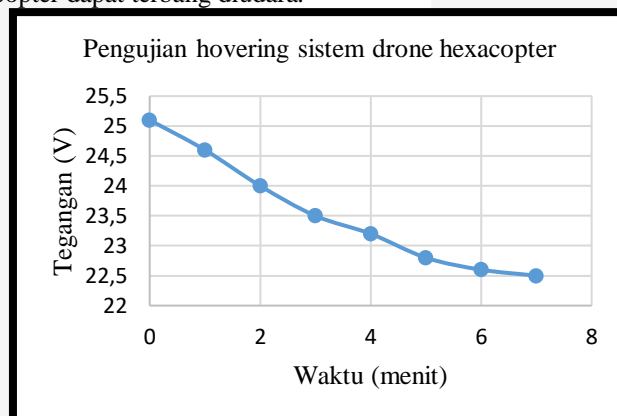
Tabel 5 Pengujian tegangan keluaran *drone hexacopter* terhadap jarak *waypoint*

No	Tinggi (m)	Kondisi Awal Baterai (V)	Kondisi Akhir Baterai (V)	Jarak (m)	Keterangan
1	3	24,7	24,4	10	Berhasil
2	3	24,4	24	20	Berhasil
3	3	24	23,6	30	Berhasil
4	3	23,6	23	40	Tidak Berhasil

Pengujian dilakukan saat kondisi baterai 24,7 Volt, dari pengujian tegangan *output*, sistem *drone hexacopter* masih dapat melakukan misi sampai kondisi baterai 23,6 Volt. Ketidakberhasilan sistem *drone hexacopter* dalam pengujian tegangan *output drone hexacopter* dikarenakan tegangan diambang batas minimum baterai untuk melakukan misi.

### 3.3. Pengujian *hovering* sistem *drone hexacopter*

Pengujian *hovering* sistem *drone hexacopter* dilakukan untuk mengetahui berapa lama sistem *drone hexacopter* dapat terbang diudara.



Grafik 7 Grafik pengujian *hovering* sistem *drone hexacopter*

Dari hasil ujicoba *hovering*, sistem *drone hexacopter* dapat bertahan selama tujuh (7) menit diudara tanpa membawa beban eksternal. Sampai menit lima (5) dengan tegangan baterai 22,8 Volt sistem *drone hexacopter* masih stabil diudara, akan tetapi ketika memasuki menit enam (6) terdapat peringatan *potential thrust loss* pada motor 2, dan menit tujuh (7) peringatan *potential thrust loss* bertambah yaitu pada motor 4.

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini telah mengevaluasi kinerja kestabilan kontrol sistem *drone hexacopter* pada gerakan *roll* dan *pitch* dengan tuning menggunakan konsep Ziegler-Nichols.



Metode tuning dapat memberikan parameter yang cukup untuk dua jenis kontrol; yaitu kontroler PI dan PID. Hasil dari percobaan berdasarkan metode tuning Ziegler-Nichols, kontroler PID merupakan pilihan terbaik untuk kestabilan sistem kontrol *drone hexacopter*, terutama pada bagian *settling time* dan *maximum overshoot*. Uji waktu kestabilan yang lebih pendek menggunakan gangguan *step* juga telah membuktikan pemilihan kontroler PID sudah tepat. Sehingga penggunaan Ziegler-Nichols dapat diterapkan dalam sistem *drone hexacopter* dalam menentukan nilai parameter PID, sehingga dapat menyelesaikan misi dengan baik sebagai *mobile robot* kualitas air. Walaupun pada kenyataannya saat uji coba integrasi osilasi masih terjadi, namun dapat diminimalkan dengan waktu pengujian pada saat kecepatan angin rendah.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Indonesia Government, "Peraturan Presiden Republik Indonesia Tentang Percepatan Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Daerah Aliran Sungai Citarum," *Sekr. Negara*, vol. 3, no. 1, pp. 1–53, 2018, [Online]. Available: <https://setkab.go.id/wp-content/uploads/2018/03/Perpres-Nomor-15-Tahun-2018-tentang-Percepatan-Pengendalian-Pencemaran-dan-Kerusakan-DAS-Citarum-1.pdf>.
- [2] L. Yan, Y. Chen, K. Pan, H. Wu, and L. Cheng, "IoT UAV control based on DIC-PID in water quality measurement application," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2019-July, pp. 8130–8135, 2019, doi: 10.23919/ChiCC.2019.8866432.
- [3] R. D. Lestari, A. Rusdinar, M. A. Murti, G. Tawaqal, and D. Lee, "Design of IoT-based river water monitoring robot data transmission model using low power wide area network (LPWAN) communication technology," *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Internet Things Intell. Syst. IoTaIS 2019*, pp. 201–205, 2019, doi: 10.1109/IoTaIS47347.2019.8980377.
- [4] P. I. D. Controller, E. Apriaskar, N. A. Salim, and D. Prastiyanto, "Performance Evaluation of Balancing Bicopter Using P, Pi, and Pid Controller," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 44–49, 2019, doi: 10.15294/jte.v11i2.23032.
- [5] D. Sharipov, Z. Abdullaev, Z. Tazhiev, and O. Khafizov, "Implementation of a mathematical model of a hexacopter control system," *Int. Conf. Inf. Sci. Commun. Technol. Appl. Trends Oppor. ICISCT 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011842.
- [6] Z. K. K. Latt, H. Si, and O. Kaneko, "Controller Parameter Tuning of a Hexacopter with Fictitious Reference Iterative Tuning," *Proc. 2019 SICE Int. Symp. Control Syst. SICE ISCS 2019*, pp. 96–101, 2019, doi: 10.23919/SICEISCS.2019.8758720.
- [7] Z. Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler," *J. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–88, 2015, doi: 10.30873/ji.v15i1.410.
- [8] K. V. Rao and A. T. Mathew, "Dynamic modeling and control of a hexacopter using PID and back stepping controllers," *EPSCICON 2018 - 4th Int. Conf. Power, Signals, Control Comput.*, vol. 1, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1109/EPSCICON.2018.8379607.