

## Pengaturan Konstanta Acro dan PID Setting pada Autonomous Tilted Tail-Rotor Tricopter

Budi Hartono

Prodi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung  
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012  
email : buhar.aero@gmail.com

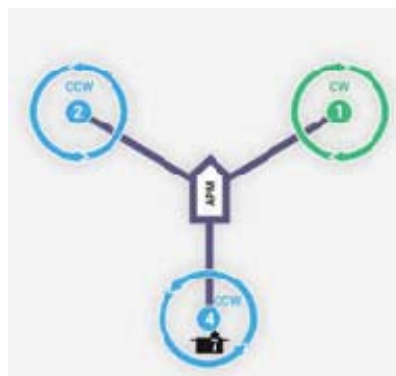
### Abstrak

Tricopter merupakan pesawat multirotor dengan tiga lengan. Ada dua jenis tricopter, yaitu tipe tiga rotor dengan rotor belakang dapat dipuntir (tilted tail-rotor) dan tipe enam rotor dengan dua rotor yang berputar berlawanan arah di tiap lengannya. Pada jenis pertama, kendali terbang untuk gerak yawing dilakukan oleh tail-rotor. Tail-rotor didefleksikan ke kiri atau ke kanan sesuai perintah flight controller. Seperti diketahui gerak tricopter relatif lebih lincah dibandingkan gerak quadcopter. Dengan demikian, rancang-bangun tricopter harus memastikan pesawat seimbang dengan pusat gravitasi berada di tengah pesawat. PID tuning diperlukan agar pesawat stabil dan dapat dikendalikan. Pengaturan konstanta acro digunakan untuk memastikan tricopter dapat melakukan gerak yawing dengan baik. Pengecekan telemetri dilakukan untuk tujuan misi terbang autonomous. Penelitian ini bertujuan untuk merancang-bangun tilted tail-rotor tricopter dengan misi terbang autonomous antar way-point. Konstanta PID yang digunakan adalah  $K_p = 0.233$ ,  $K_i = 0.233$ , dan  $K_d = 0.013$  untuk roll rate serta  $K_p = 0.350$ ,  $K_i = 0.350$ , dan  $K_d = 0.002$  untuk pitch rate. Konstanta acro yang diamati adalah antara 1 hingga 5. Semakin besar konstanta acro, semakin besar sudut defleksi tail-rotor; sehingga momen yaw pesawat juga semakin besar. Tricopter yang dirancang-bangun dapat melakukan terbang autonomous antar way-point dan melakukan pendaratan otomatis tanpa bantuan pilot.

Kata kunci: tricopter, tilted tail-rotor, konstanta acro

### 1. Pendahuluan

Tricopter merupakan pesawat multirotor dengan tiga lengan. Ada dua jenis tricopter, yaitu tipe tiga rotor dengan rotor belakang dapat dipuntir (tilted tail-rotor) dan tipe enam rotor dengan dua rotor yang berputar berlawanan arah di tiap lengannya.



Gambar 1 Tilted tail-rotor tricopter [1]

Pada jenis pertama (perhatikan Gambar 1), tilted tail-rotor tricopter memiliki dua lengan pada bagian depan. Rotor #1 pada lengan depan kanan berputar searah jarum jam, sedangkan rotor #2 pada lengan depan kiri berputar berlawanan arah jarum jam. Rotor ketiga diletakkan pada lengan belakang berputar berlawanan arah jarum jam. Dua rotor berputar melawan arah jarum jam, tetapi hanya satu rotor yang berputar searah jarum jam. Sesuai dengan hukum momentum putar, maka struktur tricopter jenis ini memiliki kecenderungan berputar searah jarum jam atau gerak yawing ke kanan. Untuk mengimbangi

momen ke arah kanan tersebut, maka rotor bagian belakang tricopter secara default didefleksikan ke arah kanan.

Gerak tilted tail-rotor tricopter dilakukan dengan cara mengatur kecepatan putar ketiga rotor dan tail servo (perhatikan Tabel 1). Pada gerak maju ke depan, tricopter melakukan gerak pitch down. Motor ketiga yang terletak di lengan belakang diputar lebih cepat, sehingga menghasilkan gaya angkat yang lebih besar. Tail servo tetap didefleksikan ke kanan untuk melawan momentum putar struktur tricopter.

**Tabel 1 Hubungan gerak tricopter dengan kecepatan putar ketiga rotor dan tail servo**

Gerak Tricopter	Kecepatan Putar			Gerak Tail Servo
	Rotor #1	Rotor #2	Rotor #3	
hover	tetap	tetap	tetap	tetap
roll kanan	tetap	dipercepat	tetap	tetap
roll kiri	dipercepat	tetap	tetap	tetap
pitch up	dipercepat	dipercepat	tetap	tetap
pitch down	tetap	tetap	dipercepat	tetap
yaw kanan	tetap	tetap	tetap	defleksi ke kiri
yaw kiri	tetap	tetap	tetap	defleksi ke kanan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang-bangun tilted tail-rotor tricopter dengan misi terbang autonomous antar way-point. Pengaruh pengaturan konstanta PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) terhadap kestabilan terbang dan konstanta acro untuk efektivitas gerak yawing juga diteliti.

## 2. Metodologi

Pada penelitian ini dilakukan rancang-bangun tilted tail-rotor tricopter, PID auto-tuning untuk mendapatkan tricopter yang stabil dan terkendali, dan pengaturan konstanta acro agar tricopter dapat responsif terhadap perintah kendali yaw. Pengujian jangkauan telemetri dan pengaturan misi terbang di perangkat lunak Mission Planner dilakukan sebelum uji terbang autonomous antar waypoint dapat dilaksanakan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Rancang-Bangun Autonomous Tricopter v1

Berdasarkan persyaratan dan tujuan perancangan Autonomous Tricopter v1, maka diperoleh spesifikasi sebagai berikut (perhatikan Gambar 2):

Massa take off : 1200 gr

Panjang lengan : 30 cm

Flight controller: Ardupilot Module (APM) 2.8

GPS : U-Blox Module M6N

Brushless motor: Emax XA2122 / 980 Kv

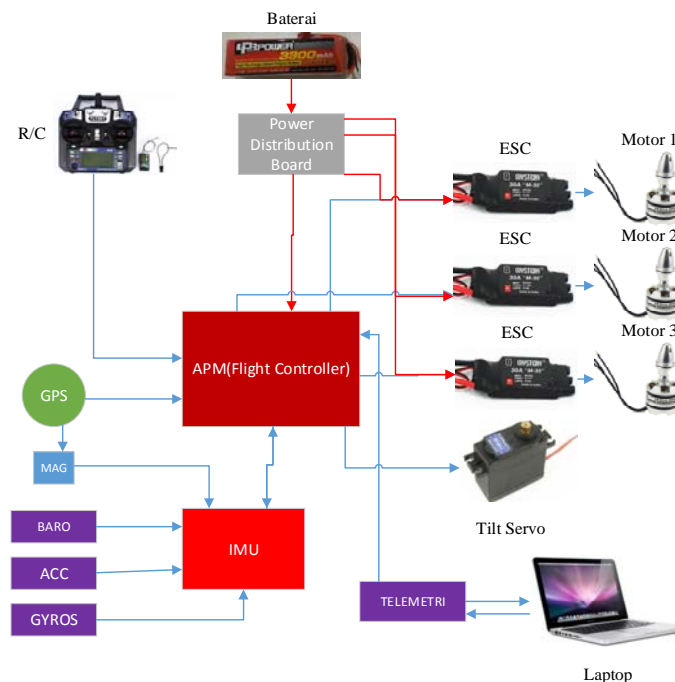
Propeller : Gemfan 10 x 4,5



**Gambar 2.** Hasil rancang-bangun Autonomous Tricopter v1

Seperti diketahui gerak tricopter relatif lebih lincah dibandingkan gerak quadcopter. Dengan demikian, rancang-bangun tricopter harus memastikan pesawat seimbang dengan pusat gravitasi berada di tengah pesawat. Untuk kemudahan perancangan, sudut antar lengan dibuat sebesar 120 derajat dengan dua lengan depan dibuat dapat berayun.

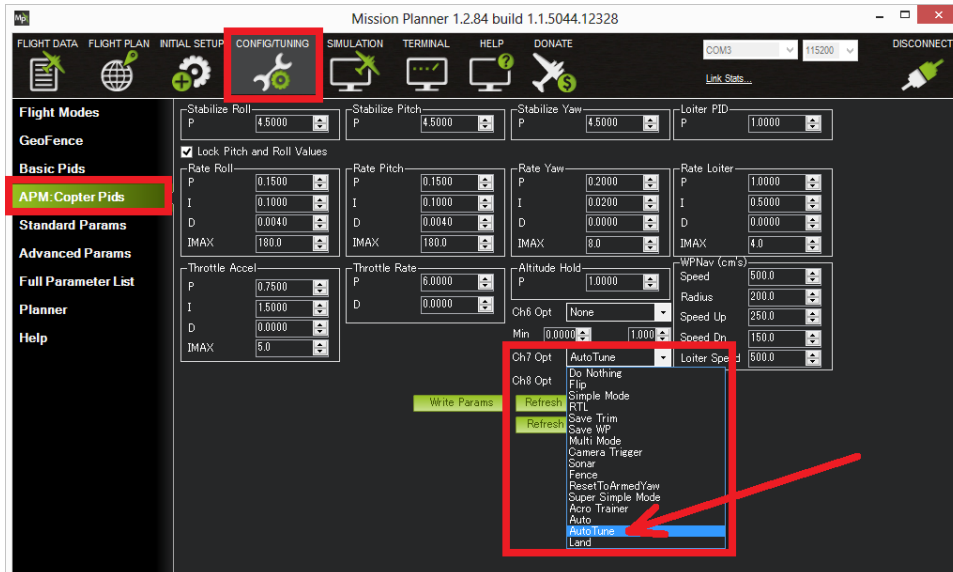
Gambar 3 menunjukkan diagram blok sistem Autonomous Tricopter v1 yang telah dirancang-bangun. Kendali terbang untuk gerak yawing dilakukan oleh tail-rotor. Tail-rotor didefleksi ke kiri atau ke kanan sesuai perintah flight controller yang dikirimkan dalam bentuk sinyal PWM (pulse width modulation) ke tilt servo. Mekanisme kerja servo disematkan pada tail-rotor, sehingga tail-rotor dapat didefleksi. Pengaturan sudut kemiringan tail-rotor dilakukan dengan cara mengubah nilai konstanta *acro* pada perangkat lunak Mission Planner.



Gambar 3. Diagram blok sistem Autonomous Tricopter v1

### 3.2 PID Auto-Tuning

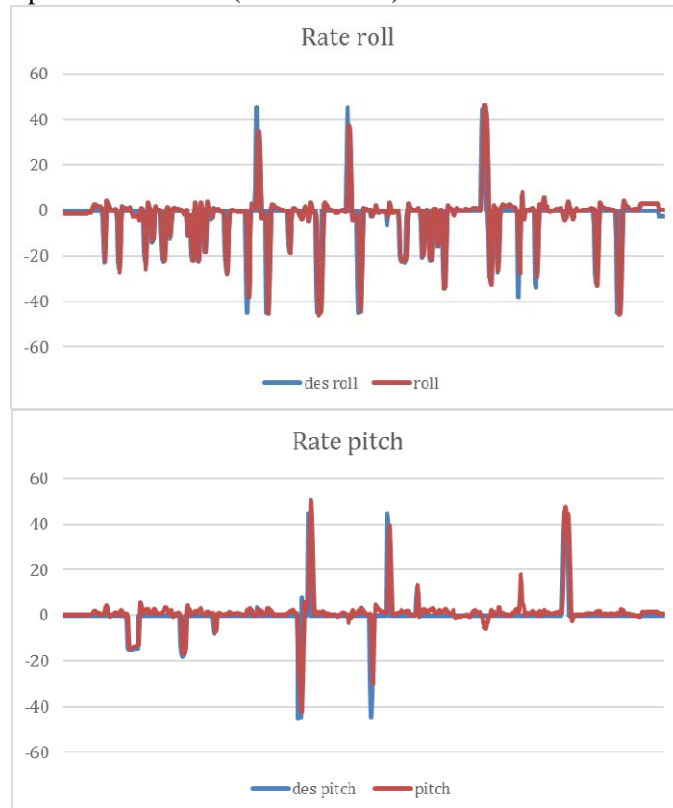
PID auto-tuning dilakukan untuk mendapatkan nilai konstanta PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) yang tepat agar wahana dapat terbang stabil dan terkendali <sup>[2,3]</sup>. Gambar 4 menunjukkan tampilan Mission Planner pada proses autotune PID. Konstanta PID yang diperoleh dari uji terbang PID tuning adalah



Gambar 4. Proses autotune PID pada Mission Planner

$K_p = 0.233$ ,  $K_i = 0.233$ , dan  $K_d = 0.013$  untuk roll rate serta  $K_p = 0.350$ ,  $K_i = 0.350$ , dan  $K_d = 0.002$  untuk pitch rate.

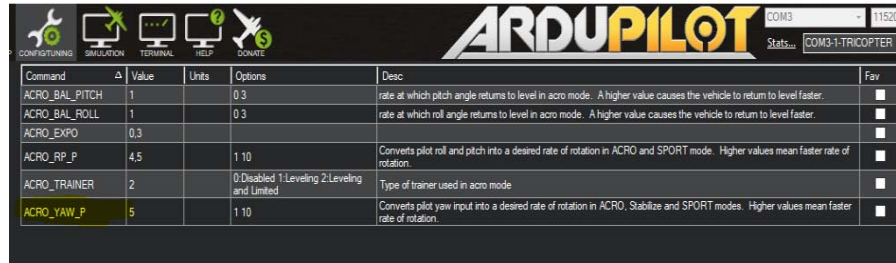
Gambar 5 atas menunjukkan sampling data uji terbang dengan input kendali roll (garis biru) dan respon roll rate (garis merah) tricopter; sedangkan gambar bawah untuk pitch rate tuning. Dari grafik terlihat bahwa proses auto-tuning berhasil dengan baik. Respon gerak tricopter dapat mengikuti setiap gerak input kendali dari pilot melalui RC (radio control).



Gambar 5. Sampling data input dan respon roll rate dan pitch rate pada uji terbang auto-tune konstanta PID

### 3.3 Pengaturan Konstanta Acro

Konstanta acro terkait dengan manuver acrobatic tricopter. Acro mode yang digunakan untuk mengatur gerak yaw tricopter adalah ACRO\_YAW\_P (perhatikan Gambar 6). Tuas kendali yaw pada RC terhubung dengan defleksi tilt servo melalui pengaturan konstanta acro ini. Input nilai konstanta acro berkisar antara 1 hingga 10. Semakin besar konstanta acro, maka semakin cepat laju rotasi (yaw rate). Pada penelitian ini, konstanta acro yang diamati adalah 1, 3, dan 5.



Gambar 6. Pengaturan nilai konstanta acro

Nilai konstanta acro tersebut pada Mission Planner menentukan kecepatan sudut yaw, yaitu gerak rotasi tricopter pada matra direksional. Pengaturan konstanta acro digunakan untuk memastikan tricopter dapat melakukan gerak yawing dengan baik. Semakin besar konstanta acro, maka semakin besar sudut defleksi tail-rotor. Sudut defleksi yang besar menyebabkan vektor gaya dorong pada sumbu-x ( $T_x$ ) yang besar juga, sehingga momen yaw pada tail-rotor semakin besar. Dengan menggunakan nilai konstanta acro = 5, maka sudut maksimum defleksi servo adalah sebesar 28 derajat dan memberikan respon gerak yaw tercepat (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Pemilihan konstanta acro dan momen yaw yang dihasilkan

Konstanta Acro	Sudut Servo (deg)	Thrust (N)	$T_x$ (N)	Momen Yaw (Nm)
1	7.5	4.636	0.605	0.182
3	23	4.631	1.809	0.543
5	28	4.630	2.173	0.652

### 3.4 Uji Telemetri

Telemetri yang digunakan 3D Robotic dengan frekuensi 433 MHz dan terdiri dari dua benda, yaitu air module dan ground module. Air module diletakkan di tricopter dan disambungkan ke flight controller. Ground module dihubungkan ke laptop dan Mission Planner. Dengan demikian, telemetri digunakan untuk mengambil data kondisi tricopter secara real time dan dapat langsung dipantau melalui GCS (*ground control station*).

Uji telemetri dilakukan untuk mengetahui jangkauan telemetri di berbagai tempat dengan kondisi yang berbeda. Transmitter dan receiver diletakkan pada jarak tertentu sampai sinyal telemetri pada Mission Planner menunjukkan angka nol (tidak ada sinyal). Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa penghalang berupa pepohonan atau bangunan mempengaruhi jangkauan telemetri. Demikian juga, saluran udara tegangan ekstra tinggi (Sutet) akan memperpendek jangkauan telemetri. Dari informasi ini, uji terbang autonomous terbaik dilakukan di lapangan terbuka tanpa penghalang dan tidak berada di sekitar Sutet.

Tabel 3. Uji jangkauan telemetri

Test #	Tempat Uji Telemetri		Jangkauan Telemetri (m)	Keterangan
	Air Module	Ground Module		
1	ruang terbuka	ruang terbuka	175.01	tidak ada penghalang
2	ruang terbuka	ruang terbuka	38.72	terhalang bangunan hangar



3	ruang terbuka	ruang terbuka	36.31	terhalang pepohonan
4	ruang terbuka	ruang terbuka	14.16	tidak ada penghalang, terdapat Sutet

### 3.5 Perangkat Lunak Mission Planner

Perangkat lunak yang digunakan dalam uji terbang Autonomous Tricopter v1 adalah Mission Planner yang berfungsi sebagai GCS. Perangkat lunak ini bersifat *open source* dan dapat digunakan pada lingkungan Windows dan Linux. Melalui perangkat lunak ini, firmware untuk tricopter dimasukkan ke flight controller. Gambar 7 menunjukkan tampilan perangkat lunak Mission Planner. Mission Planner ini digunakan untuk setup dan setting tricopter, memantau, serta mengendalikan tricopter dalam melakukan misi terbang autonomous seperti waypoint, loiter, dan tinggi terbang. Koneksi Mission Planner ke flight controller menggunakan telemetry atau USB. Dengan demikian, software ini digunakan untuk mengunduh data terbang serta menganalisis data terbang yang terdapat pada flight controller.

### 3.6 Uji Terbang Tricopter

Penelitian ini bertujuan untuk merancang-bangun tilted tail-rotor tricopter dengan misi terbang autonomous antar way-point. Tricopter yang dirancang-bangun dapat melakukan terbang autonomous antar way-point dan melakukan pendaratan otomatis tanpa bantuan pilot.

Uji terbang autonomous dilakukan dengan misi terbang melalui tiga waypoint. Tricopter telah mampu terbang secara stabil dengan mengikuti waypoint dan menjaga ketinggian terbang sesuai dengan perintah misi terbang yang ditentukan dalam perangkat lunak Mission Planner. Uji terbang autonomous ini diakhiri dengan landing secara otomatis. Tabel 4 menunjukkan rencana misi terbang dan hasil uji terbang autonomous yang telah dilakukan.



Gambar 7. Tampilan perangkat lunak Mission Planner [4]

Tabel 4. Rencana misi terbang dan hasil uji terbang autonomous

Posisi	Rencana Misi Terbang		Hasil Uji Terbang	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Home	-6.872775	107.572968	-6.872775	107.572968
Waypoint #1	-6.872721	107.573013	-6.872718	107.573017

Waypoint #2	-6.872675	107.572960	-6.872672	107.572961
Waypoint #3	-6.872724	107.572914	-6.872720	107.572914
Ketinggian	10 m		10 m	
Waypoint Radius	1 m		1 m	

Berdasarkan perhitungan jarak antar koordinat GPS di atas, diperoleh perbedaan jarak rata-rata antara rencana misi terbang dengan hasil uji terbang autonomous sebesar 0.82 meter. Hal ini menunjukkan uji terbang autonomous berhasil dilakukan dengan baik.

#### 4. Kesimpulan

Tilted tail-rotor tricopter yang dirancang-bangun dapat melakukan terbang autonomous antar waypoint sesuai dengan perintah Mission Planner dan melakukan pendaratan otomatis tanpa bantuan pilot. Berdasarkan pengamatan dan analisis terhadap hasil uji terbang autonomous, maka disimpulkan bahwa tricopter dapat terbang dengan stabil dan terkendali. Kendali terbang PID dan pengaturan konstanta acro yang dipilih sesuai dengan misi terbang tricopter. Konstanta proporsional, integral, dan derivatif yang digunakan adalah  $K_p = 0.233$ ,  $K_i = 0.233$ , dan  $K_d = 0.013$  untuk roll rate serta  $K_p = 0.350$ ,  $K_i = 0.350$ , dan  $K_d = 0.002$  untuk pitch rate. Nilai konstanta acro = 5, menghasilkan sudut maksimum defleksi servo sebesar 28 derajat. Momen yaw yang terjadi 0.652 Nm memberikan respon gerak yaw tercepat.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Ardupilot, *Tricopter*, dilihat 25 April 2018, <[http://ardupilot.org/copter/\\_images/APM\\_2\\_5\\_MOTORS\\_TRI.jpg](http://ardupilot.org/copter/_images/APM_2_5_MOTORS_TRI.jpg)>.
- [2]. Hartono, B. 2017, Fully Autonomous Quadcopter Menggunakan ArduFlyer, *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XVI*, p. TSKP 8-13.
- [3]. Liang, O. *Quadcopter PID Explained*, dilihat 18 September 2018, <<https://oscarliang.com/quadcopter-pid-explained-tuning/>>.
- [4]. Ardupilot, *Mission Planner*, dilihat 25 April 2018, <[http://ardupilot.org/mission\\_planner/](http://ardupilot.org/mission_planner/)>.