

# Kaji Nilai Proportional-Integral-Derivative dan Pengaruh PID Terhadap Kestabilan Terbang Hexacopter

Raushan Fiqr<sup>1</sup>, Budi Hartono<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : raushan.fiqr.aer19@polban.ac.id; buhar@polban.ac.id

## ABSTRAK

Multirotor adalah pesawat terbang yang menggunakan lebih dari satu baling-baling untuk terbang. Multirotor banyak ditemukan di lingkungan sekitar dengan beragam kegunaan seperti fotografi, pemetaan, sampai hanya sekedar hobi yang dapat dinikmati semua kalangan. Multirotor hexacopter menggunakan enam baling-baling untuk menghasilkan gaya angkatnya. Penelitian ini membahas pengaruh nilai *Proportional-Integral-Derivative* (PID) terhadap kestabilan terbang hexacopter dengan metode *trial & error*. Pengujian kestabilan hexacopter dilakukan dengan menerbangkannya secara manual menggunakan *remote control* dan kemudian terbang secara *autonomous* mengikuti *waypoint* yang telah ditetapkan menggunakan program QGroundControl. Uji terbang yang dilakukan menggunakan tujuh variasi nilai *proportional*, *integral*, dan *derivative*. Nilai PID Kp: 0.23 Ki: 0.6 dan Kd: 0.008 memiliki tingkat *error* yang lebih sedikit dibandingkan dengan nilai *default*. Hasilnya, hexacopter dapat terbang secara *autonomous* dan mengikuti jalur terbang yang ditentukan dengan tingkat *overshoot* dari jalur terbang yang sedikit.

## Kata Kunci

*hexacopter, multirotor, QGroundControl*

## 1. PENDAHULUAN

Multirotor merupakan pesawat terbang jenis sayap berputar (*rotary wing*) yang menggunakan lebih dari satu baling-baling untuk terbang. Multirotor menjaga kestabilan terbangnya dengan mengatur kecepatan masing-masing rotornya. Perlu dilakukan penelitian mengenai kestabilan konfigurasi multirotor demi keselamatan penerbangan.

Hexacopter merupakan pesawat terbang yang digerakan oleh enam rotor untuk menghasilkan gaya angkat. Hexacopter melakukan lepas landas dan mendarat secara vertikal atau istilah umumnya adalah *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL).

Pengendali PID merupakan penggabungan karakteristik yang ada pada pengendali *proporsional*, pengendali *integral*, dan pengendali *derivative*. Kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengendali tersebut dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel. Elemen-elemen pengendali PID secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang

besar. Pengendali PID menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara variabel proses terukur dan *setpoint* yang diinginkan [1].

Kestabilan adalah kemampuan untuk mengoreksi kondisi yang dapat mengganggu keseimbangannya, dan untuk kembali atau melanjutkan jalur penerbangan aslinya. Kestabilan pada multirotor tergantung pada keseimbangan kinerja dari komponen-komponennya. Meskipun demikian, ada beberapa faktor yang dapat meningkatkan kestabilan terbang dari multirotor seperti getaran, pemilihan *propeller*, dan PID setting [5].

Pada artikel ini, akan dibahas mengenai pengaruh dari perubahan nilai konstanta *proportional*, *integral*, dan *derivative* terhadap kestabilan terbang hexacopter. Pembahasan ini diharapkan dapat memberikan referensi mengenai PID setting pada hexacopter untuk mencapai kestabilan terbang.

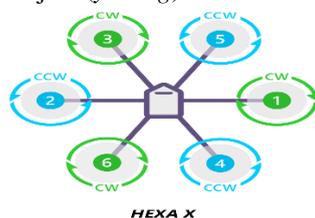
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat beberapa sumber yang digunakan dalam penyusunan artikel ini sebagai sumber

pustaka. Sumber pustaka yang digunakan meliputi hasil karya penelitian mengenai multirotor dan juga artikel daring mengenai komponen pada multirotor.

### 2.1 Hexacopter

Hexacopter merupakan pesawat terbang yang digerakan oleh enam rotor untuk menghasilkan gaya angkat. Hexacopter melakukan lepas landas dan mendarat secara vertikal atau istilah umumnya adalah *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL). Pergerakan pada hexacopter dibagi menjadi 3 yaitu pergerakan maju dan mundur (*pitching*), pergerakan ke arah kiri dan kanan (*rolling*), dan pergerakan rotasi searah dan berlawanan arah jarum jam (*yawing*).



Gambar 1. Arah putaran rotor pada hexacopter  
(Sumber:

[https://ardupilot.org/copter/\\_images/motororder-hexa-x-2d.png](https://ardupilot.org/copter/_images/motororder-hexa-x-2d.png))

### 2.2 Flight Controller

*Flight controller* merupakan perangkat keras berupa kotak sirkuit kecil yang berfungsi untuk mengolah data yang dikirimkan oleh *receiver* yang terhubung dengan *flight controller* dan menerjemahkan data tersebut untuk menjalankan komponen elektronik yang terhubung dengan *flight controller*.

#### 2.3 Receiver

*Receiver* merupakan antena yang terhubung dengan *printed circuit board* yang berfungsi untuk menerima sinyal dari *transmitter*.

#### 2.4 Transmitter

*Transmitter* digunakan untuk mengendalikan wahana terbang dari jarak jauh. Pengguna *transmitter* mengirimkan perintah dengan cara menggerakkan gimbal dan tombol yang tersedia pada *transmitter* yang kemudian akan dipancarkan *transmitter* dan diterima oleh *receiver*.

#### 2.5 Propeller

*Propeller* atau baling-baling adalah sejenis ulir udara. *Propeller* adalah komponen yang berfungsi untuk mengubah gerak putar menjadi gaya dorong. Gaya dorong inilah yang dimanfaatkan sebagai penghasil daya dorong utama [1].

### 2.6 Motor Listrik Arus Searah

Motor listrik arus searah adalah mesin listrik yang mengubah daya listrik arus searah menjadi gerakan mekanis [2].

### 2.7 Electronic Speed Controller

*Electronic speed controller* adalah perangkat yang menafsirkan sinyal dari *flight controller* dan menerjemahkan sinyal tersebut menjadi pulsa listrik bertahap untuk menentukan kecepatan motor listrik [3].

### 2.8 Power Distribution Board

*Power distribution board* berfungsi untuk mendistribusikan arus listrik kepada komponen listrik yang berjumlah lebih dari satu [3].

### 2.9 Baterai LiPo

Baterai *lithium-ion Polymer* (LiPo) adalah baterai Li-ion isi ulang dengan elektrolit polimer dalam cairan elektrolit yang digunakan pada baterai Li-ion konvensional. Ada berbagai bahan kimia LiPo yang tersedia. Semua menggunakan polimer gel konduktivitas tinggi sebagai elektrolit. LiPo menyediakan energi spesifik yang lebih tinggi daripada baterai *lithium* lainnya, sering digunakan dalam sistem di mana berat merupakan faktor penting, seperti perangkat seluler, *drone*, dan beberapa kendaraan listrik [3].

### 2.10 Global Positioning System

*Global positioning system* (GPS) adalah sistem navigasi radio berbasis ruang angkasa yang menyiarkan pulsa navigasi yang sangat akurat kepada pengguna di atau dekat Bumi. *Receiver* GPS yang dioperasikan oleh pengguna di Bumi mengukur waktu yang diperlukan sinyal radio untuk melakukan perjalanan dari empat satelit atau lebih ke lokasinya, menghitung jarak ke setiap satelit, dan dari perhitungan ini menentukan garis bujur, garis lintang, dan ketinggian pengguna [4].

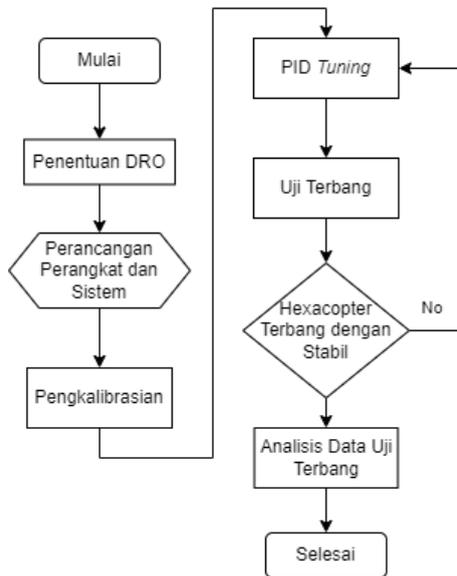
### 2.11 Telemetry

Telemetry adalah komponen akuisisi data yang digunakan untuk mengumpulkan informasi dari lokasi yang jauh melalui komunikasi nirkabel.

## 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah menggunakan metode *trial and error*, yaitu dengan melakukan berbagai percobaan dan menganalisis hasil percobaan tersebut.

Tahapan proses penelitian ini tercantum pada diagram di bawah ini.



Gambar 2. Flowchart tahap penelitian

### 3.1 Penentuan DRO

Pertama, hal yang harus dilakukan adalah menentukan *Design Requirements and Objectives* (DRO) yang disesuaikan dengan kebutuhan misi terbang pengujian stabilitas terbang hexacopter.

### 3.2 Perancangan Perangkat dan Sistem

Pada tahap ini dilakukan pemilihan komponen yang akan disesuaikan dengan kebutuhan misi terbang hexacopter. Masing-masing komponen harus dapat memenuhi kebutuhan spesifikasi komponen yang lain. Jika hal tersebut tidak terpenuhi, maka dapat mengakibatkan kerusakan satu atau lebih komponen pada saat digunakan.

### 3.3 Pengkalibrasian

Setelah hexacopter selesai dirakit, tahap berikutnya adalah melakukan pengkalibrasian terhadap hexacopter menggunakan *software* QGroundControl. Hal yang perlu dilakukan dalam pengkalibrasian ini adalah menentukan jenis rangka hexacopter yakni hexacopter tipe rangka X, kalibrasi kompas, accelerometer, giroskop, *remote control*, mode terbang, dan baterai.



Gambar 3. Proses kalibrasi hexacopter

### 3.4 PID Tuning

Tahap berikutnya adalah menyesuaikan nilai konstanta *proporsional*, *integral*, dan *derivative* (PID) pada hexacopter. Pada tahap ini, nilai *default* dari QGroundControl digunakan dengan tujuan untuk melihat performa hexacopter dengan nilai ini sebagai nilai PID yang digunakan dan akan diubah pada uji terbang berikutnya.

### 3.5 Uji Terbang

Setelah kalibrasi dan tuning PID pada hexacopter selesai, tahap selanjutnya adalah tahap uji terbang. Tahap ini dilakukan dengan menerbangkan hexacopter menggunakan *remote control* dan menggerakannya untuk melakukan *pitch*, *roll* dan *yaw*. Setelah hexacopter aman untuk dikendalikan secara manual, hexacopter akan diterbangkan secara *autonomous* dengan tujuan untuk melihat reaksi kendali PID tanpa *input* dari operator.



Gambar 4. Uji terbang hexacopter

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji terbang dilakukan menggunakan 7 variasi nilai pada nilai *proportional*, *integral*, dan *derivative*. Data terbang disajikan dalam bentuk tabel grafik. Garis hijau merupakan input dari *remote control*, garis berwarna merah menunjukkan gerakan hexacopter, dan garis berwarna biru menunjukkan perbaikan dari pengambilan keputusan oleh *flight controller*.

### 4.1. Default

Data pertama adalah uji terbang menggunakan nilai *default* dari program QGroundControl. Nilai *default* dari program QGroundControl adalah  $K_p: 0.15$   $K_i: 0.2$  dan  $K_d: 0.003$ . Hasil dari uji terbang dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. Grafik roll angular rate dengan nilai default



Gambar 6. Grafik pitch angular rate dengan nilai default

Pada kedua grafik menunjukkan bahwa nilai yang digunakan memberikan respon yang kurang stabil yang ditunjukkan dengan banyaknya perkiraan gerakan yang meleset dari gerakan remote.

Nilai default untuk yaw pada QGroundControl memiliki nilai yang berbeda. Nilai default untuk yaw adalah  $K_p$ : 0.2  $K_i$ : 0.1 dan  $K_d$ : 0.00



Gambar 7. Grafik yaw angular rate dengan nilai default

Dari grafik di atas, terlihat bahwa garis merah hampir menyesuaikan posisinya dengan garis hijau yang menunjukkan perintah yaw dijalankan dengan tingkat error yang sedikit. Gerakan yaw menggunakan nilai default berjalan dengan stabil, sehingga tidak diperlukan lagi pengujian nilai PID untuk yaw.

#### 4.2. Perubahan Nilai Proportional

Pada bagian ini akan dibahas data grafik yang di dapat dari uji terbang dengan perubahan nilai *proportional*. Dengan nilai PID  $K_p$ : 0.14  $K_i$ : 0.2 dan  $K_d$ : 0.003, respon gerak hexacopter menjadi seperti berikut.



Gambar 8. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_p=0.14$



Gambar 9. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_p=0.14$

Sedangkan dengan nilai  $K_p$  : 0.16  $K_i$  : 0.2 dan  $K_d$  : 0.003, grafiknya menjadi seperti berikut.



Gambar 10. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_p=0.16$



Gambar 11. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_p=0.16$

Dari keempat grafik uji terbang di atas, terlihat bahwa nilai  $K_p$ : 0.14 memiliki tingkat error yang lebih sedikit.

#### 4.3. Perubahan Nilai Integral

Pada bagian ini akan di bahas data grafik yang di dapat dari uji terbang dengan perubahan nilai *integral*. Dengan nilai PID  $K_p$  : 0.15  $K_i$  : 0.4 dan  $K_d$  : 0.003, respon gerak hexacopter menjadi seperti berikut.



Gambar 12. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_i=0.4$



Gambar 13. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_i=0.4$

Sedangkan dengan nilai  $K_p : 0.15$   $K_i : 0.1$  dan  $K_d : 0.003$ , grafiknya menjadi seperti berikut.



Gambar 14. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_i=0.1$



Gambar 15. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_i=0.1$

Dari empat grafik uji terbang di atas, nilai *integral*  $K_i : 0.4$  memiliki tingkat *error* yang lebih sedikit dibandingkan dengan nilai *integral*  $K_i : 0.1$ .

#### 4.4. Perubahan Nilai Derivative

Pada bagian ini akan di bahas data grafik yang di dapat dari uji terbang dengan perubahan nilai *derivative*. Dengan nilai PID  $K_p : 0.15$   $K_i : 0.2$  dan  $K_d : 0.005$ , respon gerak hexacopter menjadi seperti berikut.



Gambar 16. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_d=0.005$

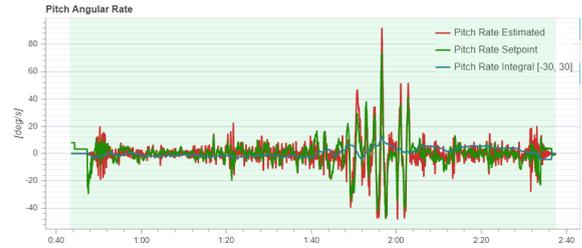


Gambar 17. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_d=0.005$

Sedangkan dengan nilai  $K_p : 0.15$   $K_i : 0.2$  dan  $K_d : 0.002$ , grafiknya menjadi seperti berikut.



Gambar 18. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_d=0.002$



Gambar 19. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_d=0.002$

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada grafik, nilai *derivative*  $K_d : 0.005$  memiliki tingkat *error* yang lebih sedikit dari nilai *derivative*  $K_d : 0.002$ .

#### 4.5. Nilai PID $K_p : 0.23$ $K_i : 0.6$ dan $K_d : 0.008$

Setelah melakukan beberapa percobaan dengan variasi nilai PID yang berbeda, nilai PID  $K_p : 0.23$   $K_i : 0.6$  dan  $K_d : 0.008$  memiliki tingkat *error* yang lebih sedikit dibandingkan dengan nilai *default*. Data grafik nilai PID ini dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21.



Gambar 20. Grafik roll angular rate dengan nilai  $K_p=0.23$   $K_i=0.6$  dan  $K_d=0.008$

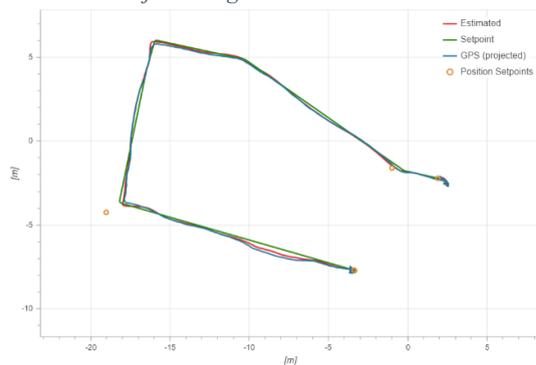


Gambar 21. Grafik pitch angular rate dengan nilai  $K_p=0.23$   $K_i=0.6$  dan  $K_d=0.008$

Dengan nilai PID ini, hexacopter melakukan uji terbang secara *autonomous*. Grafik jalur terbang hexacopter dengan mode *autonomous flight* dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 22. Uji terbang *autonomous*



Gambar 23. Grafik jalur terbang hexacopter saat *autonomous flight*

Pada Gambar 23, grafik jalur terbang menunjukkan bahwa hexacopter terbang sesuai jalur *setpoint* dan saat GPS terproyeksi meleset dari *setpoint*, hexacopter tetap mampu mengikuti jalur *setpoint* dengan

sedikit keluar dari jalur yang terproyeksi GPS mendekati jalur *setpoint*. Berdasarkan data jalur terbang tersebut, hexacopter terbukti dapat terbang dengan stabil secara *autonomous* dengan nilai PID  $K_p$ : 0.23  $K_i$ : 0.6 dan  $K_d$ : 0.008 untuk *roll* dan *pitch* dan nilai PID  $K_p$ : 0.2  $K_i$ : 0.1 dan  $K_d$ : 0.00 untuk *yaw*.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji terbang, dapat dilihat pengaruh nilai PID terhadap kestabilan terbang hexacopter. Respon gerak *angular rate* hexacopter berubah jika nilai *proportional*, *integral*, dan *derivative* dirubah dari nilai PID *default*. Dari hasil uji terbang, diketahui bahwa nilai PID  $K_p$ : 0.23  $K_i$ : 0.6 dan  $K_d$ : 0.008 memberikan kestabilan terbang yang lebih baik dibandingkan nilai PID *default*. Hal ini dibuktikan dengan grafik *angular rate* nilai PID tersebut dibandingkan dengan nilai PID *default* menunjukkan tingkat *error* yang lebih sedikit. Pada saat uji terbang *autonomous flight*, hexacopter terbukti dapat terbang sesuai jalur *setpoint* dan mempertahankan posisinya pada jalur *setpoint*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firdaus, Pandji Yusyidki. 2015. UAV QUADCOPTER DENGAN SISTEM KENDALI TERBANG OTOMATIS: KAJI STABILITAS TERBANG. Bandung : Politeknik Negeri Bandung, 2015.
- [2] Hitchins, Dave. What is the Difference Between Brushed and Brushless DC Motors. PARVALUX. [Online] <https://www.parvalux.com/what-is-the-difference-between-brushed-and-brushless-dc-motors/>.
- [3] Liang, Oscar. 2018. Quadcopter Hardware Overview – Every Component Explained. OscarLiang. [Online] June 10, 2018. <https://oscarliang.com/quadcopter-hardware-overview/>.
- [4] Logsdon, Tom S. 2021. GPS. Britannica. [Online] July 30, 2021. <https://www.britannica.com/technology/GPS>.
- [5] Mukti, Tegi Fahmi. 2018. AUTONOMOUS TRICOPTER: KAJI ANALISIS PENGARUH NILAI PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE TERHADAP KESTABILAN TERBANG. Bandung : Politeknik Negeri Bandung, 2018.
- [6] Shepard, Jeff. 2021. The difference between lithium ion and lithium polymer batteries. BATTERY POWER TIPS. [Online] June 30, 2021. <https://www.batterypowertips.com/difference-between-lithium-ion-lithium-polymer-batteries-faq/>.