

## Penerbangan Otomatis Pesawat Tanpa Awak Sayap Tetap Menggunakan *Flight Controller* Berbasis iNav

### *Automatic Flight of Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle Using Flight Controller Based on iNav*

AURIZA RAHMAD AKBAR<sup>1\*</sup>, ALI IMRON<sup>2</sup>

#### Abstrak

Pesawat tanpa awak (UAV) dapat dikendalikan secara manual dengan *remote control* atau secara otomatis dengan *flight controller* (FC). Sangat sedikit penelitian yang membahas konfigurasi penerbangan otomatis UAV sayap tetap dengan memakai *firmware* iNav. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan penerbangan otomatis pada UAV jenis sayap tetap dengan iNav. UAV yang digunakan adalah model SkySurfer X8 dengan bentang sayap 1.40 m. FC yang digunakan adalah Matek F405-Wing. Metode penelitian ini terdiri atas lima tahap: perakitan, konfigurasi, pengujian, pengambilan dan pemrosesan data, dan analisis data. Berdasarkan hasil uji terbang, UAV berhasil terbang secara otomatis mengikuti skenario yang diberikan. Skenario terpanjang berupa persegi berukuran 600×600 m pada ketinggian 100 m, yang ditempuh dalam waktu sekitar 2 menit dengan kecepatan sekitar 65 km/jam. Hasil dari penelitian ini berupa prosedur perakitan, konfigurasi, operasi, dan hasil data uji terbang diharapkan dapat menjadi acuan dalam penelitian UAV sayap tetap menggunakan iNav.

Kata Kunci: iNav, penerbangan otomatis, pesawat tanpa awak, sayap tetap.

#### Abstract

*Unmanned aerial vehicle (UAV) can be controlled manually using remote control or automatically using flight controller (FC). There was very little study on configuring automatic flight of fixed wing UAV using iNav firmware. Therefore, this study conducted an automatic flight of a fixed wing UAV by configuring an FC hardware using iNav. We used SkySurfer X8 with 1.40 m wing span as the UAV and Matek F405-Wing as the FC. The method of this study consists of: assembly, configuration, testing, data acquisition and processing, and data analysis. Based on the flight test results, the UAV has managed to fly automatically following the given scenario. The longest scenario is a square of 600×600 m at altitude of 100 m, that was finished at around 2 minutes with the speed of around 65 kph. We hope that the procedures of assembling, configuration, operation, dan flight record data that was obtained in this research could be used as a guide to conduct further research on fixed wing UAV using iNav.*

*Keywords: automatic flight, fixed wing, iNav, unmanned aerial vehicle.*

## PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya teknologi pesawat tanpa awak (UAV), kegiatan seperti peninjauan jarak jauh, pencarian sumberdaya, aktivitas penyelamatan, pengawasan alam, dan pemantauan medan perang dapat dilakukan lebih efektif dan efisien (Albaker dan Rahim 2011). Berdasarkan jenis sayapnya, UAV dibagi menjadi jenis sayap tetap, sayap putar, dan sayap gerak. UAV sayap tetap memiliki bentuk seperti pesawat terbang pada umumnya, yaitu memiliki sepasang sayap yang terpasang tetap. Sayap tetap memiliki kelebihan jangkauan lebih jauh dengan kecepatan konstan meski terkena hembusan angin (Ariyanto *et al.* 2017). UAV dapat dikendalikan dengan jarak jauh melalui gelombang radio. UAV dapat dikendalikan secara manual melalui *radio control* (RC) atau secara otomatis dengan *flight controller* (FC). Pada

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Komputer, FMIPA, Institut Pertanian Bogor

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Komputer, FMIPA, Institut Pertanian Bogor

\*Penulis Korespondensi. Surel: [auriza@apps.ipb.ac.id](mailto:auriza@apps.ipb.ac.id)

kendali otomatis, UAV dapat terbang sendiri dari titik satu ke titik lainnya sesuai dengan rencana yang telah diprogram pada FC sebelum terbang (Saroinsong *et al.* 2018).

Penelitian mengenai UAV sayap tetap telah banyak dilakukan. Penelitian tersebut antara lain membahas tentang navigasi otomatis UAV dengan GPS *waypoint* (Hidayat dan Mardiyanto 2016), perancangan UAV dengan material murah (Ariyanto *et al.* 2017), navigasi otomatis UAV berbasis Ardupilot (Saroinsong *et al.* 2018), dan pemetaan udara dengan UAV sayap tetap (Muliadi dan Subagya 2019). Namun sangat sedikit penelitian yang membahas iNav untuk penerbangan otomatis UAV sayap tetap. iNav adalah salah satu *firmware* FC yang bersifat *open source* dengan antarmuka yang mudah (Ebeid *et al.* 2018). Peneliti hanya menemukan satu publikasi yang terbit setelah penelitian ini selesai dilakukan, yaitu dari Lienkov *et al.* (2020).

Penelitian ini melakukan konfigurasi FC dengan *firmware* iNav untuk penerbangan otomatis pada UAV sayap tetap. Hasil dari penelitian ini berupa prosedur perakitan, konfigurasi, operasi, dan data terbang yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan dalam melakukan penerbangan otomatis UAV jenis sayap tetap menggunakan iNav.

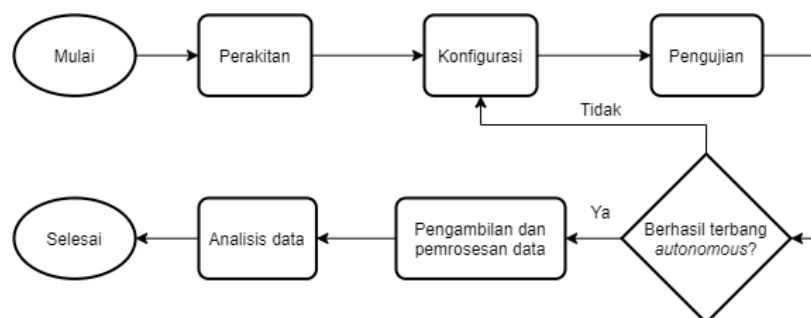
## METODE

UAV yang digunakan dalam penelitian ini adalah UAV SkySurfer X8 dengan *flight controller* (FC) Matek F405-Wing yang dikonfigurasi dengan iNav. Konfigurasi hanya fokus pada penerbangan otomatis mengikuti *waypoint* GPS. Pengujian terbang dilakukan pada ketinggian 50 dan 100 m dengan luas area yang masih dalam jangkauan sinyal RC. Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1.

### Perakitan

Komponen yang digunakan pada sistem UAV dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Kerangka UAV, terdiri atas beberapa bagian yaitu badan pesawat, sepasang sayap, sayap ekor, dan sirip ekor yang terbuat dari bahan *expanded polyolefin* (EPO).
- 2 Motor dan propeler, motor yang digunakan jenis *brushless* dengan ukuran yang relatif kecil dengan putaran yang tinggi. Propeler yang digunakan berukuran 5×5 inci dengan 3 bilah.
- 3 Baterai, jenis *lithium-ion polymer* (LiPo) 3 sel serial berkapasitas 3300 mAh. Tegangan maksimum tiap sel baterai 4.2 V yang berarti tegangan totalnya sebesar 12.6 V.
- 4 *Electronic speed controller* (ESC), adalah komponen yang menghubungkan baterai dengan motor. Arus searah dari baterai akan diubah oleh ESC menjadi arus bolak-balik untuk menggerakkan motor *brushless*. ESC bertanggung jawab mengatur keluaran daya dan kecepatan motor sebagai respon terhadap masukan dari sinyal *throttle*.
- 5 Servo, merupakan aktuator yang terdiri atas motor dan serangkaian gir yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup. Pada UAV sayap tetap terdapat 4 buah servo untuk mengontrol sepasang aileron, elevator, dan *rudder*.



Gambar 1 Diagram alir penelitian.

- 6 *Receiver* dan *transmitter*, *receiver* yang digunakan tipe FS-iA6B yang mendukung koneksi analog *pulse position modulation* (PPM) 6 kanal atau koneksi digital iBUS 18 kanal. Penelitian ini menggunakan koneksi iBUS karena dibutuhkan minimal 10 kanal untuk kendali terbang otomatis. *Transmitter* yang digunakan tipe FS-i6 yang mendukung hingga 10 kanal. Untuk menghubungkan *receiver* dengan *transmitter* diperlukan proses *binding*.
- 7 *Flight controller* (FC), merupakan otak dari UAV yang mampu mengendalikan kemampuan terbang UAV. FC merupakan komponen utama dalam melakukan penerbangan otomatis UAV. Dalam perakitan FC dihubungkan dengan komponen-komponen lain seperti baterai, ESC, GPS, servo, *receiver*, dan kamera dengan baik dan benar. Jika terjadi kesalahan pemasangan dapat mengakibatkan kerusakan. FC yang digunakan adalah Matek F405-Wing yang khusus didesain untuk UAV sayap tetap.
- 8 *Global positioning system* (GPS), digunakan untuk menentukan posisi UAV dan membantu dalam mode terbang otomatis. Penerima sinyal GPS yang digunakan merupakan tipe Beitian BN-880 yang didalamnya juga terdapat sensor magnetometer untuk penunjuk arah.
- 9 Kamera, jenis *action camera* tipe Mobius Mini v2 yang kecil dan ringan. Kamera berguna untuk melakukan perekaman atau pengambilan foto udara pada saat UAV terbang. Selain itu, kamera jenis ini dapat digunakan untuk fitur *on screen display* (OSD) yang merupakan suatu fitur untuk mengendalikan UAV dari sudut pandang pilot.
- 10 *Video transmitter* (VTX) dan *video receiver*, VTX berguna untuk mengirim sinyal video yang diambil oleh modul kamera yang terpasang pada UAV. Pancaran sinyal video akan ditangkap oleh perangkat *video receiver* yang terhubung ke *smartphone* atau laptop. Dengan mengaktifkan fitur OSD, berbagai informasi pada UAV seperti kapasitas baterai, sikap pesawat, jarak, dan ketinggian dapat dilihat pada layar monitor.

### Konfigurasi

Pada tahap kedua dilakukan konfigurasi terhadap FC dan pembuatan *waypoints* sebagai jalur terbang UAV. Konfigurasi dilakukan dengan perangkat lunak iNav Configurator. Pertama kali yang perlu dilakukan dalam konfigurasi FC yaitu melakukan *firmware flash* dengan menggunakan iNav Configurator. *Flashing* dapat dilakukan melalui mode *device firmware upgrade* (DFU). Untuk masuk ke dalam mode DFU dapat dilakukan dengan menahan tombol DFU pada FC sekaligus menghubungkannya ke laptop melalui USB. Penelitian ini menggunakan iNav versi 2.5 dan *firmware* versi 2.5.1.

Dalam proses konfigurasi UAV sayap tetap diperlukan konfigurasi dari menu-menu pada iNav sebagai berikut:

- 1 *Setup*. Pada menu ini dapat mengetahui posisi papan FC disertai gambar 3D dan besar sudut *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Terdapat juga informasi mengenai *pre-arming checks*, baterai, dan posisi GPS. Sebelum melakukan pengujian terbang perlu diperhatikan pada informasi *pre-arming checks*, semua opsi harus dalam kondisi centang hijau, apabila terdapat beberapa kondisi silang merah maka motor tidak dapat berfungsi. Hal tersebut diterapkan demi keamanan penerbangan UAV.
- 2 *Calibration*. Pada menu ini diperlukan kalibrasi terhadap sensor akselerometer dan kompas. Saat dilakukan kalibrasi akselerometer, FC perlu diubah-ubah posisinya sesuai langkah dan gambar yang diberikan. Pada saat kalibrasi kompas, modul GPS perlu dilakukan pemutaran ke segala arah.
- 3 *Mixer*. Pada menu ini konfigurasi UAV sayap tetap memakai *mixer* jenis *airplane* dengan 1 buah motor dan 4 buah servo penggerak sayap. Konfigurasi gerak servo perlu disesuaikan dengan RC mode 2. Perlu diperhatikan pada bagian servo *mixer*, konfigurasi masukan pada servo harus menggunakan *stabilized roll*, *pitch*, dan *yaw* yang bertujuan agar mode stabil maupun mode otomatis dapat berjalan.
- 4 *Outputs*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi pada servo. Semua servo pada UAV sayap tetap diatur *reverse*, agar kontrol UAV sesuai dengan yang direkomendasikan oleh iNav. Konfigurasi titik tengah servo dilakukan secara otomatis memakai mode SERVO AUTOTRIM.

- 5 *Presets*. Pada menu ini menyediakan konfigurasi *default* dari berbagai jenis UAV seperti sayap terbang, multirotor, dan pesawat terbang. Konfigurasi jenis sayap tetap menggunakan *preset* jenis *airplane general*. Dengan menggunakan *preset*, maka nilai *rate*, PID, dan *gyro filtering* akan disesuaikan dengan jenis UAV yang dipilih.
- 6 *Ports*. Menu ini berguna untuk mengaktifkan modul yang terpasang pada FC seperti GPS, VTX, kamera, dan *receiver*. Dalam melakukan konfigurasi pada menu ini, harus memperhatikan pemasangan kabel modul pada FC.
- 7 *Configuration*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi modul GPS dan sensor magnetometer yang berguna sebagai penunjuk arah. Selain itu, diperlukan konfigurasi *receiver* untuk menghubungkan UAV ke RC dengan menggunakan mode iBUS. Posisi pemasangan papan FC dan GPS pada UAV dapat diatur pada menu ini. Misalnya jika posisi pemasangan papan FC terbalik bagian depan menjadi bagian belakang, maka derajat *yaw* diubah dari 0° menjadi 180°. Begitu juga dengan pemasangan GPS yang terbalik, maka perlu konfigurasi *alignment* magnetometer diatur dari 0° menjadi CW 0° *flip*.
- 8 *Failsafe*. Konfigurasi *failsafe* memiliki beberapa pilihan yaitu *drop*, *land*, dan RTH. Apabila UAV terbang terlalu jauh atau kehilangan sinyal dari RC, mode *failsafe* akan aktif dengan sendirinya sesuai konfigurasi yang telah ditentukan.
- 9 *PID tuning*. Pada menu ini tidak dilakukan konfigurasi manual melainkan menggunakan konfigurasi otomatis dengan mengaktifkan mode AUTOTUNE pada menu *modes*.
- 10 *Advanced tuning*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi terhadap ketinggian pada mode RTH, *auto landing*, nilai *throttle* minimum dan maksimum, nilai *throttle* pada mode otomatis, sudut kemiringan UAV, dan radius putar pada mode NAV POSHOLD.
- 11 *Receiver*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi *receiver* mode iBUS yang mendukung hingga 18 kanal, namun RC FS-i6 yang digunakan hanya mendukung 10 kanal.
- 12 *Modes*. Penelitian ini memakai 10 mode yang bisa dilihat pada Tabel 1.
- 13 *Mission Control*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi penentuan *waypoints* yaitu titik-titik koordinat lintang dan bujur yang akan dilalui. UAV akan terbang otomatis mengikuti jalur saat mode NAV WP diaktifkan. Skenario jalur UAV dapat dilihat pada Tabel 2.
- 14 *Blackbox*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi *blackbox* untuk menyimpan data terbang. Media penyimpanan yang digunakan berupa microSD yang terpasang pada FC.
- 15 *CLI*. Pada menu ini dilakukan konfigurasi melalui perintah teks untuk mengganti nilai variabel yang tidak terdapat dalam tampilan antarmuka iNav.

Konfigurasi juga dilakukan pada RC untuk mendukung uji terbang otomatis, yaitu dengan cara memodifikasi *firmware* RC agar mendukung 10 kanal untuk kontrol pada beberapa mode terbang yang telah terkonfigurasi.

Tabel 1 Mode yang digunakan

Mode	Fungsi
ARM	Mengaktifkan sistem UAV
ANGLE	Membatasi nilai <i>roll</i> dan <i>pitch</i> agar terbang stabil
SERVO AUTOTRIM	Mengatur nilai tengah servo agar dapat terbang lurus dengan baik
AUTOTUNE	Mengatur nilai <i>proportional</i> , <i>integral</i> , dan <i>feed forward</i> agar manuvernya baik
NAV ALTHOLD	Terbang dengan mempertahankan ketinggian
NAV POSHOLD	Terbang di tempat berkeliling sesuai radius tertentu
NAV LAUNCH	Lepas landas secara semi-otomatis
NAV WP	Terbang otomatis mengikuti <i>waypoints</i> yang ditentukan
RTH	Terbang kembali ke titik awal
BLACKBOX	Merekam data terbang

Tabel 2 Skenario jalur UAV

Skenario	Jalur	Putaran	Ketinggian	Kecepatan	Jarak
1	Persegi 200 m (200×200 m)	3 kali	50 m	20 m/s	2400 m
2	Persegi 600 m (600×600 m)	1 kali	100 m	24 m/s	2400 m
3	Zig-zag 600 m (4×600 m)	1 kali	100 m	24 m/s	2400 m

## Pengujian

Pengujian dilakukan di lapangan jalan Bojong Sari, Ciapus, Bogor pada bulan Juli 2020. Jika pengujian tidak berhasil maka akan dilakukan konfigurasi ulang. Pengujian dilakukan pada pagi hari untuk meminimalisir pengaruh lingkungan luar seperti angin kencang.

## Pengambilan dan Pemrosesan Data

Data terbang tersimpan pada *blackbox* microSD yang terpasang di FC. Beberapa atribut data terbang diproses untuk mendapatkan data visual yang berupa jalur terbang dan grafik. Data tersebut masih bertipe TXT, sehingga diperlukan dekode dengan perangkat lunak Blackbox Tools untuk mendapatkan data dengan format CSV dan GPX.

## Analisis Data

Data terbang berformat CSV diproses menggunakan RStudio untuk menghasilkan grafik yang akan memudahkan analisis. Analisis data bertujuan untuk mengetahui apakah *attitude* (sikap) dan jalur terbang yang dilewati UAV sudah sesuai dengan yang diharapkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

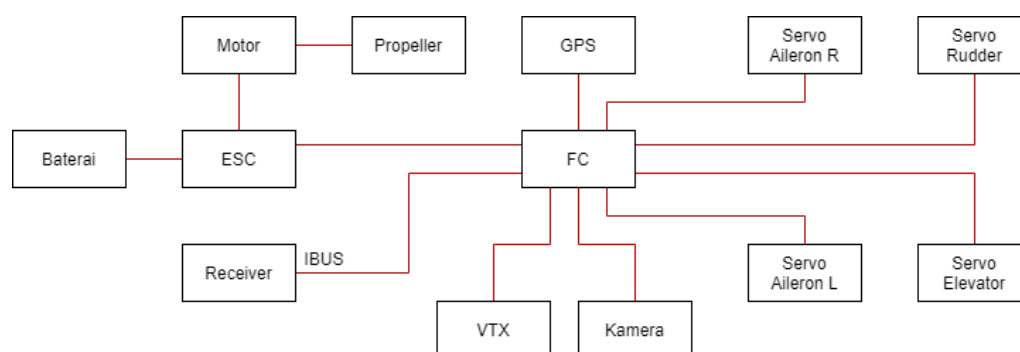
### Perakitan

Untuk melakukan uji terbang otomatis dilakukan perakitan sesuai dengan rangkaian dan memperhatikan pemasangan kabel, yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Pada proses perakitan terdapat konektor yang berbeda yaitu pada GPS, VTX, dan kamera yang menggunakan konektor jenis JST sedangkan port pada FC berjenis konektor Dupont. Oleh karena itu, diperlukan penggantian konektor agar komponen tersebut terhubung ke FC. Komponen-komponen UAV yang telah dirakit saling terintegrasi menjadi UAV yang utuh dengan berat total 875 gram. Semua komponen dapat berfungsi dengan baik namun kualitas video yang dihasilkan dari VTX tidak terlalu bagus dan jangkauannya tidak terlalu luas. Oleh karena itu, dilakukan pelepasan modul VTX dan pada penelitian ini tidak memakai fitur OSD.

### Konfigurasi

Beberapa parameter CLI yang digunakan dalam penelitian ini beserta deskripsinya dapat dilihat pada Tabel 3. Parameter *launch* diatur agar UAV dapat lepas landas secara otomatis dengan dilemparkan ke udara dengan. Batas jarak aman diperjauh menjadi 650 m agar UAV dapat menempuh *waypoint* yang diskenariokan.

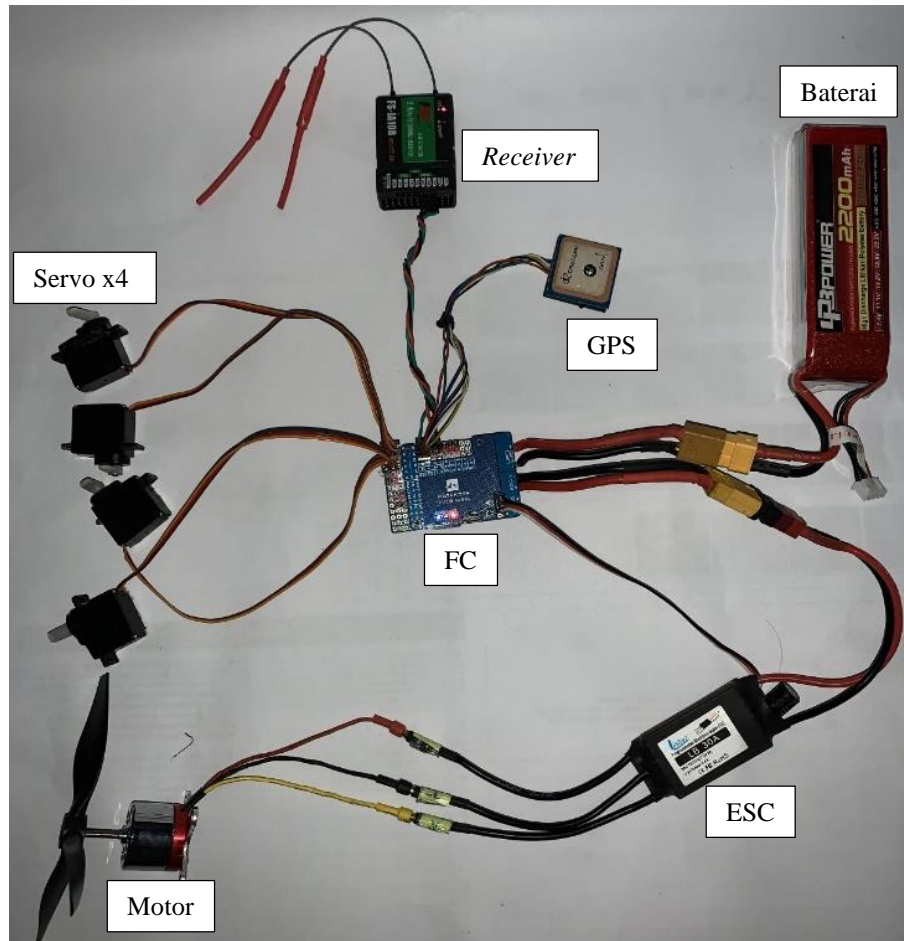
Alokasi penggunaan kanal RC dapat dilihat pada Gambar 4. Kanal 1–4 digunakan untuk kendali manual, sedangkan sisanya untuk memilih mode navigasi dan mode tambahan lainnya. Penjelasan tiap mode dapat dilihat pada Tabel 1. Skenario terbang dimasukkan pada menu *Mission Control* yang bentuknya pada peta dapat dilihat pada Gambar 5.



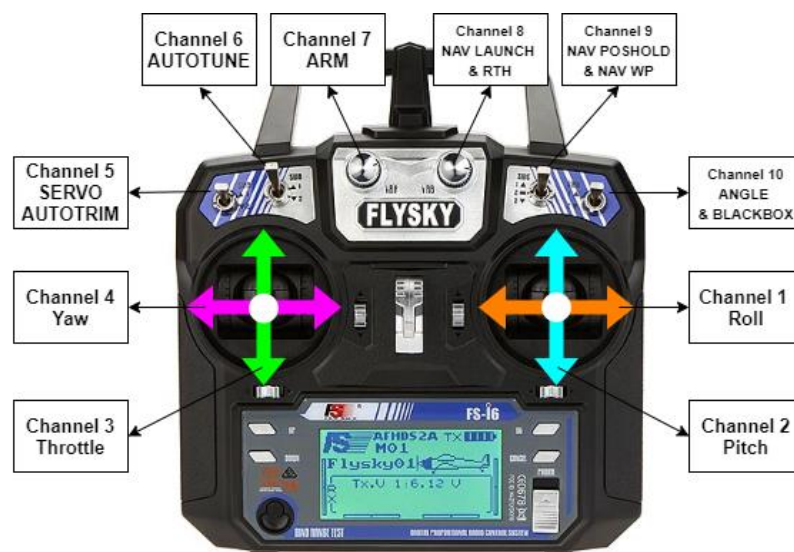
Gambar 2 Bagan rangkaian UAV dengan FC.

Tabel 3 Konfigurasi parameter melalui CLI

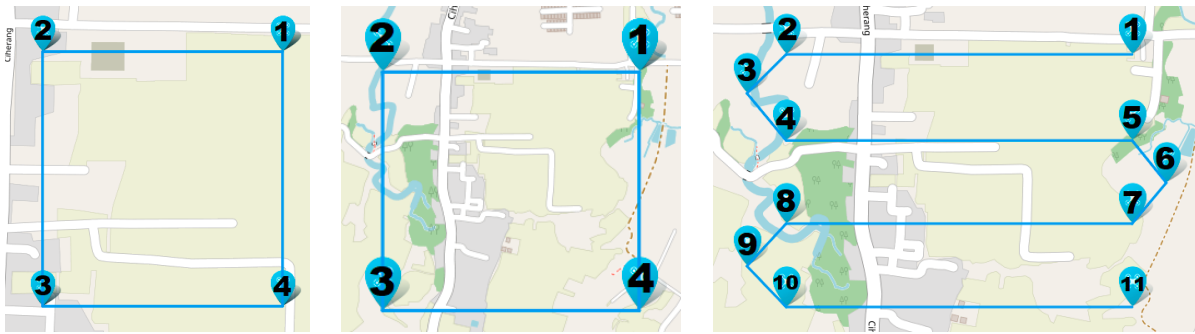
Parameter	Nilai awal	Deskripsi
nav_fw_launch_velocity=150	300	Ambang kecepatan untuk deteksi peluncuran (cm/s)
nav_fw_launch_thr=1900	1700	Kecepatan yang digunakan selama mode NAV LAUNCH (0-2000)
nav_fw_launch_motor_delay=0	500	Waktu tunda antara deteksi peluncuran dan <i>throttle</i> naik (ms)
nav_fw_launch_timeout=10000	5000	Waktu NAV LAUNCH berjalan (ms)
nav_wp_safe_distance=65000	10000	Batas jarak aman pada mode NAV WP (cm)
nav_fw_control_smoothness=7	0	Memperhalus gerakan manuver



Gambar 3 Pemasangan komponen ke FC.



Gambar 4 Alokasi penggunaan kanal pada RC.



Gambar 5 Bentuk jalur UAV skenario 1, 2, dan 3.



Gambar 6 Pengecekan keseimbangan pada titik pusat berat.

## Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menerbangkan UAV secara otomatis. Prosedur dan rekaman penerbangan otomatis dapat dilihat di [youtu.be/0NaYGrkUch0](https://youtu.be/0NaYGrkUch0) dan [youtu.be/CgfaO-T9RyI](https://youtu.be/CgfaO-T9RyI).

**Pengecekan pra-terbang.** Sebelum melakukan pengujian terbang terhadap UAV jenis sayap tetap terdapat hal-hal yang harus diperhatikan sebagai berikut:

- 1 Memastikan komponen terpasang dengan baik.
- 2 Memastikan GPS sudah dalam keadaan terkunci.
- 3 Memastikan sayap sudah terkunci dengan baik.
- 4 Mengetahui letak titik *center of gravity* (CG) UAV.
- 5 Memastikan distribusi berat sudah seimbang pada titik CG, lihat Gambar 6.
- 6 Memperhatikan arah angin ketika akan lepas landas, dengan mengarahkan UAV ke arah datangnya angin yang akan menambah gaya angkat.

**Prosedur penerbangan otomatis.** Langkah-langkah dalam melakukan penerbangan otomatis UAV sayap tetap adalah sebagai berikut.

- 1 Aktifkan NAV LAUNCH, lalu aktifkan ARM
- 2 Set *throttle* maksimum
- 3 Aktifkan ANGLE dan BLACKBOX
- 4 Lepas landas dengan *hand launch* (dilempar), motor akan otomatis hidup dan UAV akan lepas landas secara otomatis
- 5 Aktifkan SERVO AUTOTRIM saat UAV terbang lurus
- 6 Aktifkan AUTOTUNE, lakukan manuver beberapa menit, lalu matikan AUTOTUNE
- 7 Aktifkan POSHOLD agar UAV terbang memutar di tempat
- 8 Aktifkan NAV WP untuk melakukan misi terbang otomatis
- 9 Aktifkan RTH agar UAV kembali ke titik asal, lalu daratkan secara manual

**Penyebab penerbangan otomatis berhenti.** Mode terbang otomatis akan mati dengan sendirinya jika dalam kondisi sebagai berikut:

- Sinyal GPS hilang, akan beralih ke mode pendaratan darurat
- Jarak *waypoint* terlalu jauh dari *home*, melebihi nilai *nav\_wp\_safe\_distance*.
- Pilot secara manual mematikan mode NAV WP atau mengaktifkan mode RTH.
- Misi telah selesai.

**Jangkauan terbang maksimal.** Pengujian terbang otomatis penelitian ini jangkauan terjauhnya sekitar 600 m dari titik *home*. Titik ini merupakan titik awal saat mode ARM diaktifkan untuk menghidupkan sistem UAV. Penerbangan otomatis dapat menjangkau lebih dari 650 m dengan mengatur nilai *nav\_wp\_safe\_distance* menjadi 0, sehingga batas jarak aman diabaikan. Hal ini tidak disarankan karena pada jarak tersebut UAV sudah tidak terlihat oleh pilot di darat.

### Pengambilan dan Pemrosesan Data

Data terbang hasil pengujian terbang UAV secara otomatis tersimpan di microSD yang terpasang pada FC. Data tersebut bertipe TXT dan diperlukan proses decode dengan menggunakan perangkat lunak Blackbox Tools. Dari proses ini, diperoleh beberapa data yang memiliki tipe data CSV dan GPX. Data bertipe GPX merupakan data GPS *tracking* yang bisa dibaca dengan perangkat lunak geografis. Terdapat 2 data terbang bertipe CSV yaitu data kontrol UAV dan data GPS, yang masing-masing memiliki 105 atribut dan 14 atribut. Beberapa atribut penting diproses menggunakan RStudio kemudian dilakukan analisis. Deskripsi beberapa atribut yang diambil untuk dilakukan pemrosesan data dapat dilihat pada Tabel 4.

Selain itu dilakukan juga pengambilan sampel foto udara pada ketinggian 100 m di atas tanah dengan kamera aksi Mobius Mini v2 yang berlensa lebar. Kamera diprogram untuk mengambil foto tiap detik dan disimpan di microSD lokal kamera. Dengan lensa ini foto udara yang dihasilkan mengalami distorsi. Hal tersebut bisa diatasi dengan filter *lens distortion* pada perangkat lunak GIMP. Hasil pemrosesan foto udara dapat dilihat pada Gambar 6. Masalah yang ditemui yaitu kamera belum memiliki gimbal yang mengakibatkan sudut kamera tidak konsisten. Hal ini akan menyulitkan proses penyambungan citra udara lebih lanjut.

Tabel 4 Atribut data terbang yang dianalisis

Atribut	Deskripsi
<i>attitude</i> [0]	Sudut <i>roll</i> UAV dalam derajat (kiri: -, kanan: +)
<i>attitude</i> [1]	Sudut <i>pitch</i> UAV dalam derajat (atas: -, bawah: +)
<i>attitude</i> [2]	Sudut arah UAV dalam derajat (utara: 0°)
<i>baroAlt</i> (cm)	Ketinggian UAV di atas permukaan tanah
<i>GPS_coord</i> [0]	Titik <i>latitude</i> yang dilewati UAV
<i>GPS_coord</i> [1]	Titik <i>longitude</i> yang dilewati UAV
<i>GPS_speed</i> (m/s)	Kecepatan UAV saat terbang
<i>rcCommand</i> [3]	Besar perubahan pada posisi <i>stick RC throttle</i>
<i>vbat</i>	Tegangan listrik baterai
<i>amperage</i>	Arus listrik yang dipakai



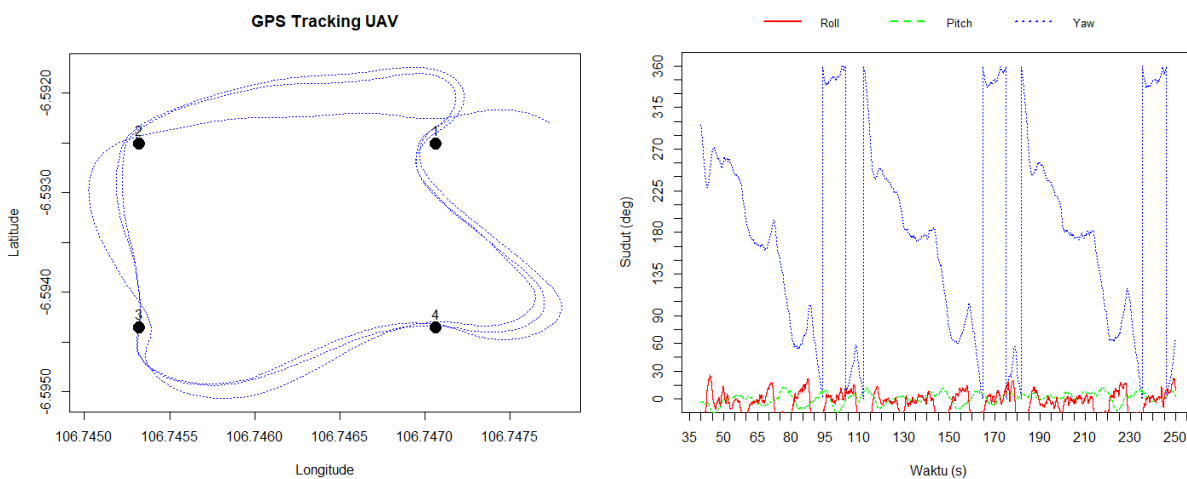
Gambar 7 Foto udara sebelum dan sesudah pemrosesan citra distorsi lensa.



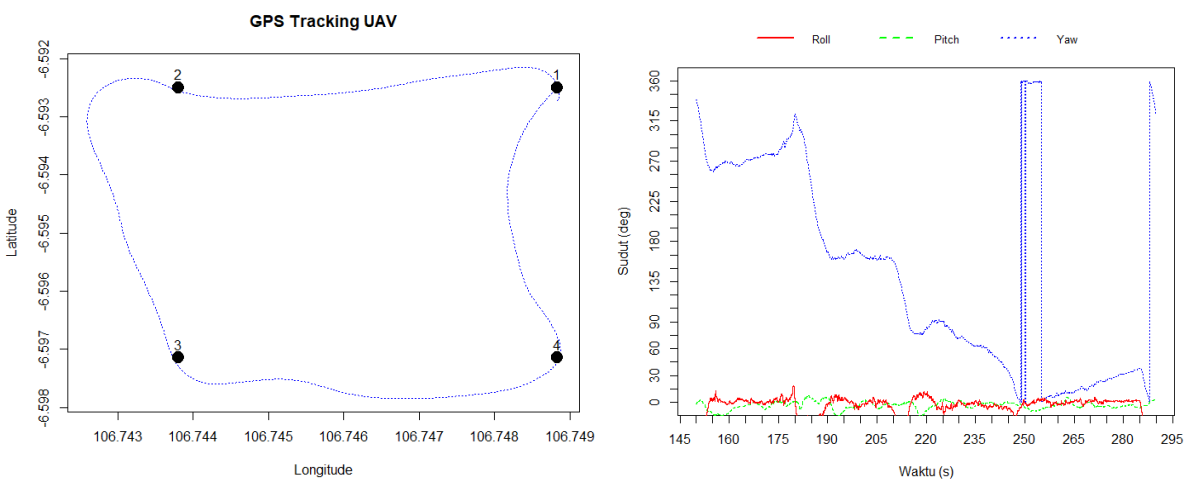
**Analisis Data**

**Skenario 1.** Pengujian dilakukan dengan jalur UAV persegi 200×200 m. Pada mode otomatis, didapatkan nilai *throttle* berada pada kisaran 52%. Adapun nilai ketinggian berada pada kisaran 50 m dan kecepatan maksimum 20 m/s sesuai dengan yang direncanakan. Rataan konsumsi daya pada mode ini sekitar 72 W. Visualisasi data *tracking* GPS dan *attitude* yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 7. Data *tracking* (biru) menunjukkan bahwa UAV mampu terbang secara otomatis melewati *waypoints* (hitam) sebanyak 3 kali putaran. Terlihat jalur yang dilewati tidak berbentuk persegi sempurna karena adanya pengaruh angin dari arah utara. *Attitude* untuk sudut *roll* dan *pitch* tidak melebihi 30° karena UAV terbang dalam mode ANGLE. Nilai sudut *yaw* terlihat bahwa UAV berputar berlawanan arah jarum jam sebanyak 3 kali. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan arah ke barat (270°), selatan (180°), timur (90°), dan utara (0°/360°) dengan pola berulang.

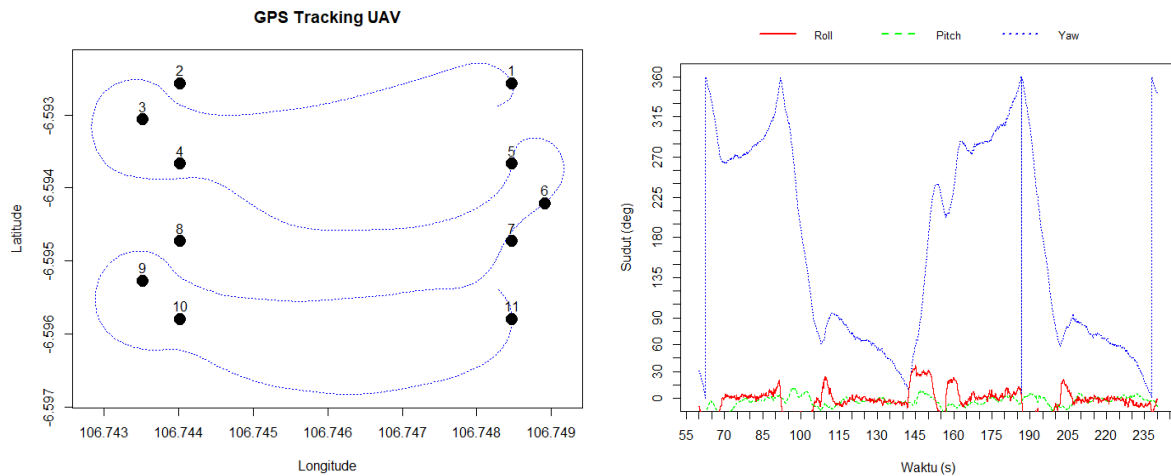
**Skenario 2.** Pengujian dengan jalur UAV persegi 600×600 m. Pada mode otomatis, nilai *throttle* berada pada kisaran 63%. Adapun nilai ketinggian berada pada kisaran 100 m dan kecepatan maksimum 24 m/s sesuai dengan yang direncanakan. Rataan konsumsi daya pada mode ini sekitar 117 W. Visualisasi data *tracking* dan *attitude* yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 8. Data *tracking* menunjukkan bahwa UAV mampu terbang secara otomatis melewati *waypoints* sebanyak sekali putaran. Hal ini dapat dilihat juga pada grafik sudut *yaw* bahwa UAV berputar berlawanan arah jarum jam dari barat ke selatan, timur, lalu ke utara.



Gambar 8 *Tracking* GPS dan *attitude* pada skenario 1.



Gambar 9 *Tracking* GPS dan *attitude* pada skenario 2.



Gambar 10 Tracking GPS dan attitude pada skenario 3.

**Skenario 3.** Pengujian dilakukan dengan jalur UAV zig-zag sepanjang 600 m. Pada mode otomatis, nilai *throttle* berada pada kisaran 63%. Adapun nilai ketinggian berada pada kisaran 100 m dan kecepatan maksimum 24 m/s sesuai dengan yang direncanakan. Rataan konsumsi daya pada mode ini sekitar 109 W. Visualisasi data *tracking* dan *attitude* yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 9. Data *tracking* menunjukkan bahwa terdapat 6 dari 11 titik yang tidak akurat dilewati UAV. Hal tersebut dapat terjadi karena pengaruh angin dan sudut *roll* UAV yang dibatasi maksimal 30° (mode ANGLE) dalam melakukan manuver berbelok. Pada grafik sudut *yaw* terlihat bahwa UAV terbang secara zig-zag dari arah barat (270°) lalu ke timur (90°) sebanyak 2 kali ulangan.

## SIMPULAN

Penerbangan otomatis UAV jenis sayap tetap dengan *firmware* iNav telah berhasil dilakukan. UAV telah berhasil terbang otomatis mengikuti skenario yang diberikan. Skenario terjauh berupa persegi 600×600 m pada ketinggian 100 m, yang ditempuh dalam waktu sekitar 2 menit dengan rata-rata kecepatan 65 km/jam. Untuk skenario zig-zag, beberapa *waypoint* gagal dilewati dengan sempurna karena pengaruh angin dan batasan sudut manuver. Meskipun demikian, UAV telah berhasil mengikuti jalur yang ditentukan dari awal sampai akhir dengan baik. Diharapkan prosedur perakitan, konfigurasi, operasi, dan hasil data uji terbang yang telah dilakukan dapat menjadi acuan untuk penelitian UAV sayap tetap selanjutnya.

Beberapa perbaikan yang dapat dilakukan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut. Peletakan *waypoint* perlu dirancang dengan memperhatikan kemampuan manuver UAV, jika terlalu berdekatan maka UAV tidak memiliki ruang yang cukup untuk bermanuver. Selain itu, kecepatan maksimum juga perlu dibatasi agar kemampuan manuver dan konsumsi baterai optimal. Untuk pengambilan citra udara, kamera perlu dilengkapi dengan gimbal agar sudutnya konstan, sehingga citra udara lebih mudah untuk digabungkan. Terakhir, perlu penambahan sistem kendali dan telemetri jarak jauh jika ingin terbang otomatis dengan jangkauan lebih dari 1 km, karena pada jarak tersebut UAV sudah tidak terlihat lagi oleh pilot di darat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albaker B, Rahim NA. 2011. Flight path PID controller for propeller-driven fixed-wing unmanned aerial vehicles. *IJPS*. 6(8):1947-1964. doi: 10.5897/IJPS11.162
- Ariyanto M, Setiawan JD, Munadi, Parabowo T. 2017. Uji terbang autonomous low cost fixed wing UAV menggunakan PID compensator. *Rotasi*. 19(4):231-236. doi: 10.14710/rotasi.19.4.231-236

- Ebeid E, Skriver M, Terkildsen KH, Jensen K, Schultz UP. 2018. A survey of open-source UAV flight controllers and flight simulators. *Microprocessors and Microsystems*. 61:11-20. doi: 10.1016/j.micpro.2018.05.002.
- Gong A, Verstraete D. 2017. Experimental testing of electronic speed controllers for UAVs. Di dalam: *53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*. doi: 10.2514/6.2017-4955
- Hazim M. 2019. Rancang bangun autonomous UAV berjenis quadcopter dengan mikrokontroler Pixhawk [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hidayat R, Mardiyanto R. 2016. Pengembangan sistem navigasi otomatis pada UAV (unmanned aerial vehicle) dengan GPS (global positioning system) waypoint. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2):898-903.
- Hoffman M, Schlesinger S, Lau M. 2019. iNav modes: how they work and how to set up. [diakses 2020 Feb 6]. [github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/INAV\\_Modes.pdf](https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/INAV_Modes.pdf)
- Hoffman M, Schlesinger S. 2019. Set up autolaunch correctly. [diakses 2020 Feb 6]. [github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/INAV\\_Autolaunch.pdf](https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/INAV_Autolaunch.pdf)
- Indrawan SK, Hadary F, Hartoyo A. 2018. Rancang bangun robot terbang penghindar halangan dalam ruangan bersekat. *Elkha*. 10(2):82-87. doi: 10.26418/elkha.v10i2.27870
- Lienkov S, Myasishev A, Banzak O, Komarova L, Lytvynenko N, Miroshnichenko O. 2020. Construction of an aircraft-type UAV for flight along a given trajectory in the automatic mode. *IJETER*. 8(9):6145-6150. doi: 10.30534/ijeter/2020/200892020
- Lytvynenko N, Myasishev O, Lienkov S, Husak Y, Starynskiy I. 2020. Designing of the aero video intelligence on the STM32H microcontrollers basis. *IJITEE*. 9(8):88-93. doi: 10.35940/ijitee.H6176.069820
- Muliady, Subagya EJ. 2019. Sistem pemetaan udara menggunakan pesawat fixed wing. *TESLA*. 21(1):26-35. doi: 10.24912/tesla.v21i1.3244
- Ntanas G, Schlesinger S. 2019. iNav fixed wing setup guide. [diakses 2020 Feb 6]. [github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/INAV\\_Fixed\\_Wing\\_Setup\\_Guide.pdf](https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/INAV_Fixed_Wing_Setup_Guide.pdf)
- Saroinsong MH, Poekoel VC, Manembu PDK. 2018. Rancang bangun wahana pesawat tanpa awak (fixed wing) berbasis Ardupilot. *JTEK*. 7(1):73-84. doi: 10.35793/jtek.7.1.2018.19195