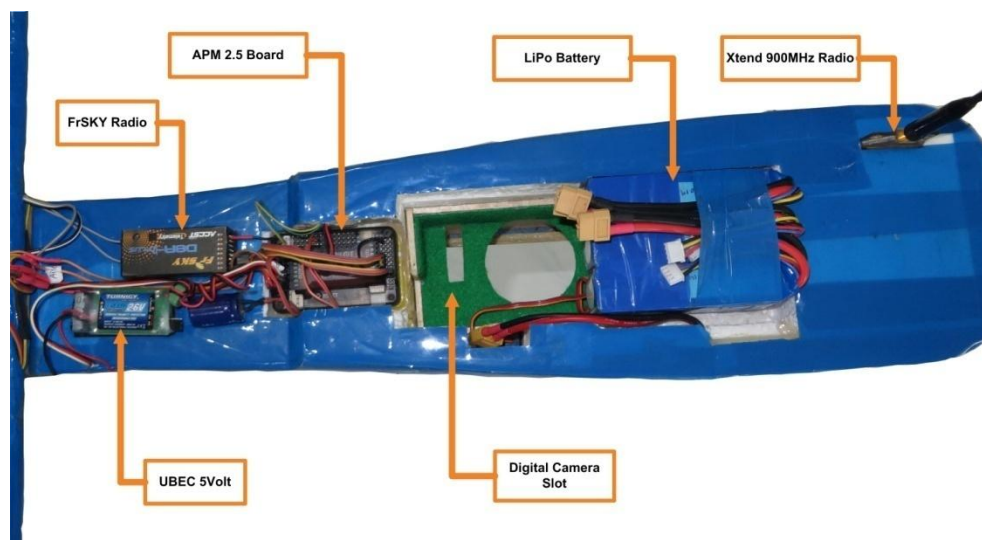


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Hasil Instalasi *Hardware*

Penempatan perangkat elektronik *autopilot* pada wahana Proto-03 dapat dilihat pada gambar 4.1. berikut ini.



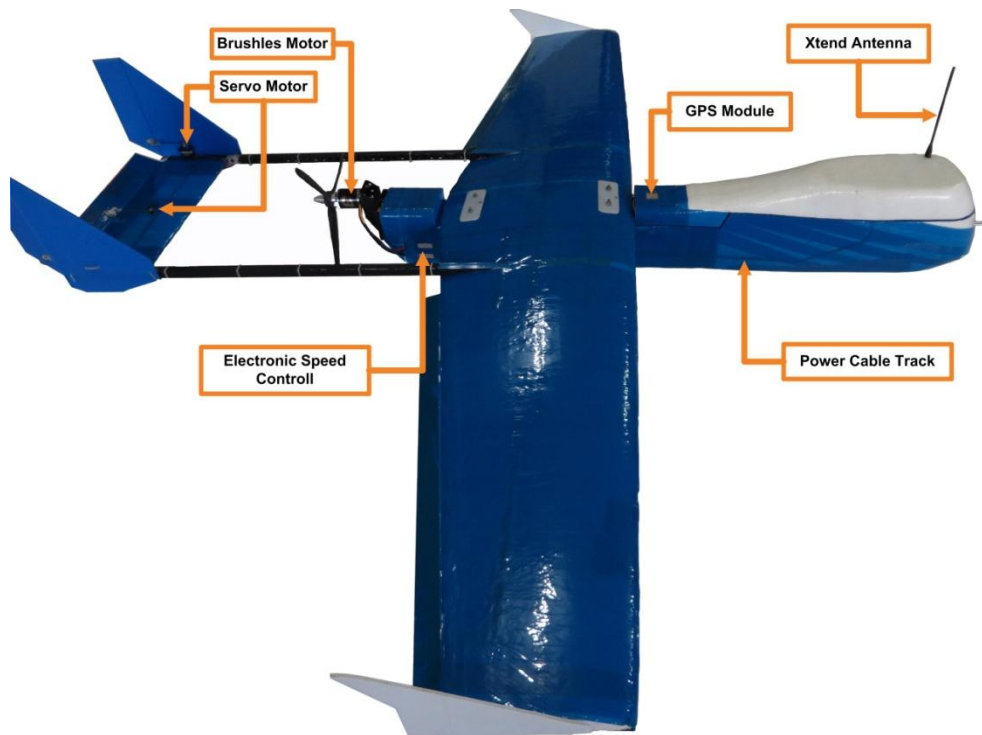
Gambar 1.1. Tata letak perangkat elektronik

Penjelasan penempatan perangkat adalah sebagai berikut :

1. **Xtend 900MHz Radio**, modul radio telemetry ini diletakkan di bagian paling depan dari wahana jauh dari peralatan elektronik yang lain (terutama *autopilot board*) untuk menghindari interferensi .

2. **Li-Po Battery**, pada penelitian ini digunakan baterai *lithium Polymer* 3 x 2200mAh 3S dengan berat keseluruhan 564 gram. Sama seperti modul telemetri XTend, baterai Li-Po ini diletakkan di bagian paling depan dari wahana agar titik *Centre Of Gravity* (CG) dapat terpenuhi.
3. **Digital Camera Slot**, Slot ini digunakan sebagai tempat untuk meletakkan kamera Canon A2300 dengan berat 125 gram. Slot ini ditempatkan di bagian depan wahana setelah baterai Li-Po dengan tujuan yang sama dengan penempatan baterai Li-Po.
4. **APM 2.5**, penempatan *board autopilot* sebisa mungkin lebih dekat dengan titik CG sehingga kinerja sensor-sensor yang ada di dalamnya semakin efektif karena pada titik tersebut getaran sangat kecil [23]. Pada penelitian ini, *board autopilot* diletakkan agak jauh dari titik CG karena tidak ada ruang di bawah sayap dan untuk mengurangi resiko board rusak apabila terjadi *crash landing*, karena kemungkinan *fuselage* patah di bawah sayap sangat memungkinkan mengingat struktur *fuselage* pada bagian tersebut sangat rentan sehingga *board* diletakkan pada *fuselage* yang agak tebal dan tidak terlalu jauh dari titik CG.
5. **FrSKY Radio**, modul ini diletakkan berdekatan dengan *board autopilot* untuk memangkas penggunaan kabel yang berlebihan modul ini diletakkan berdekatan pula dengan sayap untuk memasang antena.
6. **UBEC 5Volt (Universal Battery Elimination Circuit)**, modul ini diletakkan agak berjauhan dengan *board autopilot* untuk meminimalisir kemungkinan adanya interferensi magnetic dan panas berlebih karena modul ini menghasilkan rugi-rugi berupa panas.

Penempatan perangkat penunjang *autopilot* dapat dilihat pada gambar 4.2. berikut.



Gambar 4.2. Tata letak perangkat penunjang

Penjelasan penempatan adalah sebagai berikut :

1. **XTend Antenna**, antena diletakkan di luar dari struktur wahana dengan maksud untuk lebih memaksimalkan penerimaan sinyal.
2. **Power Cable**, diletakkan berjauhan dengan sistem elektronik seperti *board autopilot* sehingga meminimalisir kemungkinan terjadinya interferensi magnetik yang mengakibatkan pembacaan sensor kompas menjadi tidak akurat.
3. **GPS Module**, modul ini dilengkapi dengan keramik *patch antenna* untuk penerimaan data dari satelit. Pada pemasangannya, antena ini tidak boleh

tertutup sehingga langsung berhadapan dengan langit untuk lebih mengoptimalkan penerimaan data.

4. **Brushless Motor**, diletakkan dengan konfigurasi penggerak belakang untuk melindungi motor dan *propeller* pada saat terjadi *crash landing*.
5. **Servo motor**, diletakkan berdekatan dengan sistem gerak dari wahana untuk menghemat penggunaan *pushrod*.
6. **Electronic Speed Controller**, perangkat ini menghasilkan rugi-rugi panas yang apabila tidak diminimalisir dapat merusak perangkat ini sendiri sehingga dalam pemasangannya *heatsink* yang ada pada perangkat ditaruh di luar struktur fuselage untuk lebih meningkatkan proses pendinginan pada saat wahana mengudara.

Sedangkan perangkat GCS ditampilkan pada gambar 4.3. berikut ini :



Gambar 4.3. *Ground Control Station*

Perangkat utama dari sistem *Ground Control Station* ini adalah laptop dengan *mission planner* yang terpasang di dalamnya. *Tripod* digunakan untuk memberikan tempat yang agak tinggi bagi modul XTend 900 MHz sehingga kondisi *line of sight* antara modul dan wahana dapat terpenuhi.

Terdapat enam *slot flight mode* pada *autopilot* apm 2.5 tetapi pada penelitian ini hanya menggunakan empat *flight mode*. *Switch* pemilihan *flight mode* ini terhubung ke *channel 8* pada *board* apm 2.5, untuk memisahkan ke enam *flight mode* dalam satu *channel* tersebut digunakan teknik pemisahan nilai PWM mulai dari PWM 0 sampai 1750. Bentuk jadi dari enam *position switch* dapat di lihat pada gambar 4.4. berikut ini.



Gambar 4.4. Turnigy 9X dan enam *flight mode* switch

Pada *mission planner*, *flight mode* 1 memakai nilai PWM dari 0 sampai 1230, *flight mode* 2 dari PWM 1231-1360, *flight mode* 3 dari PWM 1361-1490, *flight mode* 4 dari PWM 1491-1620, *flight mode* 5 dari PWM 1621-1749 dan *flight mode* 6 memakai PWM 1750. *Flight mode* 1 digunakan untuk *stabilize*, *flight mode* 2 untuk *return to launch*, *flight mode* 3 untuk *auto*, *flight mode* 4 untuk *FBWA*, *flight mode* 5 untuk *stabilize* dan *flight mode* 6 untuk *manual*, dari keenam *flight mode* tersebut hanya *flight mode* 2,3,5 dan 6 yang dipakai untuk penelitian ini.

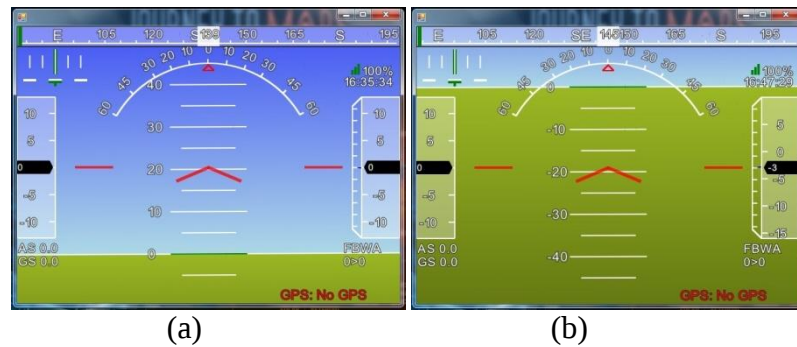
4.1.2 Uji Sensor dan Telemetry

Sensor-sensor yang digunakan perlu diuji untuk melihat keakuratan pembacaan setelah dikalibrasi sehingga meminimalisir kemungkinan kesalahan pembacaan pada saat wahana sedang mengudara. Uji transmisi data *telemetry* juga diperlukan untuk mengetahui hasil seting modul XTend-900. *Software Mission Planner*, X-CTU dan U-Center digunakan untuk pengujian yang meliputi sensor *gyroscope*, *accelerometer*, *compass*, GPS dan *telemetry*.

4.1.2.1 Gyroscope dan Accelerometer (MPU 6000)

Uji sensor *gyroscope* dan *accelerometer* ini menggunakan *Mission Planner* dengan HUD (*Head-Up Display*) sebagai tampilan hasil uji. Dengan menggunakan alat bantu berupa busur derajat, sudut kemiringan *fuselage* diketahui dan menjadi acuan dalam uji. Tampilan HUD yang terdapat pada

b. Pitch



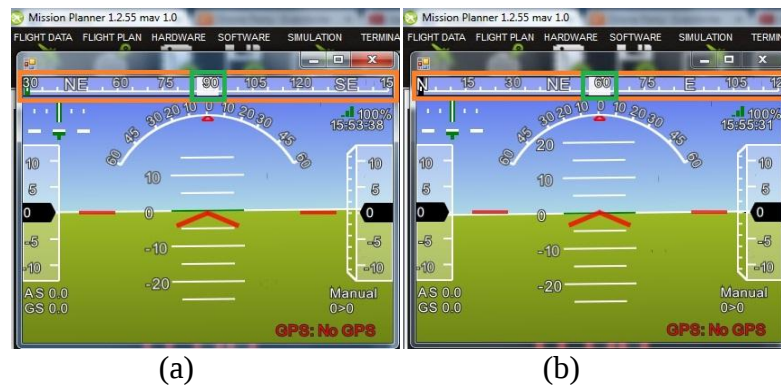
Gambar 4.6. (a). *Nose up* 20°. (b). *Nose down* 20°

Uji sumbu *pitch* dibagi menjadi 2 yaitu uji *nose up* dan *nose down* dengan sudut sebesar 20°. *Fuselage* wahana diletakkan di area datar dan level, penempatan ini dilakukan untuk meningkatkan keakuratan pembacaan sensor yang akan ditampilkan HUD pada mission planner. Uji pertama yaitu uji *nose up* dengan sudut 20°, uji ini dilakukan dengan mengangkat *nose* dari *fuselage* sebesar 20°. Adapun hasil dari uji yang pertama dapat dilihat pada gambar 4.6. (a), pada gambar terlihat pergerakan tanda level pada wahana (berwarna merah) yang semakin menjauhi bidang berwarna hijau sebesar 20° keatas. Gambar 4.6. (b) menunjukkan hasil uji yang kedua yaitu *nose down* dengan sudut 20°, dapat dilihat pergerakan tanda level pesawat menjauhi area berwarna biru dengan sudut 20°.

4.1.2.2 Compass (HMC5883L)

Uji *direction compass* ini untuk mengetahui hasil dari seting *declination* dan kalibrasi. Uji ini menggunakan HUD pada *mission planner* untuk menampilkan hasil dan sebagai pembanding keakuratan digunakan *magnetic compass*. Berikut ini adalah hasil dari uji *compass* :

a. Yaw



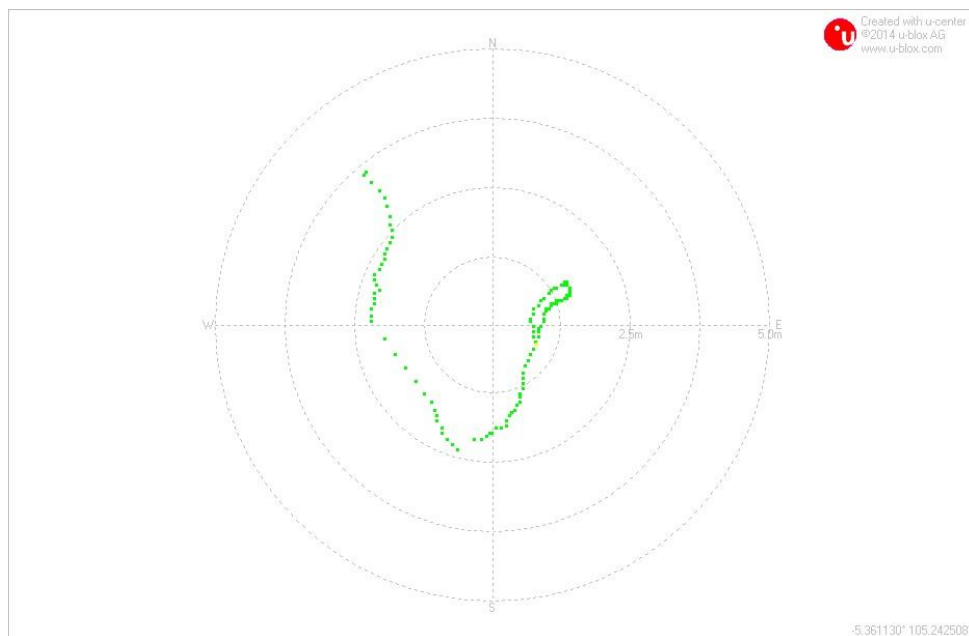
Gambar 4.7. (a). *Compass 90°*. (b). *Compass 60°*

Sensor *compass* HMC5883L memiliki akurasi 1° sampai 2° derajat pada pembacaan arah hadapan. Hasil uji pertama dapat dilihat pada gambar 4.7. (a), *fuselage* wahana diletakkan menghadap utara (90°) pada gambar dapat dilihat kotak berwarna hijau pada bagian atas HUD. Uji yang kedua wahana diarahkan 60° kearah barat, pada gambar 4.7. (b) dapat dilihat kotak berwarna hijau yang menunjukkan derajat hadapan wahana. Keakuratan pembacaan sensor *compass* ini berpengaruh pada arah hadapan wahana pada saat misi yang menggunakan *waypoint*, semakin akurat pembacaan maka arah hadapan wahana semakin mendekati jalur *waypoint*. Keakuratan pembacaan sensor HMC5883L ini juga dipengaruhi oleh *magnetic declination* yang dapat diseting manual atau *auto* pada mission planner, seting manual dapat membuat keakuratan pembacaan lebih tajam karena *declination* area misi diketahui dan dijadikan parameter perhitungan.

4.1.2.3 Global Positioning System (Ublox Neo 6-M)

Uji ini menggunakan *software* U-Center sebagai penampil banyaknya satelit GPS yang dapat ditangkap oleh *receiver*. Uji ini juga digunakan untuk mengetahui waktu dimana satelit GPS paling banyak ditangkap oleh *receiver*, tempat dilakukannya uji ini adalah Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dengan waktu yang bervariasi. Adapun hasil uji adalah sebagai berikut:

a. Hari Minggu 25 Mei 2015, pukul 16.21 WIB

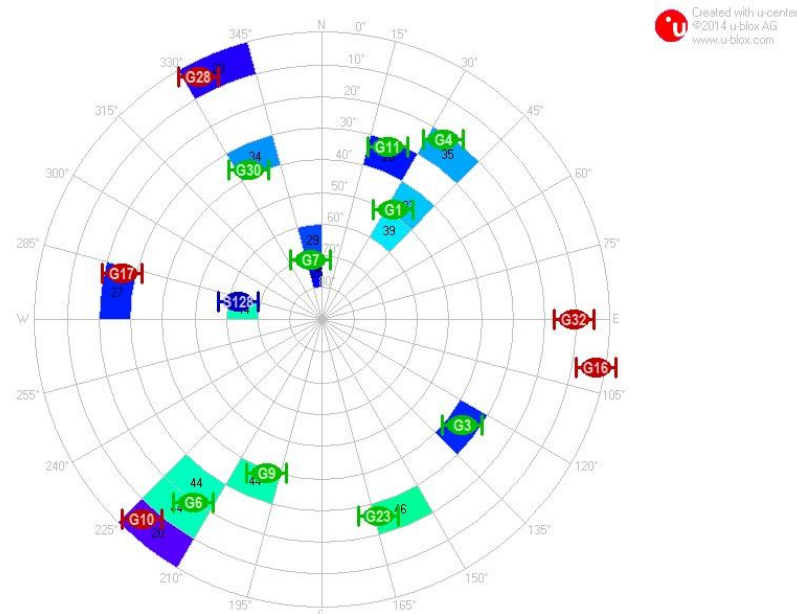


Gambar 4.8. Akurasi GPS 5 meter

Penulis menggunakan fitur *deviation map* pada *software* U-center untuk melihat rekam jejak koordinat yang ditangkap oleh penerima GPS. *Deviation map* yang dipakai adalah dengan skala 5 meter karena penerima GPS yang diuji memiliki tingkat akurasi 5 meter. Pada gambar 4.8. dapat dilihat rekam jejak koordinat ditunjukkan dengan titik-titik berwarna hijau, sedangkan koordinat *realtime*

ditunjukkan oleh titik berwarna kuning. Rekam jejak koordinat menunjukkan bahwa akurasi GPS pada pukul 16.21 WIB adalah kurang dari 3.75 meter dan terus bergerak mendekati akurasi 1 meter.

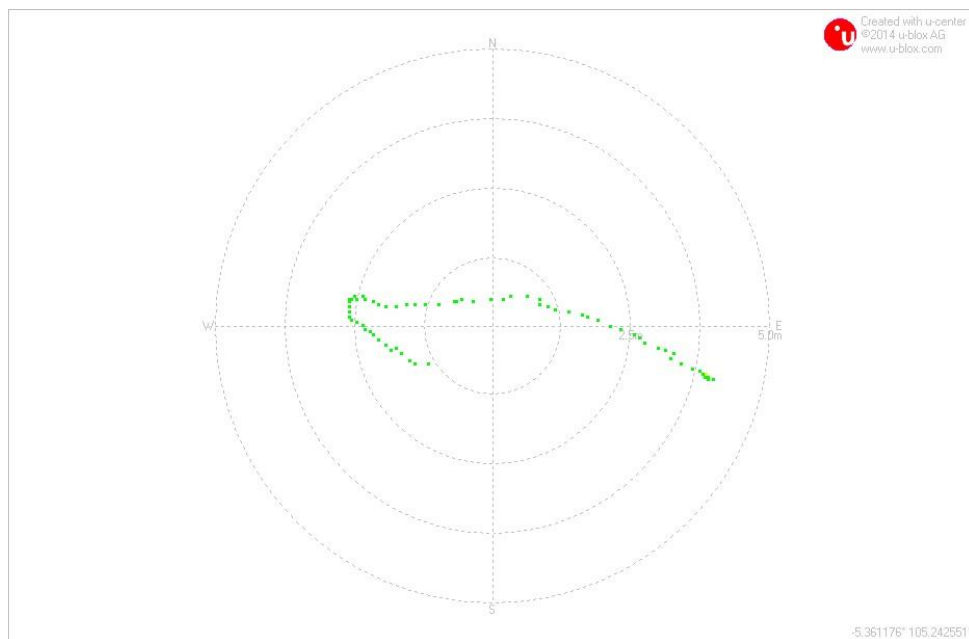
Jumlah satelit yang dapat ditangkap oleh penerima GPS dapat dilihat pada gambar 4.9. terdapat 9 satelit yang sinyal dan kualitas datanya dapat digunakan untuk navigasi pada gambar diberi simbol berwarna hijau dan terdapat 5 satelit yang sinyalnya *not available* dan kualitas datanya tidak dapat digunakan untuk navigasi (berwarna merah) dan satu satelit yang sinyalnya *available* tetapi kualitas datanya tidak dapat digunakan untuk navigasi (berwarna biru).



Gambar 4.9. Posisi dan kuat sinyal satelit GPS dilangit

b. Hari Senin 26 Mei 2015, pukul 11.00 WIB

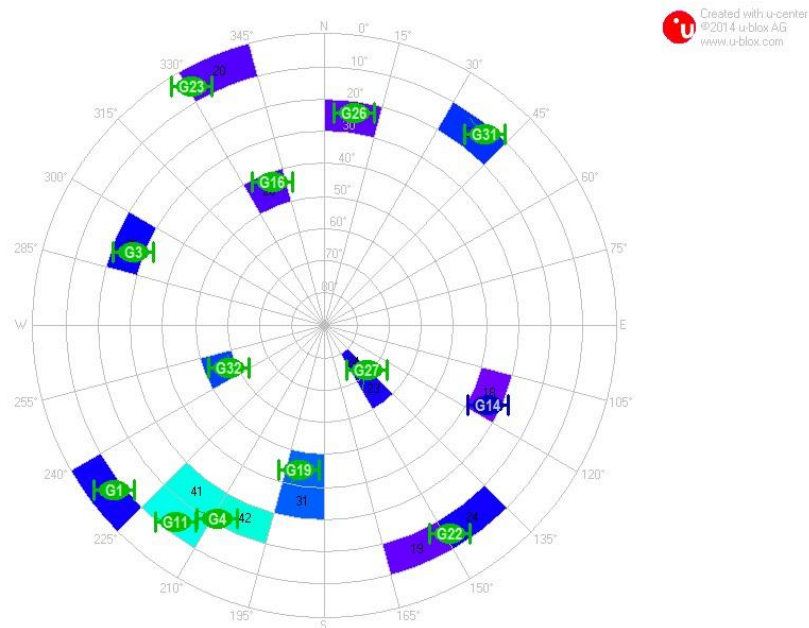
Uji akurasi GPS yang kedua dilakukan hari senin tanggal 26 mei 2015 pada pukul 11.00 WIB. Hasil dari uji akurasi yang kedua ini dapat dilihat pada gambar 4.10. terlihat pada gambar bahwa keseluruhan rekam jejak koordinat GPS memiliki tingkat akurasi dibawah 5 meter kemudian akurasi mendekati 1.25 meter.



Gambar 4.10. Akurasi GPS 5 meter

Jumlah satelit GPS yang tertangkap oleh penerima GPS ada 13 satelit dimana ada 12 satelit yang sinyal dan kualitas datanya dapat digunakan untuk navigasi dan satu satelit yang tidak dapat digunakan, lihat gambar 4.11. Tampilan *sky view* gambar 4.9 dan gambar 4.11. merupakan *window* dengan lingkaran kutub bumi sebagai acuan, dari utara (*North*), timur (*East*), selatan (*South*) dan barat (*West*). Lingkaran ini merupakan penglihatan dari atas langit koordinat yang direkam jejaknya oleh penerima GPS, posisi satelit GPS beserta keterangannya diambil

dari *database internal* yang ada pada *software* U-center. Posisi satelit GPS pada lingkaran merupakan posisi *realtime* satelit pada saat rekam jejak koordinat berlangsung, posisi satelit GPS yang diterima dapat lebih dekat dengan koordinat atau bahkan berada dekat dengan kutub bumi.

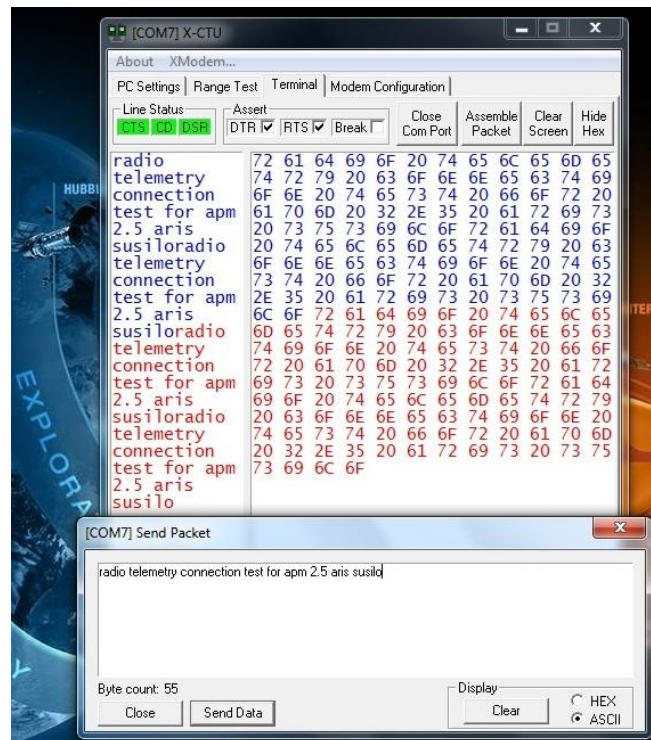


Gambar 4.11. Posisi dan kuat sinyal satelit GPS dilangit

Dari kedua uji akurasi modul penerima GPS Ublox Neo 6-M pada hari minggu dan senin tanggal 25,26 mei 2015 didapat bahwa evolusi satelit GPS mengelilingi bumi dalam 24 jam, terdapat waktu-waktu yang memungkinkan satelit GPS berkumpul pada satu bidang 360 derajat menurut *sky view* sehingga penerima GPS pada pukul 11.00 WIB menerima sinyal satelit GPS untuk navigasi lebih banyak tiga satelit dibandingkan dengan pukul 16.21 WIB.

4.1.2.4 Telemetry (9XTend OEM, 9Xtend PKG-U)

a. X-CTU



Gambar 4.12. Pengiriman data *serial*

Software X-CTU adalah *software* yang digunakan untuk konfigurasi dan uji produk *modem* dari Digi RF. Pada uji *telemetry* ini, jarak antara radio penerima dan pemancar adalah 8.5 meter dengan tidak *line of sight*. Gambar 4.12. merupakan *send packet* dari radio *modem* yang dipakai, terlihat pada gambar kalimat berwarna biru dan merah dan file ASCII. Kalimat berwarna biru adalah data yang dikirim oleh radio pemancar sedangkan kalimat yang berwarna merah adalah data yang diterima oleh radio penerima.

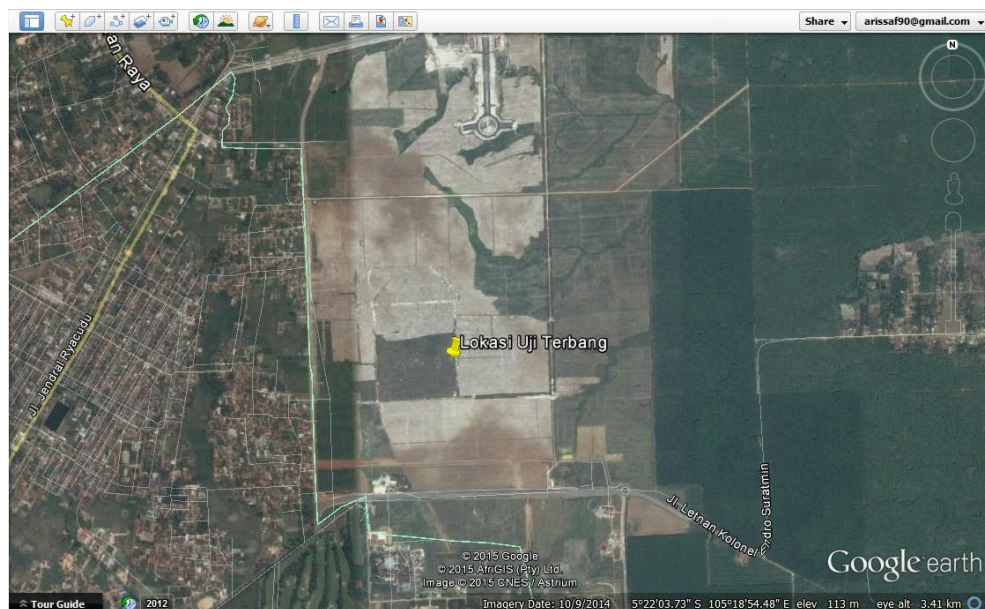
4.1.3 Uji Terbang

Misi penerbangan pada penelitian ini dibagi menjadi dua misi, setiap misi terdapat tiga sesi penerbangan.

4.1.3.1 Uji Terbang Misi Pertama

4.1.3.1.1 Menentukan Lokasi

Berikut ini pada gambar 4.13. adalah lokasi uji terbang jika dilihat menggunakan Google Earth Pro.



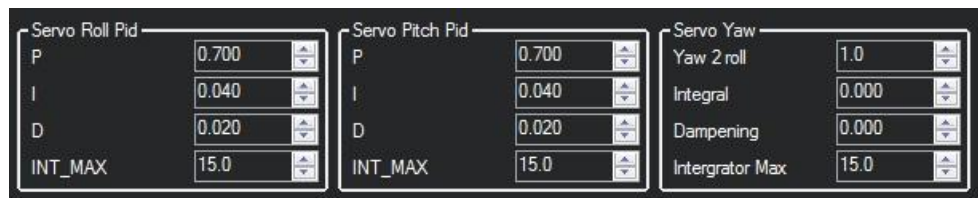
Gambar 4.13. Lokasi uji terbang pada Google Earth Pro

Lokasi yang digunakan untuk uji terbang pertama dan kedua adalah sama yaitu lokasi tanah kosong pendirian ITERA (Institut Teknologi Sumatera) dengan derajat bumi -5.367702° dan 105.315133° dengan ketinggian permukaan tanah dari permukaan laut adalah 113 meter.

4.1.3.1.2 Edit Parameter

a. Seting Konstanta PID

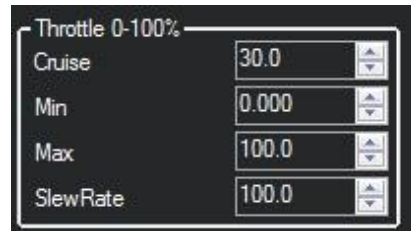
Konstanta PID yang digunakan untuk uji terbang misi pertama adalah konstanta *default* dari APM 2.5. Pemilihan konstanta *default* ini agar nantinya diketahui jarak ideal antar titik *waypoint* dan *radius waypoint* sehingga mempermudah pengubahan nilai-nilai konstanta pada misi kedua. Konstanta PID *default* dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut ini :



Gambar 4.14. Konstanta PID *default*

b. Seting *Throttle Cruise*

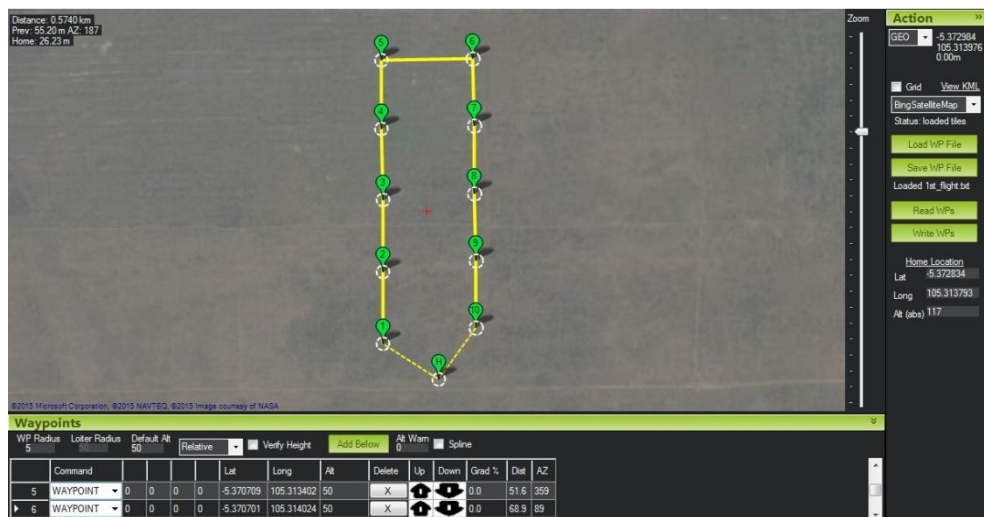
Throttle Cruise merupakan besar nilai *throttle* yang independen digunakan oleh *autopilot* tanpa ada masukan dari radio *transmitter* dan dapat diset mulai dari 0-100%. Penulis memakai fitur ini dikarenakan *autopilot* APM 2.5 yang digunakan tidak dilengkapi dengan *airspeed sensor*. Semua pelaksanaan uji terbang pada penelitian ini menggunakan *Throttle Cruise* 30%. Seting *Throttle Cruise* dapat dilihat pada gambar 4.15, pada gambar tersebut terdapat seting *Min*, *Max* dan *SlewRate*. Min 0.000 dan max 100.0 menandakan nilai persentase *Throttle* adalah 100% dimana *SlewRate* yang digunakan untuk percepatan nilai *Throttle* memiliki nilai persentase 100%.



Gambar 4.15. Throttle cruise

4.1.3.1.3 Uji Terbang Sesi Pertama

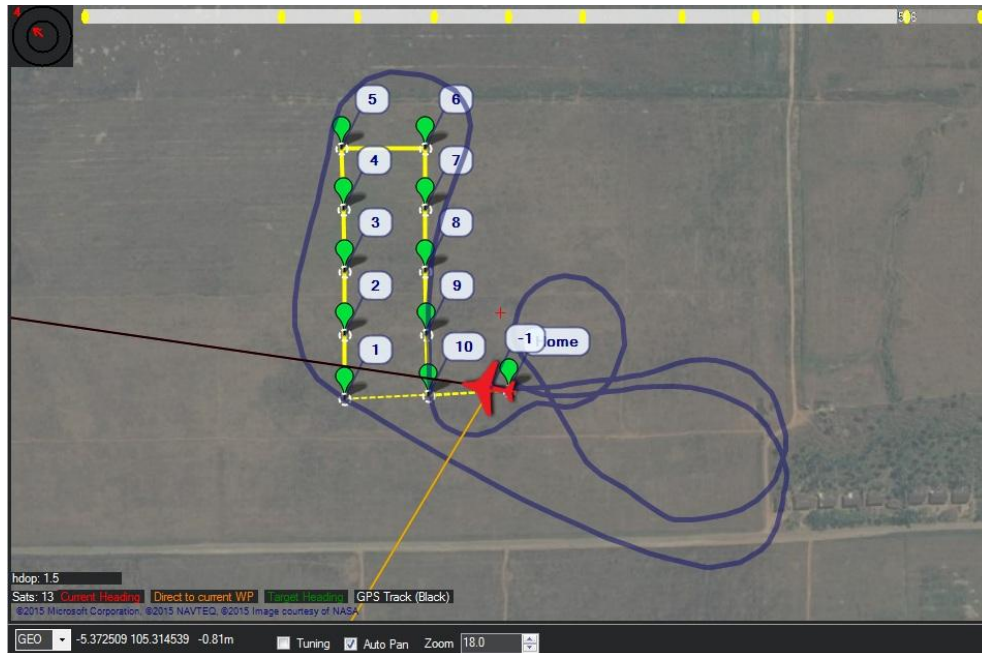
a. Edit *Flight plan*



Gambar 4.16. Edit *flight plan*

Gambar 4.16 diatas adalah *flight plan* untuk uji terbang sesi pertama ini, penulis membuat sebanyak 10 titik *waypoint*, jarak antar *waypoint* adalah 50 meter dan *waypoint radius* sebesar 5 meter dengan lintasan lurus sepanjang 200 meter sehingga total panjang misi terbang adalah 574 meter. *Altitude* wahana pada saat misi adalah 50 meter diatas permukaan tanah dan *home altitude* adalah 117 meter dari permukaan laut kemudian *loiter radius* sebesar 50 meter, *loiter radius* adalah radius dalam meter yang digunakan wahana untuk mengelilingi *home* apabila misi telah selesai.

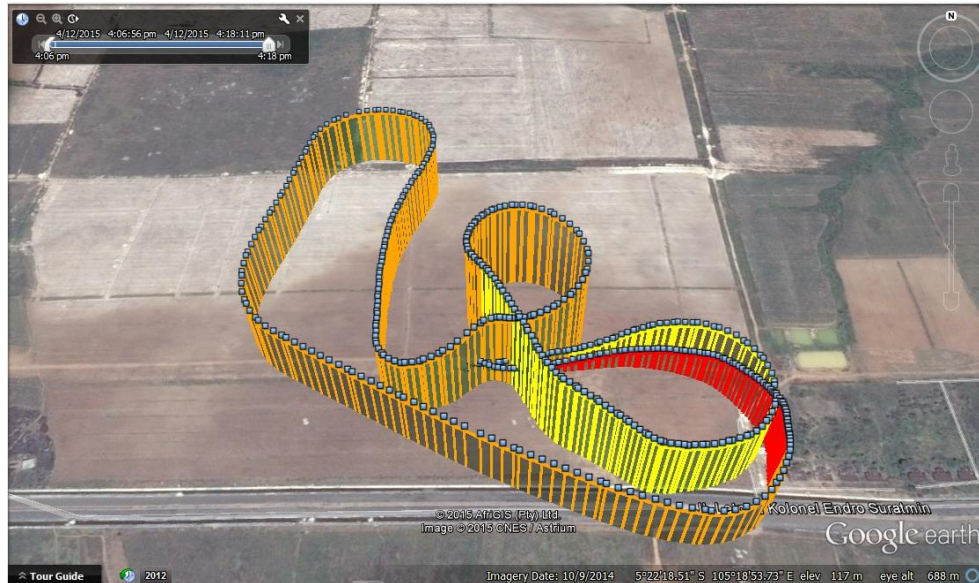
b. GPS Tracking



Gambar 4.17. *GPS tracking mission planner*

Gambar 4.17 merupakan hasil *GPS tracking* pada *mission planner*, garis tebal berwarna biru adalah garis *track* yang telah dilalui oleh wahana. Garis kuning adalah garis *waypoint* yang menjadi acuan *track* terbang wahana dengan 10 titik *waypoint*. Garis orange adalah garis acuan wahana untuk menuju ke target titik *waypoint* selanjutnya. Garis hitam adalah garis GPS yang melaporkan arah perjalanan misi.

GPS tracking hasil dari Tlog pada *mission planner* tersebut dapat diubah menjadi file KMZ untuk kemudian ditampilkan pada Google Earth Pro. Setelah ditampilkan pada Google Earth Pro, dapat dilihat ketinggian wahana pada saat pelaksanaan misi terbang, baik itu pada saat *takeoff*, *cruise* dan *landing*. Peralihan mode terbang pada saat misi juga dapat ditampilkan.

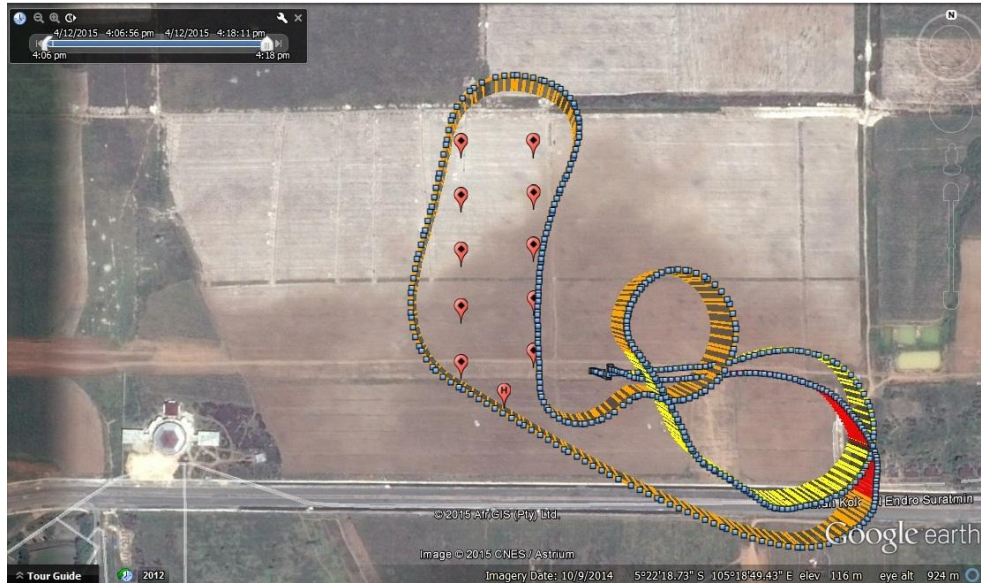


Gambar 4.18. GPS Tracking pada Google Earth Pro

Pada gambar 4.18, dapat dilihat hasil dari ubahan Tlog ke KMZ pada *software* Google Earth Pro. Pada gambar terlihat garis vertikal berwarna merah, *orange* dan kuning, garis vertikal berwarna merah adalah tanda bahwa pada rentang waktu tersebut wahana menggunakan *flight mode stabilize* kemudian warna *orange* merupakan mode terbang *auto* dan warna kuning pada adalah saat wahana bersiap-siap untuk melakukan landing yang menggunakan mode terbang *stabilize*. Terlihat pada gambar garis *orange* melingkar dengan ketinggian yang lebih tinggi dari lintasan sekelilingnya, pada fase tersebut mengindikasikan bahwa wahana sedang melakukan gerak melingkar diatas *Home* sebelum secara *manual flight mode* diubah menjadi *stabilize*.

c. Error Radius

Wahana dapat dikatakan terbang dengan baik harus memiliki beberapa parameter, salah satunya adalah wahana tersebut terbang mengikuti lintasan *waypoint* dengan error radius kecil yang sesuai dengan akurasi GPS yang dipakai.



Gambar 4.19. GPS tracking dengan titik waypoint

Pada penelitian ini penulis memakai GPS dengan akurasi 2,5 meter, sehingga diharapkan wahana pada saat terbang dapat mengikuti lintasan *waypoint* dengan eror radius dibawah 2,5 meter. Eror radius dapat ukur dengan menggunakan GPS *tracking* pada Google Earth Pro dengan menambahkan titik-titik *waypoint*, skema ini dapat dilihat pada gambar 4.19. Pengukuran ini menggunakan *tool Ruler* pada Google Earth Pro dengan cara mengukur jarak antara titik-titik *waypoint* dengan lintasan GPS *tracking*. Hasil dari pengukuran eror radius dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

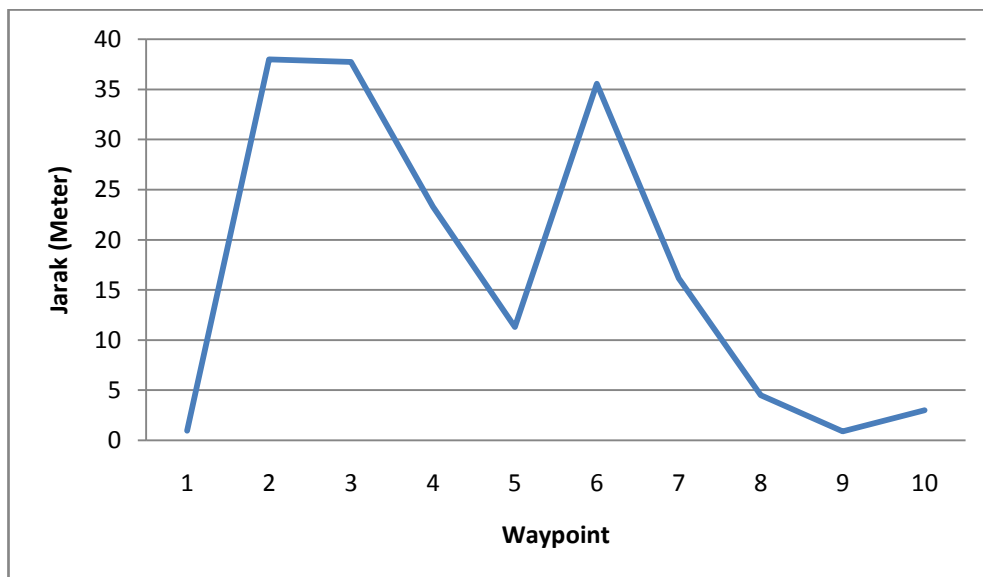
Tabel 1.1. Eror radius uji terbang misi pertama sesi pertama

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
1	0.97		37.02
2	37.99	0.24	
3	37.75		14.45
4	23.30	11.98	
5	11.32		24.26
6	35.58	19.42	
7	16.16		11.63
8	4.53	3.62	

Tabel 4.1. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
9	0.91	2.12	
10	3.03		

Pada tabel 4.1 dapat dilihat eror radius terkecil dari uji terbang sesi pertama ada pada *waypoint* 9 dengan simpangan kurang dari 1 meter dan eror radius terbesar pada *waypoint* 2 dengan simpangan lebih dari 37 meter. Respons eror radius ini dapat dilihat pada gambar 4.20, terlihat pada *waypoint* 2 dan 3 respon gerak wahana hanya berkurang 24 sentimeter sehingga lintasan terbang wahana sangat jauh dari lintasan yang telah direncanakan pada *flight plan*. Kecepatan gerak wahana pada saat melintasi lintasan lurus yang pertama diambil dari Tlog adalah rata-rata sebesar 21 m/s dan pada lintasan lurus yang kedua adalah sebesar 12 m/s.

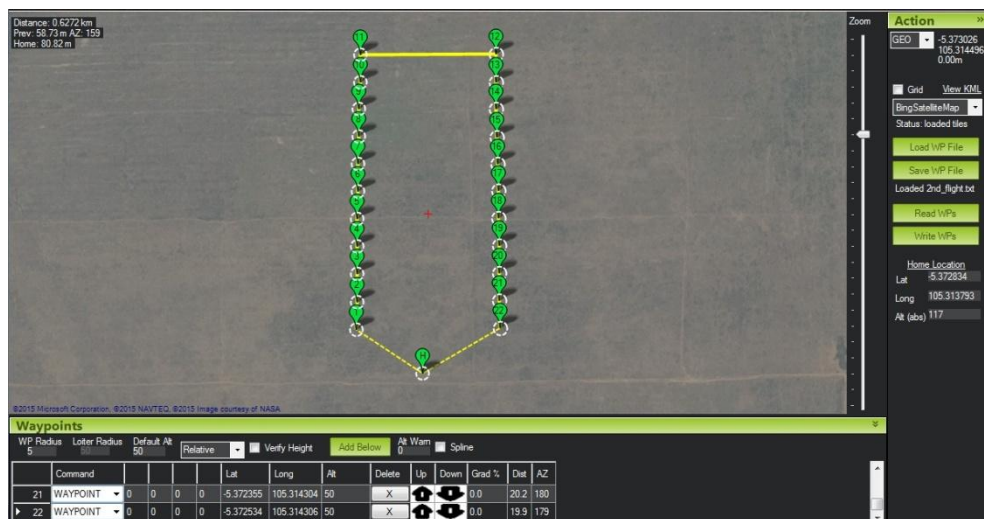
**Gambar 4.20.** Grafik eror radius uji terbang misi pertama sesi pertama

Pada gambar 4.20 diatas terlihat kenaikan eror radius yang drastis dari *waypoint* 5 ke *waypoint* 6 dan kemudian turun secara drastis ke *waypoint* 7.

4.1.3.1.4 Uji Terbang Sesi Kedua

a. Edit *Flight plan*

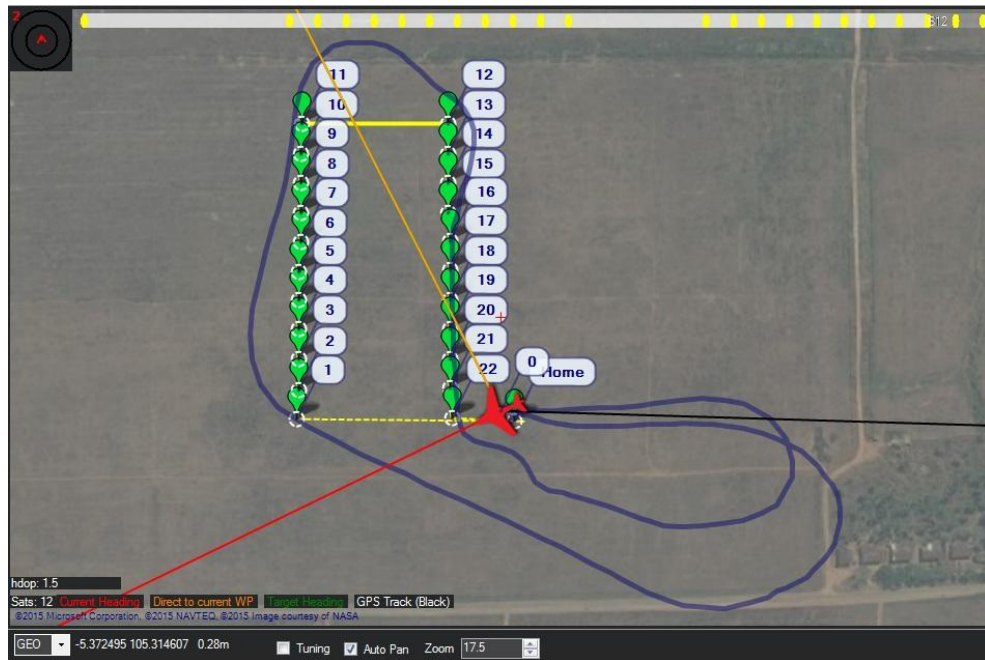
Pada uji terbang sesi kedua ini, penulis membuat *flight plan waypoint* sebanyak 22 titik *waypoint*, jarak antar *waypoint* adalah 20 meter dan *waypoint radius* sebesar 5 meter dengan lintasan lurus sepanjang 200 meter. *Altitude* wahana pada saat misi adalah 50 meter dari permukaan tanah dan *home altitude* adalah 117 meter dari permukaan laut. Edit *flight plan* dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21. Edit *Flight plan*

b. GPS *Tracking*

Hasil GPS *tracking* pada uji terbang sesi kedua ini ditampilkan pada gambar 4.22. Panjang *track* lurus sama dengan sesi pertama tetapi jumlah *waypoint* ditambah menjadi 11 *waypoint*, kondisi ini diharapkan menambah akurasi lintasan wahana karena setiap jarak 20 meter *autopilot* harus menggerakkan wahana ke titik *waypoint*.



Gambar 4.22. *GPS Tracking Mission Planner*

Terlihat pada gambar garis *track* yang dilalui wahana hampir sama dengan *track* pada uji terbang sesi pertama, dengan panjang *track* lurus dari waypoint 1 sampai waypoint 11 sepanjang 200 meter.



Gambar 4.23. *GPS Tracking pada Google Earth Pro*

File KMZ dapat dilihat pada gambar 4.23, pada gambar *track* berwarna orange adalah *flight mode stabilize*, hijau adalah *flight mode auto* dan *track* berwarna biru adalah *flight mode stabilize*. Terlihat pada gambar saat transisi *flight mode stabilize* ke *auto* wahana mengalami penurunan ketinggian terbang, jika dilihat pada Tlog, ketinggian awal wahana adalah 56 meter kemudian turun menjadi 34 meter dan naik kembali ke ketinggian *default auto* sebesar 50 meter. Waktu transisi pada saat mengalami penurunan kemudian naik kembali yang tercatat dan terbaca pada Tlog adalah 4 detik.

Pada gambar *tracking* tersebut terdapat lintasan *tracking* berwarna hijau yang membentuk garis lurus, lintasan tersebut merupakan lintasan *waypoint-waypoint* akhir dari misi yaitu *waypoint* 17 sampai 22.

c. Error radius



Gambar 4.24. GPS *tracking* dengan titik *waypoint*

Metode yang digunakan untuk pengukuran eror radius pada uji terbang sesi kedua ini sama dengan sesi pertama yaitu menggunakan *GPS tracking* dengan titik *waypoint*. Telah jelaskan pada keterangan sebelumnya bahwa pada uji terbang sesi kedua ini penulis membuat *flight plan* dengan titik *waypoint* sebanyak 22 titik dengan jarak antar titik adalah 20 meter. Gambar 4.24 merupakan hasil dari *GPS tracking* yang telah diberi titik *waypoint*. Hasil dari pengukuran eror radius dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

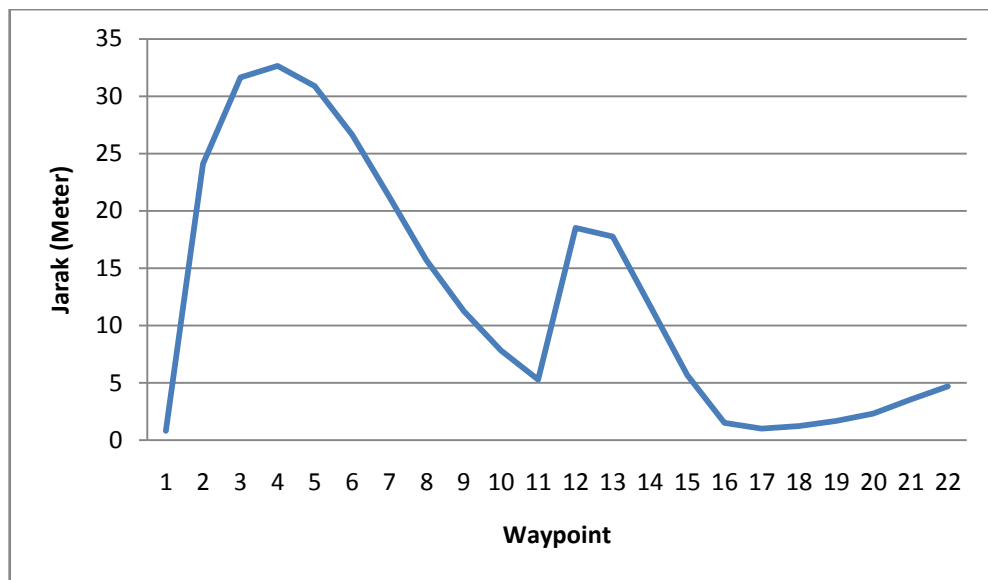
Tabel 4.2. Eror radius uji terbang misi pertama sesi kedua

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
1	0.82	7.52	23.3
2	24.12		
3	31.64		1.01
4	32.65	1.77	
5	30.88	5.42	4.22
6	26.66		
7	21.24		5.53
8	15.71	4.46	
9	11.25	2.53	3.43
10	7.82		
11	5.29		13.24
12	18.53	0.77	
13	17.76	6.08	5.99
14	11.77		
15	5.69		4.17
16	1.52	0.51	
17	1.01	0.46	0.22
18	1.23		
19	1.69		0.64
20	2.33	1.22	
21	3.55		1.15
22	4.7		

Pada tabel 4.2 dapat dilihat eror radius terkecil dari uji terbang sesi kedua ada pada *waypoint* 1 dengan simpangan kurang dari 1 meter dan eror radius terbesar pada *waypoint* 4 dengan simpangan lebih dari 32 meter. Selisih eror radius terbesar terlihat pada *waypoint* 1 dan 2 yaitu sebesar 23.3 meter kemudian eror

bertambah sebesar 7.53 meter pada saat wahana melintasi *waypoint* 3. Simpangan eror terbesar yang kedua adalah pada saat wahana berbelok ke kanan melewati *waypoint* 11 menuju ke *waypoint* 12, pada tabel terlihat selisih jarak melebar dari 5.29 meter menjadi 18.53 meter dan kemudian turun menjadi 17.76 meter, dari *waypoint* 11 ke *waypoint* 12 tersebut terhitung selisih eror adalah 13.24 meter. Kondisi tersebut membuat lintasan terbang wahana menjadi semakin melebar dan menjauhi lintasan yang seharusnya dilalui wahana.

Gambar 4.25 berikut ini adalah grafik dari eror radius uji terbang misi pertama sesi kedua.



Gambar 4.25. Grafik eror radius uji terbang misi pertama sesi kedua

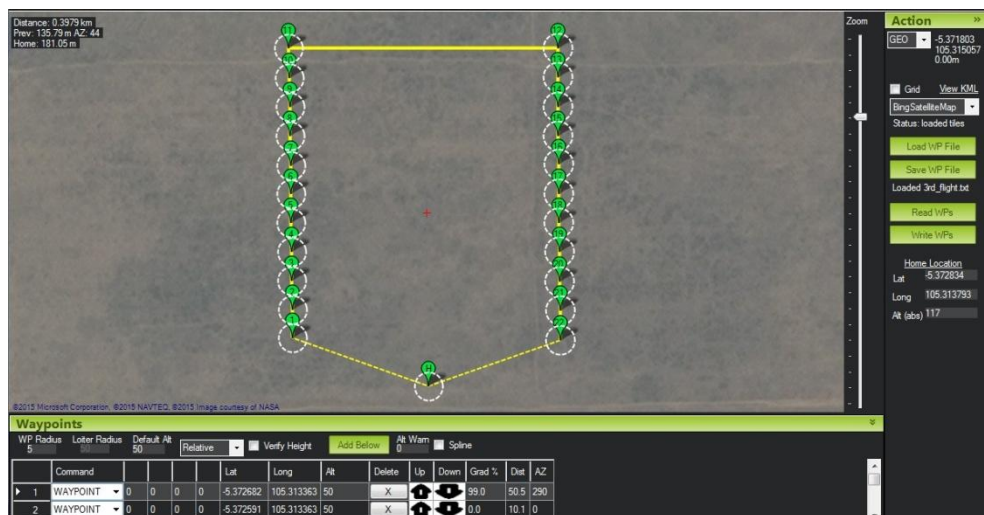
Pada uji terbang sesi kedua ini, wahana dapat terbang dengan eror di bawah 5 meter adalah pada saat wahana melintas pada *waypoint* 16 sampai *waypoint* 22, tetapi jika melihat gambar 4.25, terlihat gerak eror wahana dari *waypoint* tersebut terus mengalami kenaikan menuju radius 5 meter. Kecepatan gerak wahana pada

saat melintasi lintasan lurus yang pertama diambil dari Tlog adalah rata-rata sebesar 18 m/s dan pada lintasan lurus yang kedua adalah sebesar 7 m/s.

4.1.3.1.5 Uji Terbang Sesi Ketiga

a. Edit *Flight plan*

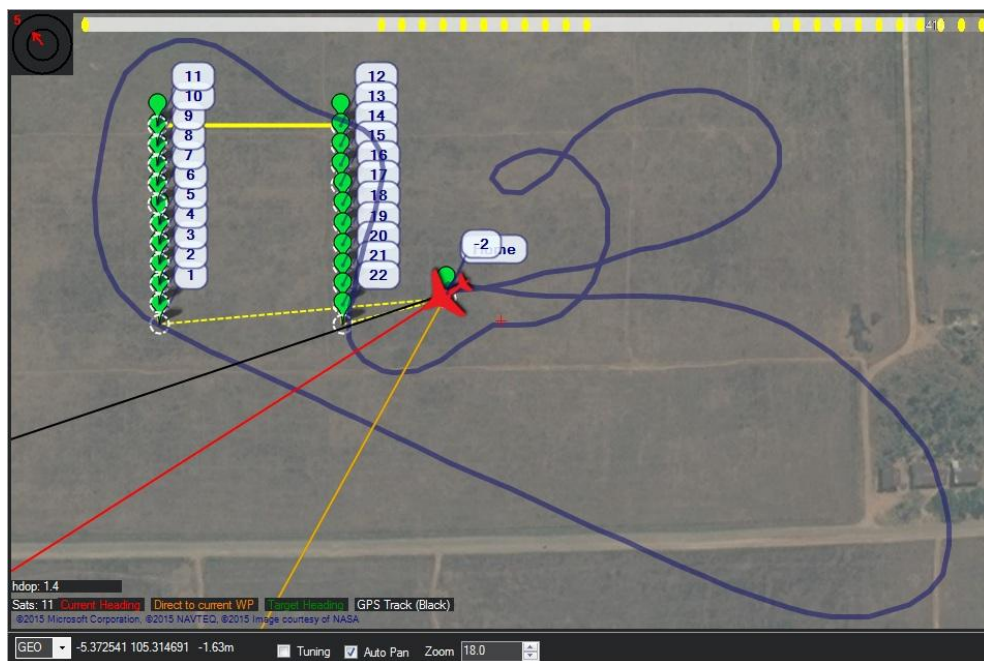
Pada uji terbang sesi ketiga ini, penulis membuat *flight plan waypoint* sebanyak 22 titik *waypoint*, jarak antar *waypoint* adalah 10 meter dan *waypoint* radius sebesar 5 meter dengan lintasan lurus sepanjang 100 meter sehingga total panjang misi terbang adalah 397.9 meter. *Altitude* wahana pada saat misi adalah 50 meter dari permukaan tanah dan *home altitude* adalah 117 meter dari permukaan laut. Penulis menambahkan *loiter radius* sebesar 50 meter. Edit *flight plan* dapat dilihat pada gambar 4.26.



Gambar 4.26. Edit *Flight plan*

b. GPS Tracking

Hasil GPS *tracking* pada uji terbang sesi ketiga ini ditampilkan pada gambar 4.27. Terlihat pada gambar garis *track* yang dilalui wahana hampir sama dengan *track* pada uji terbang sesi pertama dan kedua, dengan panjang *track* lurus dari *waypoint* 1 sampai *waypoint* 11 sepanjang 100 meter. Panjang lintasan lurus tidak sama dengan sesi pertama dan kedua tetapi jumlah *waypoint* sama dengan sesi kedua. Lintasan terbang wahana pada saat misi pertama sesi ketiga ini tidak sesuai dengan apa yang diharapkan, terlihat pada gambar 4.27 lintasan wahana yang dekat dengan titik *waypoint* hanya pada *waypoint* 1, 12, 21 dan 22.



Gambar 4.27. GPS *tracking* Mission Planner

Pada gambar, eror radius lintasan pesawat terlihat sangat jelas yang dimulai dari *waypoint* 1 sampai 11 kemudian *waypoint* 13 sampai dengan *waypoint* 20. Sedangkan *bank* radius wahana saat berbelok ke kanan pada *waypoint* 11 terlihat

sangat jauh melebar tidak seperti pada sesi 1 dan 2, pada sesi 1 *radius* lintasan berada pada 11.32 meter sedangkan pada sesi 2 eror radius lintasan *bank* berada pada 5.29 meter. Eror radius *bank* ini tidak terlihat signifikan pada lintasan lurus *waypoint* 12 sampai *waypoint* 22 dimana eror lintasan terlebar adalah sebesar 20.88 meter pada titik *waypoint* 14.

File KMZ GPS *tracking* dapat dilihat pada gambar 4.28, pada gambar tersebut terlihat kenaikan ketinggian wahana saat berada *waypoint* 10 dan 11. Kenaikan ketinggian ini juga terjadi pada saat wahana melakukan gerak lingkaran mengitari *Home* setelah wahana selesai melaksanakan misi terbang.



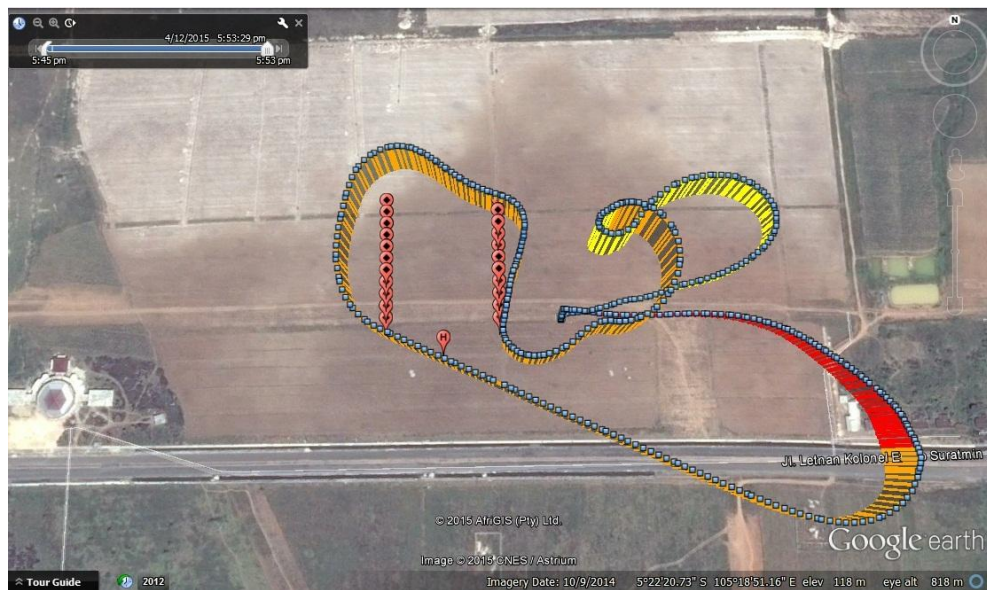
Gambar 4.28. GPS *Tracking* pada Google Earth Pro

Terlihat pada gambar garis berwarna merah, warna tersebut menandakan bahwa pada waktu tersebut wahana sedang melakukan *takeoff* dan menggunakan *flight mode stabilize*, setelah itu wahana menggunakan *mode Auto* untuk melakukan

misi yang ditandai dengan garis berwarna *orange*, pada saat landing wahana menggunakan *mode stabilize* kembali.

c. Error radius

Gambar 4.29 berikut merupakan hasil dari *GPS tracking* yang telah diberi titik *waypoint* sebanyak 22 titik.



Gambar 4.29. *GPS tracking* dengan titik *waypoint*

Pengukuran error radius memakai cara yang sama dengan sesi pertama dan kedua.

Hasil dari pengukuran error radius dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Error radius uji terbang misi pertama sesi ketiga

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
1	2.36	7.39	13.64
2	16.00		4.81
3	23.39		
4	28.20	2.33	1.92
5	30.53		
6	32.45	0.35	0.96
7	32.80		
8	31.84	1.34	

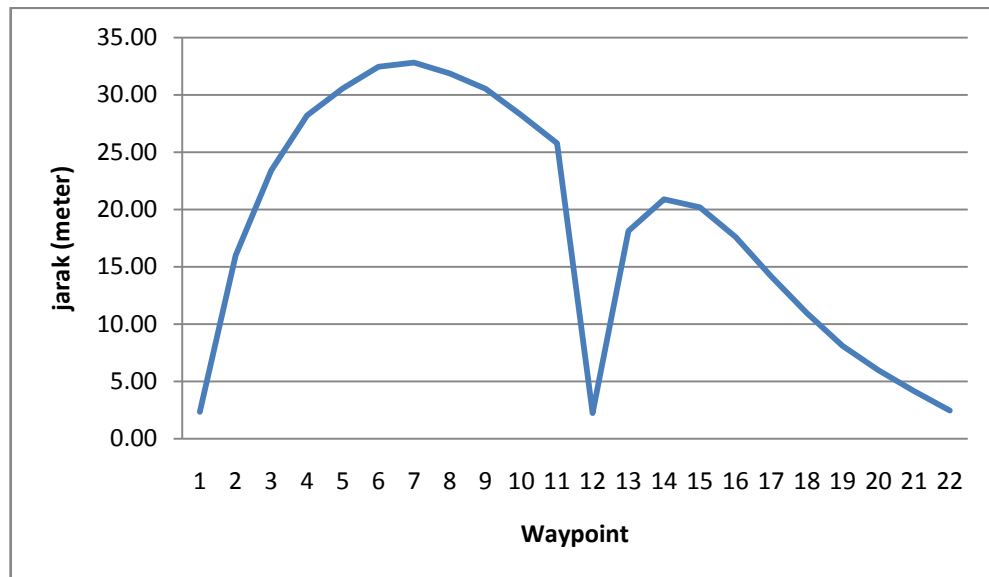
Tabel 4.3. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
9	30.50	2.44	2.28
10	28.22		
11	25.78		23.54
12	2.24	15.87	
13	18.11		2.77
14	20.88	0.69	
15	20.19		2.60
16	17.59	3.42	
17	14.17		3.21
18	10.96	2.86	
19	8.10		2.11
20	5.99	1.82	
21	4.17		1.70
22	2.47		

Dari hasil pengukuran eror radius pada tabel 4.3, diketahui bahwa lintasan dengan eror radius terkecil adalah pada *waypoint* 12 yaitu sebesar 2.24 meter dan eror radius terbesar pada *waypoint* 7 dengan 32.80 meter. Kenaikan eror radius secara drastis terjadi pada *waypoint* 12 dengan eror 2.24 meter menjadi 18.11 meter pada *waypoint* 13 sehingga apabila dihitung selisih eror radius didapat yaitu 15.87 meter, sedangkan penurunan eror radius terjadi pada *waypoint* 11 dengan eror 25.78 meter menjadi 2.24 meter pada *waypoint* 12 sehingga didapat eror selisih yaitu 23.54 meter.

Respon lintasan terbang wahana dapat dilihat pada gambar 4.30, pada gambar terlihat grafik mulai dari *waypoint* 1 sampai 11 mengalami peningkatan eror radius yang besar yaitu mulai 2.36 meter sampai dengan 32.80 meter kemudian turun kembalike 25.78 meter, kondisi ini mengakibatkan lintasan terbang yang dihasilkan terlihat sangat jauh dengan lintasan terbang titik *waypoint* yang telah di seting pada *flight plan*. Tetapi pada lintasan lurus yang kedua yaitu *waypoint* 12 sampai 22 terlihat lintasan terbang yang mengalami penurunan eror radius, pada

lintasan ini eror radius terbesar adalah pada *waypoint* 14 yaitu sebesar 20.88 meter dan kemudian mengalami penurunan sampai 2.47 meter pada *waypoint* 22.



Gambar 4.30. Grafik eror radius uji terbang misi pertama sesi ketiga

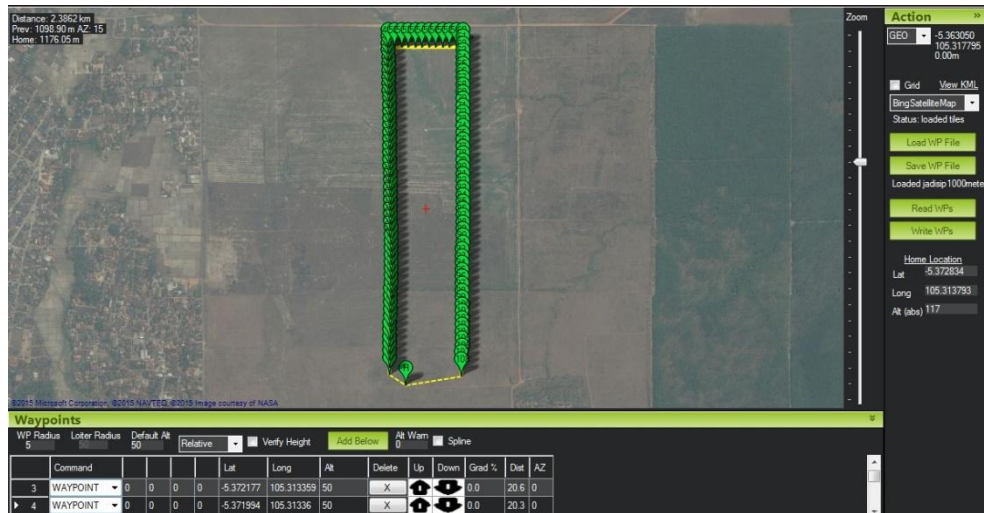
Kecepatan gerak wahana pada saat melintasi lintasan lurus yang pertama diambil dari Tlog adalah rata-rata sebesar 18 m/s dan pada lintasan lurus yang kedua adalah sebesar 8 m/s.

4.1.3.2 Uji Terbang Misi Kedua

4.1.3.2.1 Edit *Flight plan*

Pada uji terbang misi kedua, penulis membuat *flight plan waypoint* sebanyak 108 titik *waypoint*, jarak antar *waypoint* adalah 20 meter dan *waypoint* radius sebesar 5 meter dengan lintasan lurus sepanjang 1000 meter sehingga total panjang misi terbang adalah 2386.2 meter. Ketinggian wahana pada saat melakukan misi

adalah 50 meter diatas permukaan tanah dan *home altitude* adalah 117 meter dari permukaan laut. Penulis menambahkan *loiter radius* sebesar 50 meter. Edit *flight plan* dapat dilihat pada gambar 4.31. berikut ini.



Gambar 4.31. Edit *Flight plan*

Flight plan ini dipakai untuk semua proses uji terbang misi kedua, dengan dipakainya *flight plan* untuk 3 sesi uji terbang ini penulis lebih memfokuskan pada seting parameter untuk mendapatkan lintasan terbang wahana dengan error radius yang kecil.

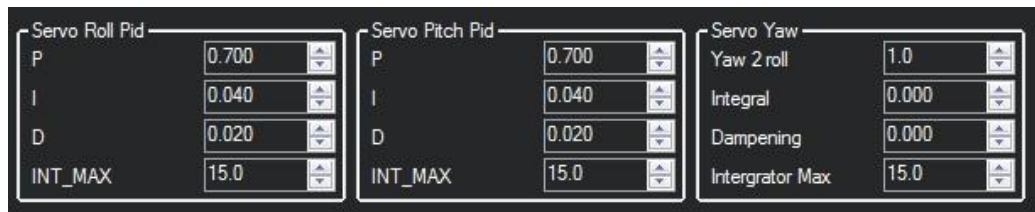
4.1.3.2.2 Uji Terbang Sesi Pertama

a. Edit Parameter

1. Seting konstanta PID

Konstanta PID yang digunakan untuk uji terbang misi kedua sesi pertama ini adalah konstanta *default* dari APM 2.5. Setelah dilakukan uji terbang sesi pertama ini didapat respon *airframe* wahana dari *data logger* kemudian konstanta

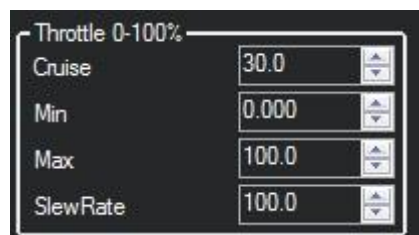
tersebut diubah menurut respon tersebut untuk uji terbang sesi kedua. Konstanta PID *default* dapat dilihat pada gambar 4.32 berikut ini :



Gambar 4.32. Konstanta PID *default*

2. Seting *Throttle Cruise*

Seting *throttle cruise* dapat dilihat pada gambar 4.33, pada gambar tersebut terdapat seting *Min*, *Max* dan *SlewRate*.

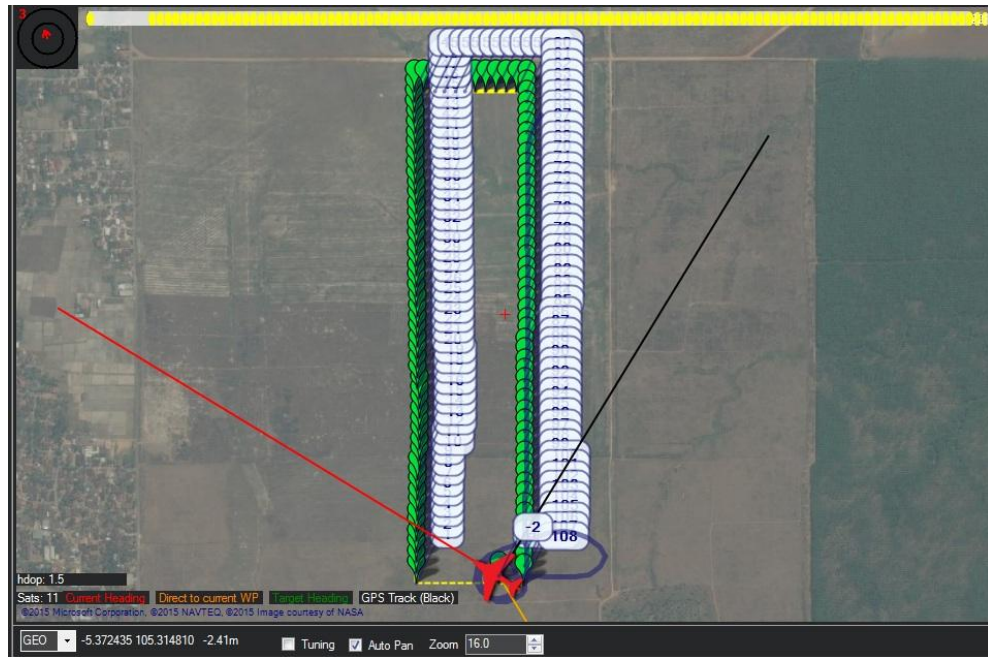


Gambar 4.33. *Throttle cruise*

Min 0.000 dan max 100.0 menandakan nilai persentase *throttle* adalah 100% dimana *SlewRate* yang digunakan untuk percepatan nilai *throttle* memiliki nilai persentase 100%. Perlu diketahui bahwa penggunaan *throttle cruise* pada misi kedua ini menggunakan setting yang dipakai pada misi pertama.

b. GPS *Tracking*

Hasil GPS *tracking* pada uji terbang misi kedua sesi pertama ini ditampilkan pada gambar 4.34 berikut ini.



Gambar 4.34. GPS tracking mission planner

Terlihat pada gambar garis lintasan yang dilalui wahana dengan panjang lintasan lurus pertama dari *waypoint* 1 sampai *waypoint* 49 sepanjang 1000 meter kemudian lintasan lurus dari *waypoint* 60 sampai *waypoint* 108 dengan panjang yang sama. GPS tracking file KMZ dibuka pada software google earth pro, dapat dilihat pada gambar 4.35.

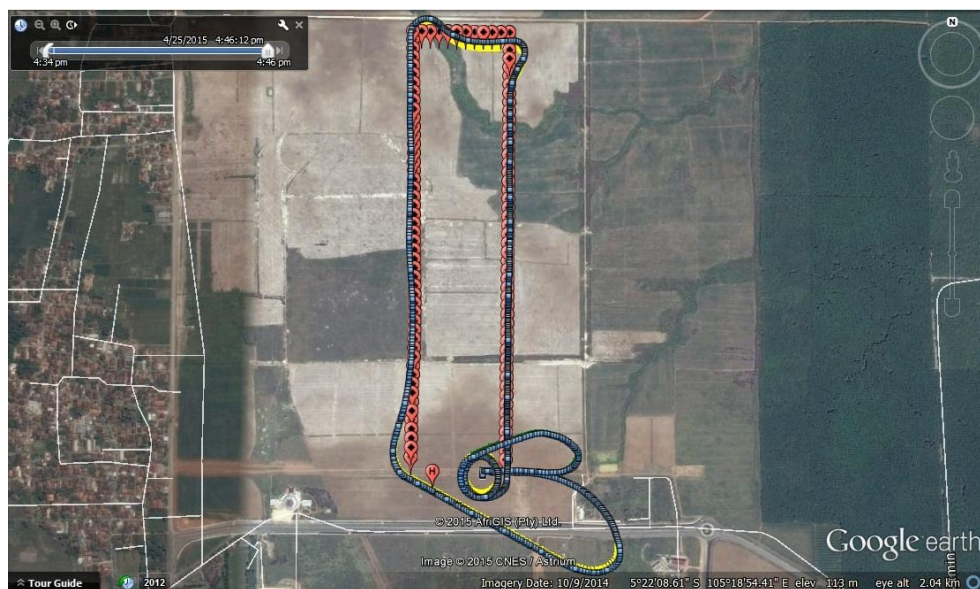


Gambar 4.35. GPS Tracking pada Google Earth Pro

Pada gambar tersebut terlihat lintasan berwarna merah yang menandakan wahana pada waktu tersebut memakai *flight mode stabilize* kemudian lintasan berwarna kuning adalah pada saat *flight mode auto* dan lintasan berwarna hijau adalah pada saat wahana menggunakan *flight mode stabilize* untuk landing. Pada saat wahana menggunakan *mode auto*, terlihat adanya *drift* pada saat wahana memulai untuk *bank* ke kanan menuju ke *waypoint* 50 kondisi ini membuat eror radius terjadi.

c. Error radius

Metode yang digunakan untuk pengukuran eror radius pada uji terbang mis kedua sesi pertama ini sama dengan uji terbang misi pertama yaitu dengan menggunakan *GPS tracking* dengan titik *waypoint*. Gambar 4.36 berikut merupakan hasil dari *GPS tracking* yang telah diberi titik *waypoint* sebanyak 108 titik.



Gambar 4.36. *GPS tracking* dengan titik *waypoint*

Eror radius di ukur menggunakan *tool Ruler* pada google earth pro dengan cara mengukur jarak antara titik-titik *waypoint* dengan lintasan *GPS tracking*. Hasil dari pengukuran eror radius dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4. Eror radius uji terbang misi kedua sesi pertama

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
1	0.31	8.75	23.39
2	23.70		
3	32.45		1.12
4	33.57	2.83	
5	30.74	5.60	5.18
6	25.56		
7	19.96	4.59	5.73
8	14.23		
9	9.64	2.11	3.05
10	6.59		
11	4.48	2.05	1.60
12	2.88		
13	0.83	0.65	0.09
14	0.92		
15	1.57	0.06	0.76
16	2.33		
17	2.39	0.22	0.32
18	2.71		
19	2.49	1.08	0.05
20	2.44		
21	1.36	0.73	1.07
22	0.29		
23	1.02	1.08	1.24
24	2.26		
25	3.34	0.04	0.71
26	4.05		
27	4.09	0.19	0.32
28	3.77		
29	3.58	0.49	0.67
30	2.91		
31	2.42	0.50	0.63
32	1.79		
33	1.29	0.54	0.44
34	0.85		
35	0.31	0.21	0.16
36	0.15		
37	0.36	0.70	0.77
38	1.13		
39	1.83	0.14	0.32
40	2.15		
41	2.01	0.18	0.49
42	1.52		
43	1.34		0.24
44	1.10		

Tabel 4.4. Lanjutan

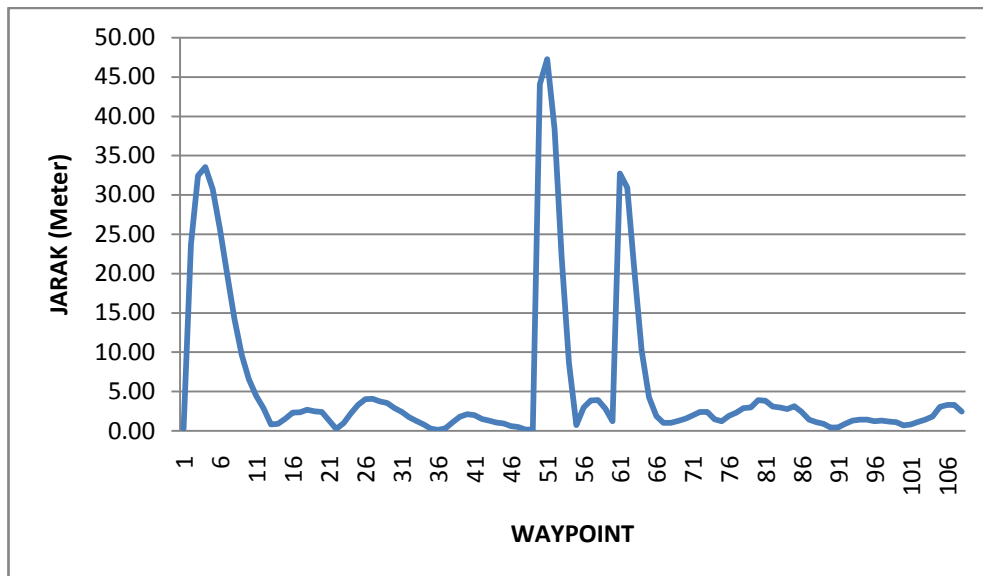
WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
45	0.98	0.12	0.35
46	0.63	0.12	
47	0.51		0.00
48	0.21		
49	0.21	3.18	43.87
50	44.08		
51	47.26	16.23	8.86
52	38.40		
53	22.17	7.91	13.51
54	8.66		
55	0.75	0.93	2.23
56	2.98		
57	3.91	1.10	0.01
58	3.92		
59	2.82	31.49	1.58
60	1.24		
61	32.73	10.89	1.77
62	30.96		
63	20.07	5.92	9.85
64	10.22		
65	4.30	0.87	2.39
66	1.91		
67	1.04	0.24	0.00
68	1.04		
69	1.28	0.39	0.30
70	1.58		
71	1.97	0.01	0.44
72	2.41		
73	2.42	0.25	0.92
74	1.50		
75	1.25	0.40	0.69
76	1.94		
77	2.34	0.07	0.57
78	2.91		
79	2.98	0.07	0.95
80	3.93		
81	3.86	0.16	0.72
82	3.14		
83	2.98	0.36	0.18
84	2.80		
85	3.16	0.98	0.74
86	2.42		
87	1.44	0.21	0.30
88	1.14		
89	0.93	0.07	0.51
90	0.42		
91	0.49	0.44	0.42
92	0.91		
93	1.35	0.02	0.11
94	1.46		
95	1.44		0.21
96	1.23		

Tabel 4.4. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
97	1.33	0.10	0.11
98	1.22	0.10	
99	1.12		0.14
100	0.72	0.28	
101	0.86		
102	1.18	1.23	0.38
103	1.46		
104	1.84	0.00	0.26
105	3.07		
106	3.33		0.86
107	3.33		
108	2.47		

Pada tabel 4.4 dapat dilihat eror radius terkecil dari uji terbang misi kedua sesi pertama ada pada *waypoint* 36 dengan simpangan kurang dari 0.2 meter dan eror radius terbesar pada *waypoint* 51 dengan simpangan lebih dari 47 meter. Pada *waypoint* 50 dan 51 respon gerak wahana hanya berkurang 3 meter sehingga lintasan terbang wahana sangat jauh dari lintasan yang telah direncanakan pada *flight plan*. Kecepatan gerak wahana pada saat melintasi lintasan lurus yang pertama diambil dari Tlog adalah rata-rata sebesar 16 m/s dan pada lintasan lurus yang kedua adalah sebesar 7 m/s. Gambar 4.37 berikut ini adalah grafik dari eror radius uji terbang misi kedua sesi pertama.

Secara keseluruhan, uji terbang misi kedua sesi pertama ini mengalami peningkatan akurasi eror lintasan terbang sehingga apabila *GPS tracking* dan *flight plan* dibandingkan maka akan terlihat lintasan terbang wahana yang dekat dengan titik *waypoint*, hal ini diketahui dari hasil pengukuran eror radius yang terlihat pada gambar 4.37, pada grafik tersebut diketahui bahwa *waypoint* yang memiliki batasan jarak hingga 5 meter semakin banyak dan apabila dihitung ada 90 *waypoint*.



Gambar 3.37. Grafik eror radius uji terbang misi kedua sesi pertama

Peningkatan akurasi lintasan terbang wahana juga dipengaruhi oleh terpaan angin pada saat wahana melaksanakan misi, pada uji terbang kali ini terpaan angin diarea misi yang terukur adalah 1,7 m/s.

4.1.3.2.3 Uji Terbang Sesi Kedua

a. Edit Parameter

1. Seting konstanta PID

Setelah dilakukan uji terbang pada misi kedua sesi pertama didapat respon *airframe* wahana dari *data logger* bahwa pada saat wahana melakukan misi terbang, *tracking* wahana pada lintasan lurus menunjukkan eror yang kecil tetapi pada saat wahana melakukan *bank* atau berbelok terjadi peningkatan eror radius yang cukup signifikan. Respon tersebut menjadi acuan penulis untuk meningkatkan nilai konstanta PID yang dipakai sebesar 0,3 pada setiap konstanta

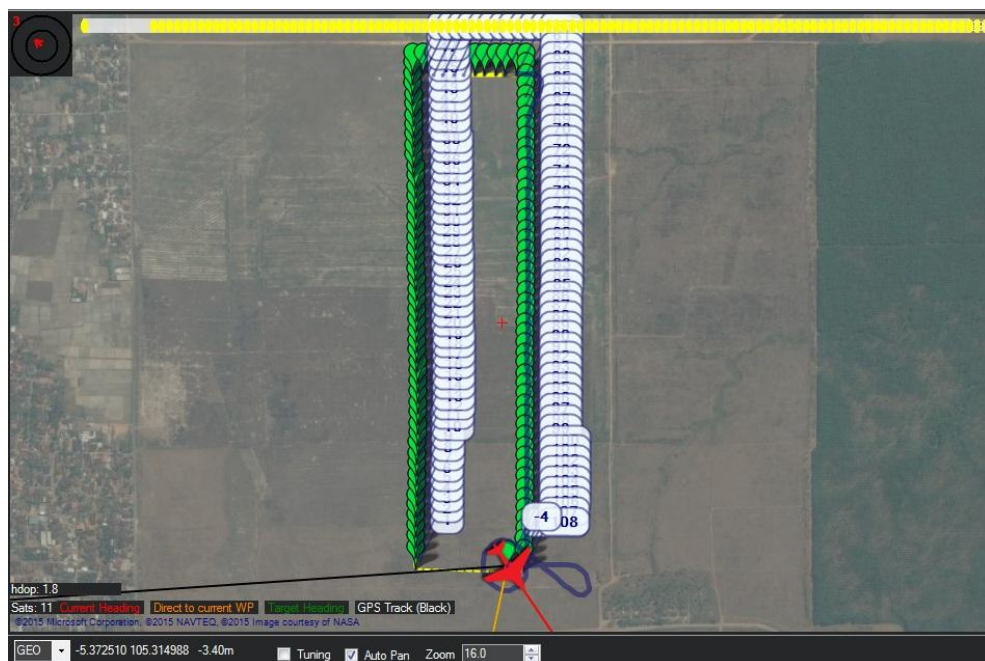
yang dipakai. Konstanta PID yang digunakan untuk uji terbang misi kedua sesi kedua ini dapat dilihat pada gambar 4.38 berikut.

Servo Roll Pid		Servo Pitch Pid		Servo Yaw	
P	1.000	P	1.000	Yaw 2 roll	1.300
I	0.070	I	0.070	Integral	0.000
D	0.050	D	0.050	Dampening	0.000
INT_MAX	30.0	INT_MAX	30.0	Intergrator Max	15.0

Gambar 4.38. Konstanta PID misi kedua sesi kedua

b. GPS Tracking

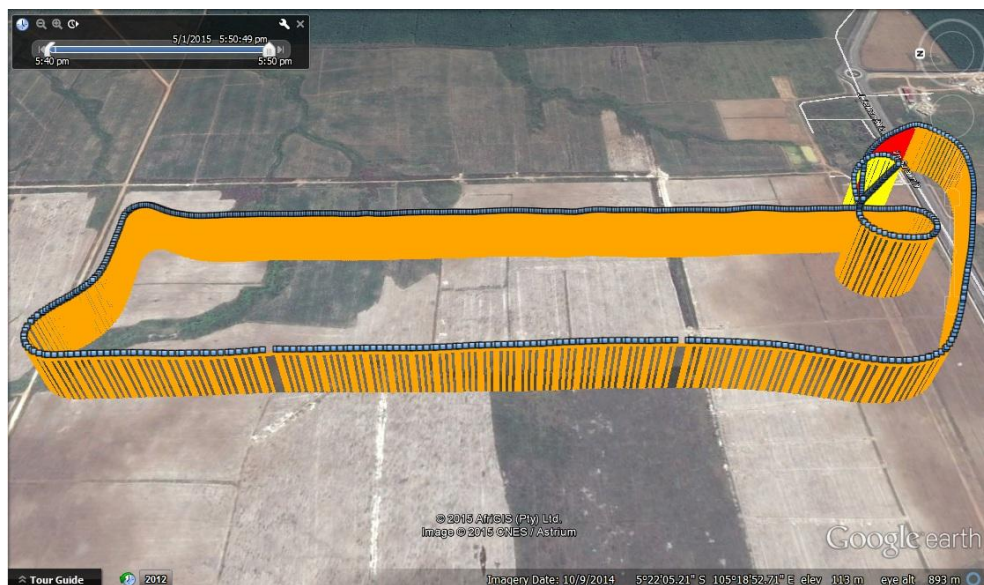
Hasil GPS *tracking* pada uji terbang misi kedua sesi kedua ini ditampilkan pada gambar 4.39. Terlihat pada gambar garis lintasan yang dilalui wahana dengan panjang lintasan lurus pertama dari *waypoint* 1 sampai *waypoint* 49 sepanjang 1000 meter kemudian lintasan lurus dari *waypoint* 60 sampai *waypoint* 108 dengan panjang yang sama.



Gambar 4.39. GPS *tracking* Mission Planner

Pada gambar tidak terlihat lintasan *tracking* yang dilalui wahana pada saat melintasi *waypoint* 1 sampai dengan *waypoint* 57, lintasan wahana baru terlihat pada *waypoint* 58 sampai *waypoint* 108.

GPS *tracking* baru dapat terlihat jelas pada saat *file* KMZ dibuka pada *software* google earth pro, dapat dilihat pada gambar 4.40. Pada gambar tersebut terlihat lintasan berwarna merah yang menandakan wahana pada waktu tersebut memakai *flight mode stabilize* kemudian lintasan berwarna *orange* adalah pada saat *flight mode auto* dan lintasan berwarna kuning adalah pada saat wahana menggunakan *flight mode stabilize* untuk landing. Pada saat wahana menggunakan *mode auto*, terlihat adanya *drift* pada saat wahana memulai untuk *bank* ke kanan menuju ke *waypoint* 50 kondisi ini terlihat sama dengan misi sebelumnya yaitu sesi pertama dan membuat eror radius terjadi. Pada saat wahana telah menyelesaikan misi, wahana kemudian mengitari *Home* sebelum *flight mode* dialihkan ke *mode stabilize*.



Gambar 4.40. GPS *Tracking* pada Google Earth Pro

c. Eror radius

Metode yang digunakan untuk pengukuran eror radius pada uji terbang misi kedua sesi kedua ini sama dengan uji terbang sesi pertama yaitu dengan menggunakan *GPS tracking* dengan titik *waypoint*. Gambar 4.41. berikut merupakan hasil dari *GPS tracking* yang telah diberi titik *waypoint* sebanyak 108 titik yang ditandai dengan logo berwarna merah dengan titik hitam ditengah-tengahnya.



Gambar 4.41. *GPS tracking* dengan titik *waypoint*

Adapun hasil dari pengukuran eror radius dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Eror radius uji terbang misi kedua sesi kedua

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
1	2.45	6.98	18.37
2	20.82		
3	27.80		
4	30.34	1.31	2.54
5	29.03	4.18	3.03
6	26.00		
7	21.82		
8	17.21	4.08	4.61
9	13.13	2.24	3.00
10	10.13		
11	7.89		
12	6.38	1.04	1.51
13	5.34		1.03

Tabel 4.5. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
14	4.31	0.85	
15	3.46		
16	2.93	0.03	0.53
17	2.96		
18	2.82	0.32	0.14
19	2.50		
20	2.24	0.19	0.26
21	2.43		
22	2.99	0.81	0.56
23	3.80		
24	4.10	0.37	0.30
25	4.47		
26	4.71	0.01	0.24
27	4.70		
28	4.95	0.12	0.25
29	5.07		
30	5.06	0.36	0.01
31	4.70		
32	4.25	0.24	0.45
33	4.01		
34	3.57	0.59	0.44
35	2.98		
36	2.94	0.02	0.04
37	2.96		
38	3.07	1.08	0.11
39	4.15		
40	5.01	0.80	0.86
41	5.81		
42	6.09	0.06	0.28
43	6.03		
44	5.69	0.95	0.34
45	4.74		
46	4.23	0.28	0.51
47	3.95		
48	3.66	0.50	0.29
49	3.16		
50	49.27	5.05	46.11
51	54.32		
52	48.78	19.99	5.54
53	28.79		
54	12.13	8.25	16.66
55	3.88		
56	0.57	0.21	3.31
57	0.36		
58	0.33	0.98	0.03
59	1.31		
60	2.59	28.14	1.28
61	30.73		
62	22.53	10.27	8.20
63	12.26		
64	6.75	2.37	5.51
65	4.38		

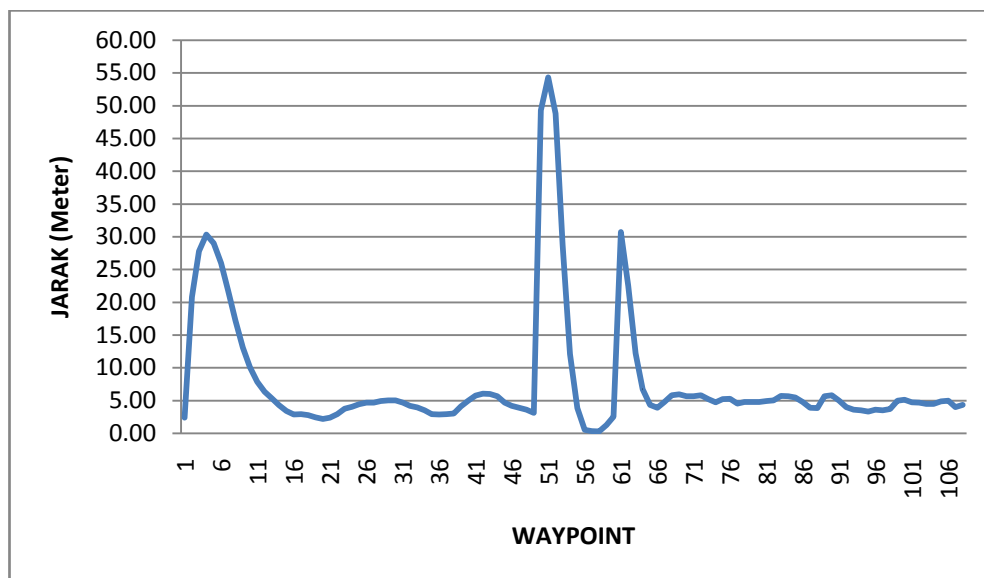
Tabel 4.5. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
66	3.95	0.87	
67	4.82		1.03
68	5.85	0.15	
69	6.00		0.30
70	5.70	0.01	
71	5.69		0.15
72	5.84	0.57	
73	5.27		0.49
74	4.78	0.50	
75	5.28		1.03
76	5.33	0.73	
77	4.60		0.21
78	4.81	0.03	
79	4.84		0.02
80	4.82	0.17	
81	4.99		0.08
82	5.07	0.67	
83	5.74		0.06
84	5.68	0.17	
85	5.51		0.67
86	4.84	0.90	
87	3.94		0.04
88	3.90	1.78	
89	5.68		0.15
90	5.83	0.83	
91	5.00		0.98
92	4.02	0.35	
93	3.67		0.10
94	3.57	0.22	
95	3.35		0.30
96	3.65	0.08	
97	3.57		0.19
98	3.76	1.27	
99	5.03		0.12
100	5.15	0.39	
101	4.76		0.05
102	4.71	0.16	
103	4.55		0.00
104	4.55	0.35	
105	4.90		0.13
106	5.03	1.00	
107	4.03		0.34
108	4.37		

Pada uji terbang misi kedua sesi kedua ini terlihat adanya peningkatan eror radius bila dibandingkan dengan uji terbang sesi pertama, hasil ini diketahui setelah data

GPS *tracking* diolah dan diukur menggunakan *software* google earth pro dan ditampilkan pada tabel 4.5.

Gambar 4.42 berikut ini adalah grafik dari eror radius uji terbang misi kedua sesi kedua.



Gambar 4.42. Grafik eror radius uji terbang misi kedua sesi kedua

Error radius terbesar pada sesi pertama yaitu 47,36 meter pada sesi kedua ini naik menjadi 54,32 meter, kemudian apabila pada sesi pertama error radius terkecil rata-rata dibawah 5 meter sedangkan pada sesi kedua ini nilai rata-rata radius menjadi 5 meter. Gambar 4.42 adalah grafik eror radius uji terbang misi kedua sesi kedua yang dibuat berdasarkan eror radius pada tabel 4.5, pada grafik terlihat perubahan eror radius yang signifikan dibandingkan dengan uji terbang sesi pertama. Error radius yang rata-rata meningkat ini disebabkan oleh perubahan konstanta PID yang dipakai dan terpaan angin yang mengenai wahana, baik itu *nose wind* ataupun *tail wind*. Perlu diketahui bahwa kecepatan angin diarea misi yang terukur pada saat uji terbang misi kedua sesi kedua ini adalah sebesar 2.6 m/s.

4.1.3.2.4 Uji Terbang Sesi Ketiga

a. Edit Parameter

1. Seting konstanta PID

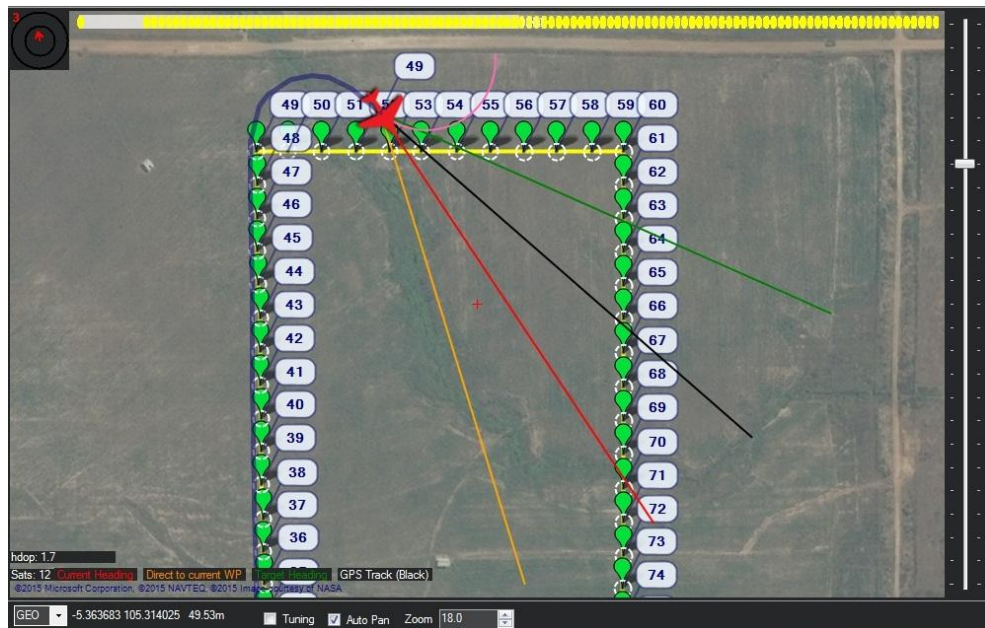
Setelah dilakukan uji terbang pada misi kedua sesi kedua didapat respon *airframe* wahana dari *data logger*, dari respon tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa wahana dapat merespon kenaikan konstanta PID yang diberikan namun besar kenaikan tersebut belum dapat membuat lintasan wahana mengalami penurunan eror radius yang disebabkan oleh terpaan angin pada wahana. Konstanta PID yang digunakan untuk uji terbang misi kedua sesi ketiga ini dapat dilihat pada gambar 4.43.



Gambar4.43. Konstanta PID misi kedua sesi ketiga

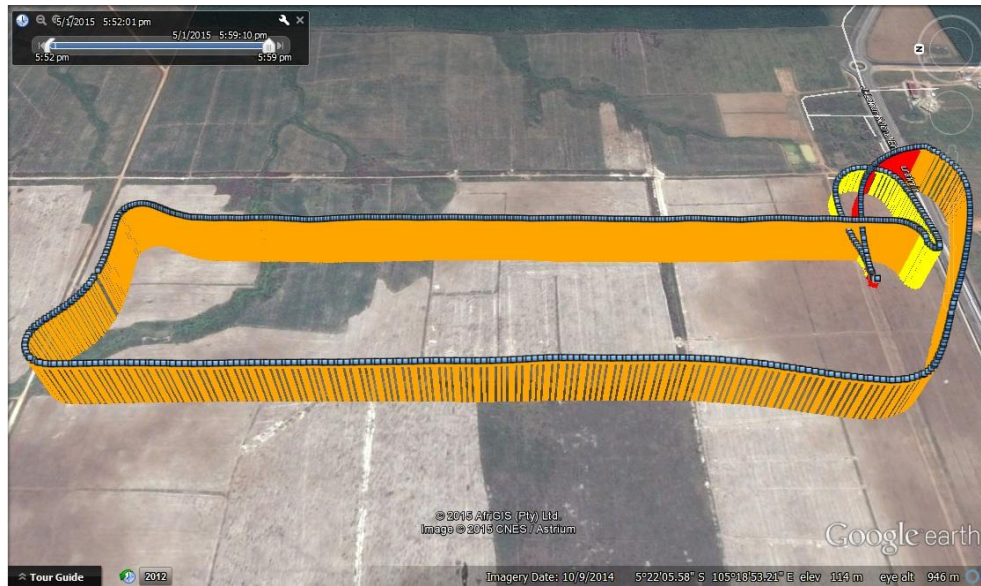
b. GPS Tracking

Hasil GPS *tracking* pada uji terbang misi kedua sesi ketiga ini ditampilkan pada gambar 4.44. Terlihat pada gambar, garis lintasan yang dilalui wahana berada disebelah kiri dari lintasan *flight plan*. Kondisi ini diakibatkan dari adanya terpaan angin dari ekor wahana kearah samping kiri sehingga wahana menahan posisi *nose* agar tidak bertambah melebar ke kiri.



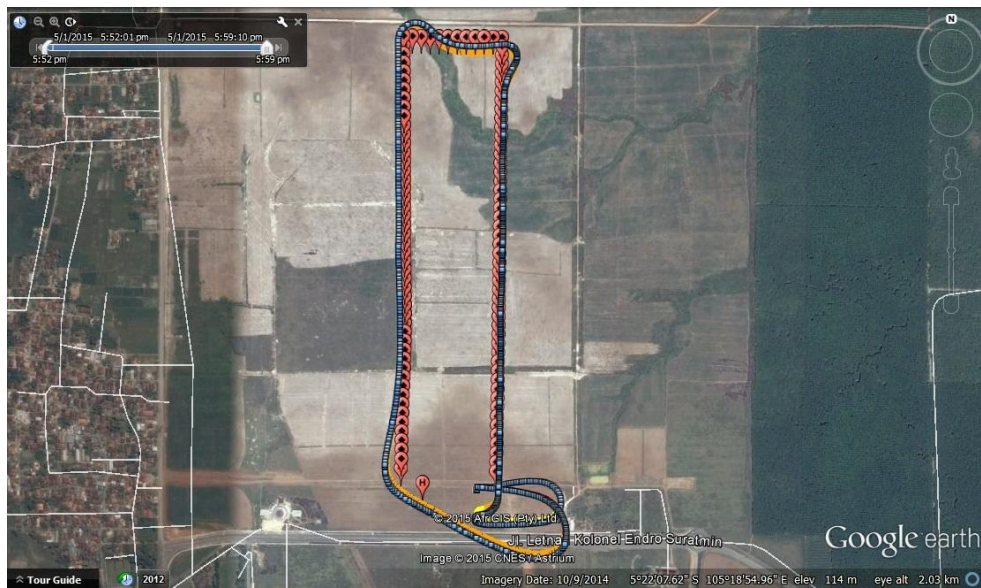
Gambar 4.44. GPS Tracking Mission Planner

GPS tracking baru dapat terlihat seluruhnya pada saat file KMZ dibuka pada software google earth pro, dapat dilihat pada gambar 4.45. Pada gambar tersebut terlihat lintasan berwarna merah yang menandakan wahana pada waktu tersebut memakai *flight mode* stabilize kemudian lintasan berwarna orange adalah pada saat *flight mode auto* dan lintasan berwarna kuning adalah pada saat wahana menggunakan *flight mode stabilize* untuk landing. Pada saat wahana menggunakan *mode auto*, terlihat adanya *drift* pada saat wahana memulai untuk bank ke kanan menuju ke waypoint 50 kondisi ini terlihat sama dengan misi sebelumnya yaitu sesi pertama dan kedua yang membuat eror radius terjadi. Pada saat wahana telah menyelesaikan misi, wahana kemudian mengitari *home* sebelum *flight mode* dialihkan ke *mode stabilize*.



Gambar 4.45. GPS Tracking pada Google Earth Pro

c. Error radius



Gambar 4.46. GPS tracking dengan titik waypoint

Metode yang digunakan untuk pengukuran error radius pada uji terbang misi kedua sesi ketiga ini sama dengan uji terbang sesi kedua yaitu menggunakan GPS tracking dengan titik waypoint. Gambar 4.46. merupakan hasil dari GPS tracking

yang telah diberi titik *waypoint* sebanyak 108 titik yang ditandai dengan logo berwarna merah dengan titik hitam ditengah-tengahnya.

Hasil dari pengukuran eror radius dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Eror radius uji terbang misi kedua sesi ketiga

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
1	1.66	6.73	17.87
2	19.53		
3	26.26		
4	27.80	2.14	1.54
5	25.66	3.16	3.25
6	22.41		
7	19.25		
8	15.27	3.21	3.98
9	12.06	2.21	2.56
10	9.50		
11	7.29		
12	6.08	1.66	1.21
13	4.42	0.59	1.51
14	2.91		
15	2.32		
16	1.70	0.04	0.62
17	1.74	0.21	0.11
18	1.85		
19	2.06		
20	1.82	0.18	0.24
21	2.00	0.50	0.07
22	2.07		
23	2.57		
24	3.16	0.70	0.59
25	3.86	0.02	0.68
26	4.54		
27	4.56		
28	3.70	0.02	0.86
29	3.68	0.29	0.38
30	3.30		
31	3.59		
32	3.64	0.69	0.05
33	4.33	0.28	0.24
34	4.57		
35	4.85		
36	4.55	0.06	0.30
37	4.61	0.22	0.07
38	4.68		
39	4.90		
40	4.87	0.15	0.03
41	5.02		0.05

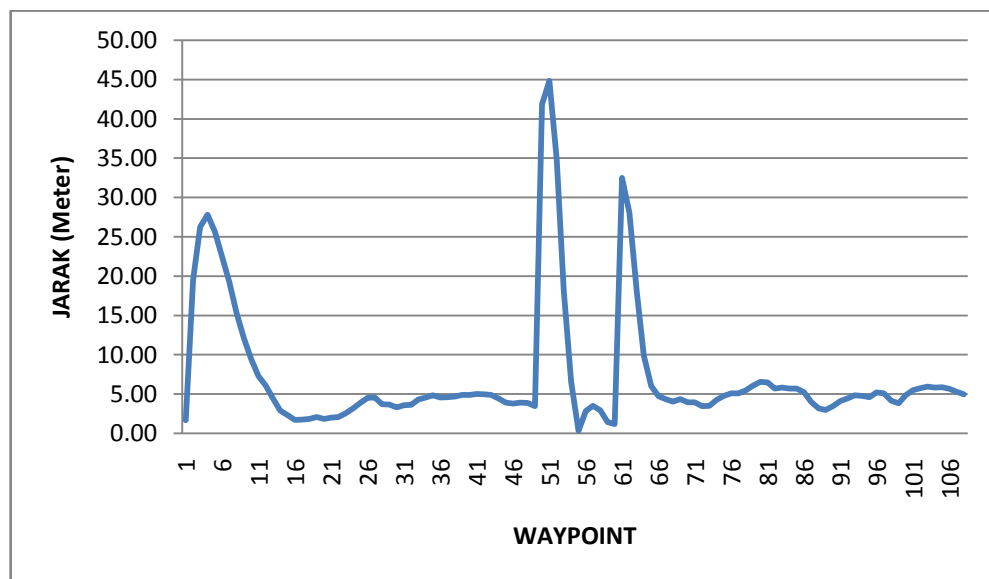
Tabel 4.6. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
42	4.97	0.08	
43	4.89		
44	4.44	0.53	0.45
45	3.91		
46	3.78	0.14	0.13
47	3.92		
48	3.87	0.39	0.05
49	3.48		
50	41.83	2.99	38.35
51	44.82		
52	34.81	16.70	10.01
53	18.11		
54	6.55	6.22	11.56
55	0.33		
56	2.87	0.62	2.54
57	3.49		
58	2.93	1.52	0.56
59	1.41		
60	1.19	31.28	0.22
61	32.47		
62	28.04	10.00	4.43
63	18.04		
64	9.90	3.86	8.14
65	6.04		
66	4.72	0.34	1.32
67	4.38		
68	4.05	0.31	0.33
69	4.36		
70	3.95	0.02	0.41
71	3.97		
72	3.45	0.04	0.52
73	3.49		
74	4.28	0.47	0.79
75	4.75		
76	5.09	0.02	0.34
77	5.11		
78	5.47	0.60	0.36
79	6.07		
80	6.56	0.09	0.49
81	6.47		
82	5.71	0.12	0.76
83	5.83		
84	5.72	0.02	0.11
85	5.70		
86	5.26	1.26	0.44
87	4.00		
88	3.16	0.20	0.84
89	2.96		
90	3.48	0.62	0.52
91	4.10		
92	4.46	0.38	0.36
93	4.84		

Tabel 4.6. Lanjutan

WAYPOINT	JARAK (Meter)	SELISIH JARAK (Meter)	
94	4.77	0.15	0.58
95	4.62		
96	5.20	0.09	
97	5.11		0.30
98	4.14		
99	3.84	0.68	
100	4.83		0.25
101	5.51		
102	5.76	0.20	
103	5.96		0.15
104	5.81		
105	5.86	0.05	
106	5.67		
107	5.31	0.36	0.34
108	4.97		

Gambar 4.47 berikut ini adalah grafik dari eror radius uji terbang misi kedua sesi ketiga.

**Gambar 4.47.** Grafik eror radius uji terbang misi kedua sesi ketiga

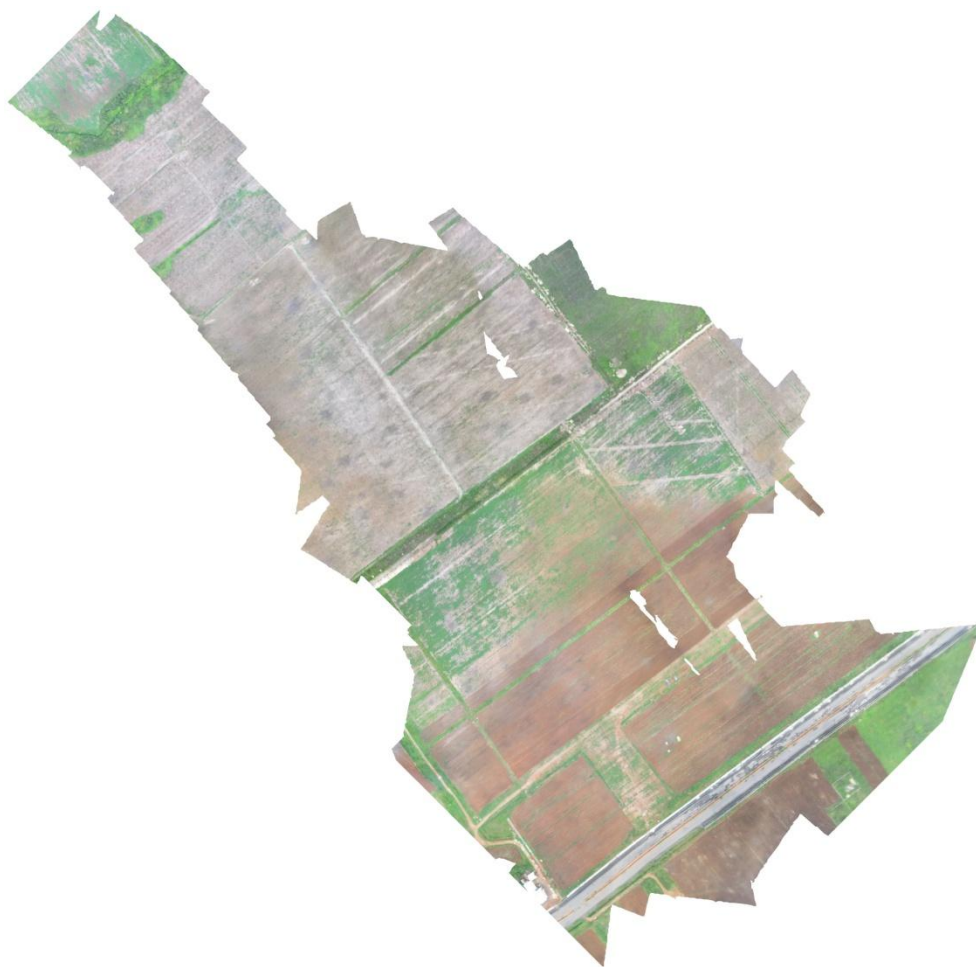
Pada uji terbang misi kedua sesi ketiga ini terlihat adanya peningkatan rata-rata eror radius bila dibandingkan dengan uji terbang sesi pertama dan kedua. Apabila

pada sesi pertama eror radius terkecil rata-rata dibawah 5 meter sedangkan pada sesi ketiga ini sama dengan sesi kedua yaitu nilai rata-rata radius menjadi 5 meter. Gambar 4.47 adalah grafik eror radius uji terbang misi kedua sesi ketiga yang dibuat berdasarkan eror radius pada tabel 4.6, pada grafik terlihat perubahan eror radius yang signifikan dibandingkan dengan uji terbang sesi pertama dan kedua. Kecepatan angin diarea misi yang terukur pada saat uji terbang misi kedua sesi ketiga ini adalah sebesar 2.6 m/s. Saat wahana melintasi lintasan lurus pertama, wahana mengalami *tail wind* sehingga kecepatan terbang wahana mengalami peningkatan menjadi 16 m/s sedangkan pada lintasan lurus yang kedua wahana mengalami *nose wind* dan mengalami penurunan kecepatan menjadi 8 m/s. Peningkatan eror radius pada lintasan lurus ini berbanding terbalik dengan eror radius pada saat wahana berbelok kek arah kanan, Pada sesi pertama dan kedua tercatat eror radius terbesar pada saat wahana berbelok *bank* kearah kanan adalah 47.26 meter dan 54.32 meter sedangkan pada sesi ketiga ini eror radius tersebut mengalami penurunan menjadi 44.82 meter.

4.1.4 Hasil Foto Udara

Berdasarkan tujuan unila robotika dan otomasi dibidang wahana udara tanpa awak yang memfokuskan penelitian pada foto dan video udara, salah satu hasil dari penelitian pengembangan wahana udara tanpa awak ini adalah sampel foto udara. Peta foto adalah peta yang dihasilkan dari mozaik foto udara yang dilengkapi dengan garis kontur, nama, dan legenda.

Hasil sampel peta foto pada penelitian ini tidak dilengkapi dengan *georeferens* karena keterbatasan alat yang digunakan sehingga tidak dapat langsung dijadikan dasar penerbitan peta. Penulis memilih lokasi tanah kosong Institut Teknologi Sumatera sebagai lokasi sampel peta foto ini. Adapun hasil sampel peta dapat dilihat pada gambar 4.48. berikut



Gambar 4.48. Hasil Peta foto

Sampel peta foto ini dibangun dari 128 foto udara yang digabung menjadi satu kesatuan menggunakan *software* agisoft photoscan. Foto-foto tersebut diambil

pada ketinggian 150 meter diatas permukaan tanah menggunakan kamera digital canon A2300 dengan *shutter delay* 2 detik, kecepatan wahana pada saat *cruising* mengambil foto adalah 17 m/s.

4.2 Pembahasan

Setiap *autopilot* memiliki parameter-parameter *default* yang telah diuji oleh pembuatnya, pengujian parameter tersebut menggunakan wahana yang berbeda dengan wahana yang akan kita pakai. Agar *autopilot* dapat bekerja secara optimal dan memiliki akurasi tinggi pembacaan eror sensor pada wahana yang kita pakai sehingga respon gerak wahana semakin responsif, diperlukan perubahan-perubahan pada parameter tersebut.

Perubahan parameter *default* dari *autopilot* memerlukan percobaan-percobaan uji terbang dengan kondisi dan situasi tertentu sehingga didapat karakteristik terbang yang sesuai dengan *airframe* wahana. Ada beberapa faktor yang menjadi dasar respon gerak *airframe* yaitu respon gerak aktuator, kondisi angin, lintasan terbang, parameter kendali dan sistem tenaga. Penelitian ini membahas masalah lintasan terbang dan parameter kendali dengan mengabaikan beberapa faktor yang lain, sehingga dapat dikatakan penelitian ini belum dapat dijadikan acuan lengkap untuk pemasangan *autopilot* pada wahana Proto-03.

Akurasi pembacaan koordinat bumi menjadi salah satu faktor penting tercapainya lintasan terbang yang akurat disamping penggunaan parameter yang tepat dan faktor-faktor lainnya. Keakuratan ini ditentukan oleh penerima GPS sebagai

perangkat yang menerima sinyal satelit kemudian melakukan perhitungan jarak sehingga didapat koordinat bumi yang sesuai dengan posisi penerima pada saat itu. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja penerima GPS ini diantaranya pemilihan tipe modul penerima, antena yang dipakai, frekuensi kerja dan lama penggunaan. Peneliti menggunakan penerima GPS dengan modul Ublox NEO-6M yang tertanam didalamnya, ada beberapa varian tipe modul Ublox NEO yang keakuratan dan frekuensi kerja lebih tinggi dari modul yang digunakan sehingga pada misi terbang didapat lintasan terbang yang memiliki rata-rata eror 1 meter.

Uji terbang pada penelitian ini dibagi menjadi dua misi dimana setiap misi terdapat tiga sesi penerbangan. Uji terbang yang dilakukan menggunakan *throttle* cruise sebesar 30%, pemakaian *throttle* cruise dapat diabaikan apabila *autopilot* menggunakan sensor kecepatan angin (*airspeed sensor*) sehingga kecepatan wahana pada saat misi konstan pada nilai tertentu.

4.2.1 Uji Terbang Misi Pertama

Misi pertama uji terbang pada penelitian ini menggunakan parameter *default* dari *autopilot* sedangkan panjang lintasan dibuat berubah-ubah pada setiap sesi penerbangannya. Kondisi tersebut bertujuan untuk mengetahui jarak antar *waypoint* yang tepat untuk parameter-parameter *default* tersebut sehingga pada misi kedua, jarak antar *waypoint* yang digunakan merupakan jarak ideal.

Pada sesi pertama penerbangan, penulis membuat *waypoint* sebanyak 10 titik dengan jarak 50 meter antar *waypoint* dan lintasan lurus sepanjang 400 meter. Pada saat wahana melakukan misi terbang, kecepatan wahana yang tercatat adalah

sebesar 21 m/s saat lintasan lurus pertama dan 12 m/s pada lintasan lurus kedua. Kondisi ini membuat lintasan terbang wahana memiliki eror radius yang besar karena wahana tertiup angin dan jarak antar *waypoint* sebesar 50 meter ternyata semakin memperburuk respon gerak dari wahana karena ketika wahana mencapai *waypoint* dengan eror lintasan besar, respon wahana untuk mengurangi eror lintasan pada *waypoint* berikutnya menjadi lambat karena jarak tersebut. Secara keseluruhan, uji terbang pertama sesi pertama ini masih terdapat banyak error, hal ini disebabkan oleh respon kontrol yang belum baik sehingga dengan *flight plan* yang kerapatan *waypoint* sebesar 50 meter dan lintasan lurus 200 meter, respon terbang wahana belum dapat mengikuti jalur misi yang direncanakan.

Pada sesi kedua penerbangan, jumlah titik *waypoint* ditambah menjadi 22 titik dengan jarak antar *waypoint* adalah 20 meter dan lintasan lurus sepanjang 400 meter. Lintasan terbang wahana menjadi semakin baik dengan rata-rata eror radius lintasan semakin mengecil, hasil tersebut juga didukung oleh kecepatan angin dilokasi uji yang lambat sehingga kecepatan wahana pada lintasan lurus pertama adalah 18 m/s dan lintasan lurus kedua 7 m/s. Lintasan terbang dengan rata-rata eror radius kecil terdapat pada lintasan lurus kedua karena terpaan angin dari depan sehingga kecepatan wahana semakin lambat. Secara keseluruhan, uji terbang misi pertama sesi kedua ini lebih baik dari sesi pertama, hal ini disebabkan oleh kerapatan *waypoint* sebesar 50 meter per *waypoint* pada sesi pertama kemudian penulis tambahkan lagi kerapatannya menjadi 20 meter per *waypoint* dengan lintasan lurus yang sama yaitu 200 meter, kondisi ini membuat respon autopilot menjadi sensitif untuk membaca titik *waypoint* setiap 20 meter

sehingga lintasan terbang wahana menjadi semakin dekat dengan lintasan yang telah direncanakan pada *flight plan*.

Sesi penerbangan ketiga menggunakan jumlah titik *waypoint* sama dengan sesi kedua yaitu 22 titik, jarak antar *waypoint* diperkecil menjadi 10 meter dengan maksud untuk mengetahui respond wahana. Pada sesi ketiga ini lintasan terbang wahana pada setiap titik *waypoint*nya memiliki eror lintasan yang sangat besar bila dibandingkan dengan sesi pertama dan kedua walaupun kecepatan terbang wahana sama dengan kecepatan terbang pada sesi kedua. Jarak lintasan lurus yang pendek yaitu sepanjang 100 meter dan jarak antar titik *waypoint* yang pendek ternyata mempengaruhi lintasan terbang wahana. Secara keseluruhan, uji sesi ketiga ini tidak sesuai dengan apa yang diharapkan bila dibandingkan dengan uji terbang kedua, tetapi apabila dibandingkan dengan uji sesi pertama hasilnya tidak jauh berbeda. Pada uji sesi pertama, wahana dapat mempertahankan akurasi lintasan dibawah 5 meter pada saat melintasi 3 *waypoint* terakhir yaitu *waypoint* 8, 9 dan 10, bila dihitung panjang lintasan dari ketiga *waypoint* tersebut didapat panjang lintasan sepanjang 100 meter. Pada uji sesi kedua, akurasi lintasan terbang wahana dibawah 5 meter menjadi bertambah yaitu mulai dari *waypoint* 16 sampai dengan *waypoint* 22 dan bila dihitung panjang lintasan yang dilalui adalah sepanjang 120 meter. Pada uji sesi ketiga ini, akurasi lintasan kurang dari 5 meter berturut-turut adalah hanya pada 2 *waypoint* yaitu *waypoint* 21 dan 22 dan apabila dihitung panjang lintasan lurus yang dilalui adalah sepanjang 20 meter.

Setelah dilakukan misi terbang pertama didapat bahwa jarak titik *waypoint* yang tepat untuk parameter *default* dari *autopilot* adalah sebesar 20 meter dengan kecepatan wahana pada saat *cruising* harus dibawah 10 m/s.

4.2.2 Uji Terbang Misi Kedua

Lintasan misi *flight plan* yang dibuat untuk misi kedua ini menggunakan hasil dari uji misi pertama sesi kedua dimana jarak ideal antar *waypoint* adalah 20 meter. Penulis menambahkan jarak lintasan lurus hingga 1000 meter untuk mengetahui respon *autopilot* terhadap jarak terbang.

Pada misi kedua ini, penulis menggunakan konstanta PID yang berbeda-beda pada setiap sesi penerbangan sedangkan lintasan terbang tidak diubah, hal ini dibuat untuk mencari nilai konstanta yang tepat agar respon terbang wahana semakin lebih baik. Nilai konstanta yang tepat sangat diperlukan oleh *autopilot* agar respon *airframe* wahana pada saat terbang dapat mengurangi eror yang disebabkan oleh angin.

Pada penerbangan sesi pertama dengan memakai konstanta *default* dari *autopilot* didapat hasil bahwa lintasan terbang wahana yang terdiri dari 108 titik *waypoint* tersebut memiliki eror radius kurang dari 5 meter pada keseluruhan titik *waypoint* dilintasan lurus. Kecepatan angin dilokasi uji sebesar 1.7 m/s ternyata tidak signifikan mempengaruhi wahana untuk melakukan *drift* pada saat terbang. Terpaan angin 1.7 m/s tersebut menerpa wahana dari arah belakang ke depan saat melintasi lintasan lurus pertama dan membuat kecepatan wahana pada itu rata-rata adalah 16 m/s, kondisi ini disebut dengan *tail wind*. Pada saat melintasi lintasan lurus kedua, wahana terkena terpaan angin ini dari arah depan ke belakang atau yang sering disebut *nose wind* dan terpaan angin ini membuat kecepatan wahana menurun menjadi 7 m/s. Penurunan kecepatan ini membuat tingkat akurasi lintasan menjadi semakin baik dilintasan lurus kedua daripada lintasan lurus yang pertama.

Pada sesi kedua, konstanta PID yang dipakai merupakan penjumlahan dari PID *default* ditambah 0.3 untuk setiap konstanta baik itu PID *Roll*, PID *Yaw* dan PID *Pitch*. Perubahan nilai konstanta tersebut memberikan hasil bahwa respon gerak wahana semakin meningkat tetapi karena kecepatan angin dilokasi uji juga meningkat menjadi 2.6 m/s, respon ini tetap tidak dapat menghasilkan lintasan terbang yang memiliki error radius minimum. Saat wahana melintasi lintasan lurus pertama, wahana mengalami *tail wind* sehingga kecepatan terbang wahana mengalami peningkatan menjadi 18 m/s sedangkan pada lintasan lurus yang kedua wahana mengalami *nose wind* dan mengalami penurunan kecepatan menjadi 7 m/s. Kondisi *tail wind* dan *nose wind* ini ternyata berpengaruh besar terhadap peningkatan error radius pada lintasan terbang wahana.

Pada sesi penerbangan ketiga, pemakaian konstanta PID merupakan penjumlahan nilai konstanta pada sesi kedua ditambah 0.3 untuk setiap konstanta. Peningkatan konstanta PID yang diterapkan pada uji terbang sesi ketiga ini berhasil mengurangi error radius wahana pada saat melakukan bank walaupun diterpa *tail wind* sebesar 2.6 m/s dengan kecepatan gerak wahana sebesar 16 m/s tetapi kondisi ini tidak memberikan hasil yang baik ketika wahana melintasi lintasan yang lurus.