

Sistem Kendali Pada Hybrid *Blimp Drone* Menggunakan Metode PID

1st Mochammad Amirul Mu'minin

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

mochammadamirulm@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Angga Rusdinar

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id

3rd Willy Anugrah Cahyadi

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

waczze@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Tecnologi pesawat tanpa awak atau biasa disebut UAV(Unmanned Aerial Vehicle) mampu dikendalikan baik secara manual atau autonomous (otomatis) dari jarak jauh. Pada penelitian kali ini drone quadcopter dikonfigurasi dengan balon PVC transparan ukuran 24 inch dan disebut dengan nama blimp drone. Lalu pada penelitian drone ini diimplementasikan blimp drone menggunakan konfigurasi drone quadcopter dengan tambahan balon PVC ukuran 24 inch tanpa rangka sebagai efisiensi terhadap daya angkat selain dari tiap motor brushless nya. Lalu dalam penelitian kali ini metode yang digunakan dalam pengujian yakni metode PID Fine Tuning pada tiap pengujiannya, hal ini bertujuan agar mendapatkan nilai kestabilan terhadap balon agar dapat stabil pada saat ditinggikan tertentu. Dalam metode Fine Tuning terhadap PID disini dilakukan dengan mencoba mendapatkan nilai terbaik dari respon tiap gerakannya. Dan dari hal tersebut pada penelitian kali ini penulis dapat membuktikan dengan adanya balon disini blimp berfungsi hingga mengefisiensi terhadap daya angkat hingga 11.15% hanya dengan ukuran balon 24 inch atau 69,96cm diameter lingkaran. blimp drone dapat dijalankan dengan stabil terhadap ketinggian dan mampu mempertahankan ketinggian 5 meter selama setidaknya 10 detik dan dijalankan secara autonomous sekalipun.

Kata kunci— fine tuning, uav, altitude, bicopter, blimp drone, autonomous.

I. PENDAHULUAN

Tecnologi pesawat tanpa awak atau biasa disebut UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ini mampu dikendalikan baik secara manual menggunakan remote atau secara autonomous (otomatis). Tecnologi drone sendiri sering dijumpai dalam bidang pertanian, militer, dan lain sebagainya tergantung dari kebutuhan yang diinginkan. Saat ini tecnologi yang akan digunakan yakni salah satu contohnya pada bidang pertanian baik dari penyebaran pestisida, logistik dan lain sebagainya. Lalu pada penelitian drone kali ini diimplementasikan blimp drone menggunakan konfigurasi drone quadcopter dengan tambahan balon PVC ukuran 24 inch tanpa rangka sebagai efisiensi terhadap daya angkat selain dari tiap motor brushless nya dan juga penggunaan balon pada blimp drone kali ini agar lebih mengefisiensi terhadap konsumsi terhadap arus pada baterai.

Umumnya pada penelitian blimp drone menggunakan konfigurasi bicopter dalam penelitiannya namun kekurangannya blimp drone susah untuk dikendalikan walaupun dalam ruangan sekalipun dan harus menyeimbangkan antara massa balon dengan yang dibawa seperti pada [2]. Oleh karena itu pada penelitian kali ini penulis mengimplementasikan dengan menggunakan konfigurasi quadcopter yang kemudian diintegrasikan

dengan metode PID sehingga lebih mudah untuk dikendalikan dan mampu dilakukan pengujian diluar ruangan. Lalu untuk metode PID yang digunakan pada penelitian kali ini yakni menggunakan metode Fine Tuning dengan langsung melihat respon terhadap masing-masing dari gerakannya dan merujuk pada [4] sebagai referensi sistem kendali pada quadcopter. Lalu dalam penelitian kali ini penulis mencoba mengimplementasi quadcopter dengan balon PVC ukuran 24 inch dengan tujuan agar mengefisiensi terhadap daya angkatnya. Lalu dalam penelitian kali ini juga dengan tujuan mendapatkan nilai kestabilan blimp drone terhadap ketinggian di ketinggian tertentu dengan melihat respon langsung terhadap nilai PID pada masing-masing gerakannya. Dari hal tersebut mengapa blimp drone ini akan membantu dan mempermudah manusia, dikarenakan banyak manfaatnya salah satunya dalam dunia pertanian saat waktu menebar benih blimp drone ini mampu menebar benih dan mampu menebar pestisida hingga panen tanpa perlu banyak tenaga dan waktu yang dilakukan dengan langsung terjun ke persawahan. Cukup dengan kontrol blimp drone tersebut lewat remote control untuk mengontrol dan menebar pestisida tersebut dan juga dapat dikontrol dengan mode auto blimp drone tersebut akan pergi untuk dikontrol dengan mengarah ke titik-titik yang perlu disebar pestisida tersebut.

II. KAJIAN TEORI

A. Balon Udara

Balon udara merupakan sebuah pesawat udara yang terbang dengan memanfaatkan gas angkat yang bersifat aerostat atau bersifat lebih ringan dari udara. Karena hidrogen mudah terbakar, maka gas yang digunakan adalah helium yang memiliki gaya angkat 1 kg/m³. Ada 3 jenis balon udara, yaitu balon udara berangka, balon udara semi-rangka dan dan balon udara tanpa rangka. Balon udara tanpa rangka, adalah sebuah balon udara tanpa struktur kerangka internal. Tidak seperti balon udara semi-rangka, balon udara tanpa rangka mengandalkan gaya angkat gas (biasanya helium, daripada hidrogen) di dalam penampung gas berupa balon untuk melayang di udara dan kekuatan gaya angkat gas itu sendiri mempertahankan bentuknya.

Balon udara yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis balon udara tanpa rangka berbentuk bulat yang menggunakan gas helium sebagai gas angkatnya. Didalam balon terdapat daya angkat sehingga bisa mengeluarkan semua energinya untuk propulsi, maka dari itu karena tidak memerlukan sistem propulsi konstan balon udara dapat mematikan sistem propulsi dan melayang dengan hanya

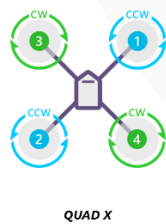
mengaktifkan secara berkala untuk mempertahankan posisi sehingga menghemat energi.[2] Untuk stabilisasi kemiringan balon, biasanya balon digantungkan beban, sehingga kemiringan balon dapat diatur sesuai keinginan. Selain itu beban tersebut juga digunakan sebagai pemberat balon agar tidak melayang terlalu tinggi. Beban yang digunakan tersebut bernama kompensator apung.

B. UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Merupakan teknologi dari pesawat terbang atau transportasi udara tanpa awak atau tanpa sopir yang menggunakan gaya aerodinamik untuk menghasilkan daya angkat dan dioperasikan secara *autonomous* ataupun terkontrol oleh *remote*. Dapat dioperasikan dengan radio kontrol dari jarak jauh dan membawa muatan didalamnya. Secara umum UAV sendiri juga dikenal sebagai *drone* dan lain sebagainya. UAV juga merupakan peralatan navigasi yang terkadang terbang dengan bantuan alat yang sederhana. *Drone* yang paling sering diaplikasikan yakni dalam bentuk *quadcopter* atau berkaki empat. Dalam UAV sendiri terdapat rotor yang berguna sebagai penghasil gaya angkat yang jika lebih dari satu disebut multirotor. Untuk pengendaliannya terdapat variasi dalam kecepatan yang kemudian akan menyesuaikan terhadap arah gerak.

C. Quadcopter

Merupakan bagian dari *drone* yang merupakan penggerak atau motor yang terdiri dari 4 motor penggerak dan propellernya. Seiring berkembangnya zaman yang semakin maju, pemanfaatan *quadcopter* sebagai robot udara atau terbang baik dalam dunia pertanian, perkebunan, pertambangan dan lain sebagainya. Walau dikenal dikhalayak umum sebagai mainan, *quadcopter* sendiri memiliki fungsi diantaranya sebagai pemetaan lokasi, pengintaian, logistik, dan juga pemantauan terhadap bencana alam di tempat yang susah dijangkau oleh manusia. Untuk bergerak naik, diperlukan kecepatan yang sama dan cukup besar pada setiap rotornya[3]. Berikut keterangan konfigurasi pada gerakan *quadcopter*:



Gambar 1 Konfigurasi *quadcopter*

D. Gerakan Dasar *Quadcopter*

Didalam *quadcopter* sendiri terdapat gerakan dasar yang diterapkan diantaranya sebagai berikut:

1. Throttle atau Height

Merupakan gerakan yang mampu mengatur naik atau turunnya kecepatan dari semua propeller dalam jumlah yang sama.

2. Roll

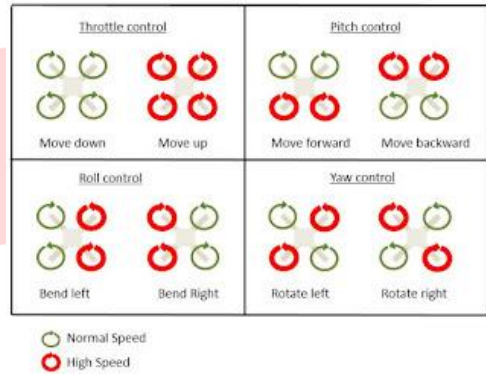
Gerakan ini dapat dilakukan dengan mengurangi atau menambah kecepatan salah satu propeller bagian kiri atau kanan.

3. Pitch

Gerakan ini dapat dilakukan dengan mengurangi atau menambah kecepatan salah satu propeller bagian depan atau belakang

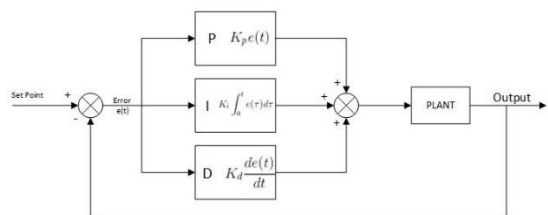
4. Yaw

Gerakan ini dapat dilakukan dengan mengurangi atau menambah kecepatan propeller bagian depan belakang dan kanan kiri secara bersamaan.



Gambar 2 Gerakan Dasar *Quadcopter*

E. Kontrol PID



Gambar 3 Blok Diagram Kontroler PID

PID (proportional integral derivative *controller*) merupakan sistem kendali loop tertutup yang memiliki elemen-elemen kontroler P, I dan D masing masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Jika masing-masing dari ketiga pengendali tersebut berdiri sendiri, hasil yang dicapai kurang bagus sebab masing-masing memiliki kelemahan dan kelebihan sendiri-sendiri. Karena itu kombinasi dari ketiga sistem kendali tersebut diharapkan dapat mengeliminasi kelemahan dari masing-masing dan mampu memberikan kontribusi dari kelebihan masing masing. Lalu untuk meminimalisir nilai kesalahan setiap waktu dengan pengaturan variabelnya ke nilai yang baru dari kontrol tersebut menggunakan rumus:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.1}$$

Namun pada penelitian kali ini penulis menggunakan metode PID *Fine Tuning* dengan melihat respon langsung

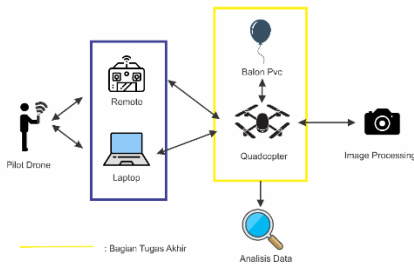
terhadap tiap masing-masing gerakan *drone quadcopter* tersebut dikarenakan terdapat tambahan balon pada *quadcopter* tersebut.

III. METODE

Sistem yang dirancang adalah sistem kendali *blimp drone* agar dapat mempertahankan ketinggian pada ketinggian tertentu dengan nilai PID yang sudah disempurnakan dari masing-masing gerakannya.

A. Desain Sistem

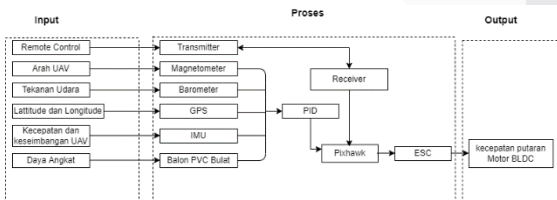
Desain perancangan sistem dalam hybrid *blimp drone* ini bertujuan untuk menguji apakah *blimp drone* dapat mengangkat beban atau payload dengan mempertahankan nilai *altitude* pada tiap motornya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode PID *Fine Tuning* dan untuk menentukan mode yang akan dilakukan baik dengan *remote control* atau dengan *autonomous* yang bisa di set atau diatur pada *software mission planner*. Untuk kemampuan *quadcopter* tersebut agar dapat mengangkat beban atau payload, motor brushless akan dibantu dengan adanya daya angkat dari balon PVC. Selain itu didalam *flight controller* pada *blimp drone quadcopter* tersebut terdapat sensor sensor yakni Barometer, magnetometer, gyroscope, dan accelerometer.



Gambar 4 Gambaran Umum Sistem

Penelitian ini hanya berfokus pada sistem kendali dari *blimp drone* sendiri menggunakan metode PID *Fine Tuning* dengan langsung melihat respon dari masing-masing tiap gerakannya. dari hal tersebut tujuan penelitian ini adalah apakah *blimp drone* ini mampu untuk mengefisiensi terhadap daya angkat dan konsumsi arus serta apakah *blimp drone* ini mampu mempertahankan ketinggian pada ketinggian tertentu.

B. Diagram Blok Individu

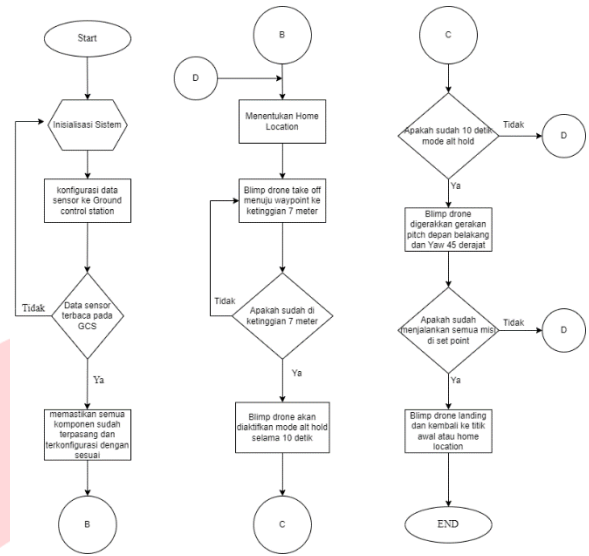


Gambar 5 Diagram Blok Individu

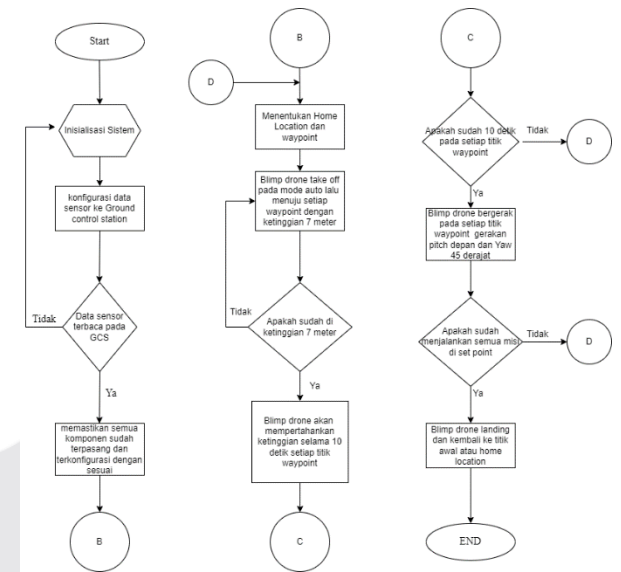
Quadcopter pada hybrid *blimp drone* ini dirancang untuk bisa terbang secara manual dan *autonomous* dengan kendali dari *remote control* yang terhubung dengan *receiver* 2.4 GHz lalu untuk kendali *autonomous* dapat dikonfigurasi menggunakan mode auto pada *software mission planner*. Didalam *blimp drone* kali ini terdapat gaya angkat dari *drone* yang akan terbantu oleh adanya balon PVC bulat

dengan ukuran panjang 24 Inch atau lingkaran diameter 69,96 sentimeter.

C. Diagram Alir Sistem



Gambar 6 Diagram Alir Sistem Saat *Blimp drone* Mode Alt Hold



Gambar 7 Diagram Alir Sistem Saat *Blimp drone* Mode Auto

D. Perhitungan Daya Angkat Balon

Pada penelitian kali ini penulis menggunakan balon PVC ukuran 24 inch atau 69,96 cm diameter lingkaran yang kemudian diisi dengan hasil dari reaksi antara soda api, aluminium foil dan air yang menghasilkan uap yang penulis sendiri belum tau seberapa besar daya angkat tiap cm^3 nya. Namun jika dibandingkan menggunakan helium lebih baik dan bagus dikarenakan helium sendiri sangatlah ringan juga merupakan senyawa mulia dari alam. Tak hanya itu helium sendiri memiliki massa jenis 0,0001785 per cm^3 sedangkan dari gas reaksi yang digunakan penulis masih belum terhitung untuk massa jenisnya.

Namun pada penelitian kali ini penulis menggunakan balon PVC ukuran 69,96 cm diameter lingkaran maka

didapatkan volume sebesar 0,509940187 m³ dengan menggunakan rumus :

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (3.1)$$

Setelah didapatkan nilai volume tersebut maka dapat dilanjutkan menggunakan konsep dalam hukum Archimedes untuk mendapatkan nilai massa beban yang dapat diangkat dari balon sendiri menggunakan rumus :

$$M_{beban} = V_{Balon} (P_{udara} - P_{gas}) \quad (3.2)$$

Lalu untuk massa jenis gas pada balon penulis belum mengetahui terkait seberapa besar massa jenis terkait campuran reaksi soda api, aluminium foil dan air tersebut namun jikalau dalam penelitian menggunakan helium maka massa jenis pada helium sendiri yakni 0,0001785 per cm³. Jadi dalam penelitian kali ini masih terdapat kekurangan dalam memperhatikan seberapa besar massa jenis dari isian balon yang didapatkan dari senyawa tersebut.

E. Perhitungan Luas Permukaan Balon


Perhitungan luas permukaan balon Pada penelitian kali ini penulis menggunakan balon PVC ukuran 24 inch atau 69,96 cm diameter lingkaran yang berguna sebagai seberapa besar nilai dorongan untuk *blimp drone* mampu bertahan dengan tabrakan dari angin. Perhitungan luas permukaan balon sebagai berikut:

$$4\pi r^2 \quad (3.3)$$

Lalu dari rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar luas permukaan dari balon maka semakin besar juga terhadap kemampuan angin untuk menabraknya. Hal ini berakibat terhadap *drone* akan lebih susah counter terhadap angin jikalau terlalu kencang walaupun dari balon sendiri mampu untuk mengefisiensi daya angkat dari motor brushless sendiri.

F. Perhitungan Thrust Daya Angkat Motor Brushless

Pada perhitungan *thrust* daya angkat dari motor brushless sendiri bergantung pada datasheet pada motor sendiri dan untuk seberapa besar *thrust* yang diinginkan dan dibutuhkan juga menyesuaikan seberapa besar berat yang ingin diangkat. Misalnya pada penelitian kali ini penulis menyesuaikan terhadap besar berat yang diangkat hingga 2,723 kilogram. Lalu penulis memilih motor brushless DC dengan besar 800KV dengan datasheet sebagai berikut:

Motor:V2216-12		KV:800					
Technical Datas		Recommended Prop(inch)					
KV	800	Standard	3S-1045/1150				
Config-ration	12N14P		4S-8040/9050				
Stator Diameter	22mm	Max thrust	3S-1150				
Stator Length	16mm		4S-9047/9050				
Shaft Diameter	3mm						
Motor Dimension(Dia. * Len)	Ø27.8*34mm						
Weight(g)	75						
Idle Current(10v@10v(A)	0.3						
No. of Cells(Lipo)	2-4S						
Max Continuous current(A)180S	17A						
Max Continuous Power(W)180S	180W						
Max. efficiency current	(5-15A)>90%						
Internal resistance	175mΩ						
Tested with SunnySky motor 20A ESC							
Prop	Volts (V)			Amps (A)	Watts (W)	Thrust (g)	Thrust (oz)
1047	7.4	5.8	42.92	510	17.99	11.88	0.42
	10	9.2	92	800	28.22	8.70	0.31
	11.1	10.5	116.55	960	33.86	8.24	0.29
11X7	7.4	5.8	42.92	510	17.99	11.88	0.42
	10	9.5	95	850	29.98	8.95	0.32
	11.1	10.9	120.99	1020	35.98	8.43	0.30
12X6	7.4	7.7	56.98	680	23.99	11.93	0.42
	10	12.1	121	1020	35.98	8.43	0.30
	11.1	13.8	153.18	1130	39.86	7.38	0.26

Gambar 8 Datasheet Sunnysky 800 KV

Dapat dilihat pada tabel diatas terkait pemilihan ukuran propeller pun sangat mempengaruhi terhadap seberapa besar daya angkat dari motor brushless sendiri. Lalu pada penelitian kali ini penulis menggunakan besar propeller 1045 sehingga dapat dilihat pada tabel tersebut *thrust* maksimal terhadap motor hingga 960 gram per arus keluar 10,5 sedangkan arus maximal continuous hingga 17 A dari hal tersebut dapat disimpulkan *thrust* dari tiap motornya mampu mengangkat hingga 1 kilogram lebih yang kemudian jika dikonfigurasi dengan *quadcopter* menjadi 4 kilogram *thrust* totalnya.

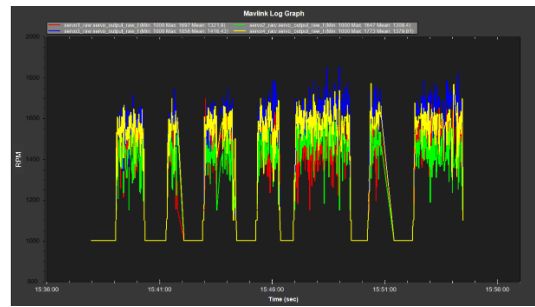
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas mengenai hasil dari pengujian *blimp drone* terhadap nilai *altitude* atau ketinggian pada saat menggunakan balon dan tanpa balon saat diaktifkan mode alt hold pada ketinggian 7 meter, pengujian terhadap nilai altitude masing-masing gerakan pitch depan dan Yaw (90) kanan dan kiri, konsumsi arus saat tanpa balon dan menggunakan balon, serta pengujian pada saat diaktifkan mode auto untuk mengikuti titik-titik *waypoint* dengan *loitering* pada titik *waypoint* setidaknya 10 detik pada ketinggian 10 meter. Namun sebelum dilakukannya semua pengujian dari tiap pengujiannya akan dilakukan pengukuran terhadap kecepatan angin sebagai batasan untuk masalah. Berikut merupakan pengujian yang telah dilakukan:

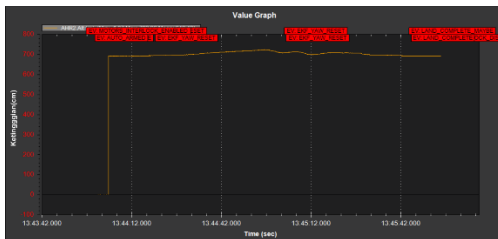
1. Pengujian nilai *altitude* saat tanpa balon dan menggunakan balon



Gambar 9 Nilai Kecepatan Maksimum Pada Anemometer

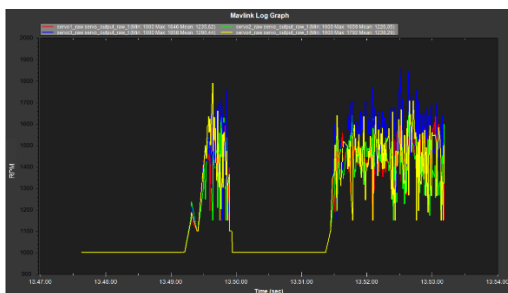


Gambar 13 Grafik Output Motor Servo 1 hingga 4 saat Menggunakan Balon



Gambar 10 grafik nilai ketinggian saat tanpa balon

Dapat dilihat pada grafik gambar diatas perbedaan nilai *altitude* pada saat *drone* ketinggian 7 meter ini sangatlah stabil dan keuntungan dari adanya balon sendiri disini sebagai *stabilizer* terhadap throttle turun dari *drone quadcopter* tersebut. Dan berdasarkan pengujian yang penulis lakukan ketika menggunakan balon akan lebih terasa ringan untuk throttle ke atas terhadap *drone* yang sudah menggunakan balon tersebut dan keuntungannya pada pengujian yang penulis lakukan yakni *drone* semakin stabil dalam mempertahankan ketinggian dengan nilai PID yang berubah walaupun kekurangannya akan terdapat lebih banyak gangguan berupa angin saat pengujian dilakukan dikarenakan pengujian dilakukan saat musim hujan.



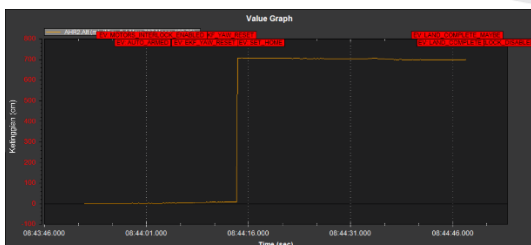
Gambar 11 Grafik Output Motor Servo 1 hingga 4 saat Tanpa Balon

2. Pengujian Nilai *altitude* terhadap gerakan Pitch dan Yaw

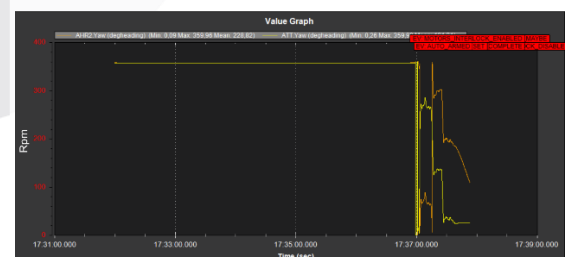
Grafik diatas menunjukkan perbedaan nilai *altitude* yang keluar dari *blimp drone* tanpa balon dari awal hingga landing. Grafik pertama menunjukkan nilai *altitude* dari 0 meter hingga tinggi 7 meter. Lalu untuk nilai kestabilan *drone quadcopter* tersebut masih terdapat osilasi walaupun sedikit pada saat throttle ke atas namun pada saat ketinggian 7 meter sudah cukup stabil dalam mempertahankan ketinggian walaupun terdapat gangguan berupa angin yang kencang dikarenakan saat pengujian ini musim hujan.



Gambar 14 Grafik Output Gerakan Pitch

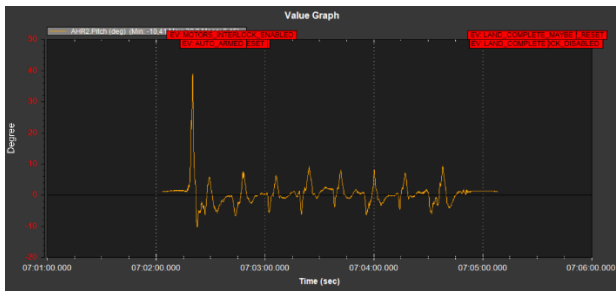


Gambar 12 Grafik nilai ketinggian saat menggunakan balon

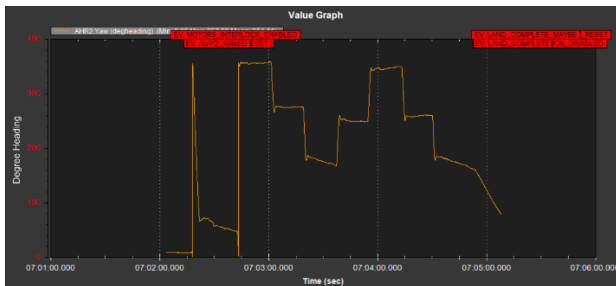


Gambar 15 Grafik Output Gerakan Yaw

Terkait dua grafik output terhadap ketinggian diatas dapat dilihat bahwa masing masingnya memiliki 2 garis grafik yang bersinggungan dari hal tersebut dapat membuktikan bahwa dari RC input *remote* selaras dengan output yang dijalankan oleh motor BLDC sendiri.



Gambar 22 Grafik Respon Output terhadap Gerakan Pitch



Gambar 23 Grafik Respon Output Terhadap Gerakan Yaw

Pada gambar 17 dapat dilihat bahwa pada pengujian kali ini gerakan pitch pada gambar tersebut konstan dan tidak melambung jauh kecuali pada grafik pertama dan juga dapat dilihat pada gambar 18 tersebut output grafik mengalami naik dan turun yang berbentuk kotak yang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa saat menjalankan misi *blimp drone* dapat menjalankan gerakan yaw 90° dengan stabil.



Gambar 24 Grafik Output Terhadap Konsumsi Arus Baterai

Seperti yang dapat dilihat pada gambar diatas konsumsi arus semakin naik secara signifikan namun stabil yang cukup lama dikarenakan fungsi balon disini berfungsi sebagai *stabilizer* terhadap nilai throttle ketika hovering, ketika hovering pun semua motor bergerak secara bersamaan dan dalam keadaan *altitude hold* atau mempertahankan ketinggian pada setiap titik *waypoint* nya. Lalu untuk arus maksimal konsumsi baterai tersebut hingga 8,5 maH dengan ketentuan nilai min 629 maH dan nilai max 638,5 maH.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada Sistem Kendali Pada Hybrid *Blimp drone* menggunakan Metode PID ini maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *blimp drone* mampu mempertahankan ketinggian dengan mode alt hold

pada ketinggian 7 meter baik menggunakan balon dan tanpa balon namun perbandingannya lebih stabil menggunakan balon daripada tanpa balon. Lalu untuk pengaruh terhadap gerakan pitch depan dan Yaw kanan dan kiri pun juga demikian *drone* mampu bergerak sesuai input dari *remote* dan *output* dari ke empat motornya pun selaras dengan input *remoteny*. Lalu dalam mode auto *drone* juga mampu stabil untuk *loitering* pada masing titik-titik *waypoint* dengan *loitering* selama 10 detik pada ketinggian 5 meter.

Lalu untuk efisiensi terhadap daya angkat dapat dilihat pada maksimal PWM *output* dari tanpa balon dan menggunakan balon, disini balon ukuran 24 inch atau 69,96 inch diameter lingkaran mampu mengefisiensi hingga 11,15%. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar balon yang digunakan maka akan semakin besar efisiensi terhadap daya angkatnya juga namun akan semakin besar peluang untuk ditabrak atau terganggu oleh angin saat mengoperasikannya.

REFERENSI

- [1] M. Rana and M. Shahidul Islam, "Designing Approach of Blimp for a Hybrid VTOL Aerial Robot."
- [2] D. A. Sarafconn, D. I. Lanier, and M. D. Menghini, "Development of an Autonomous Blimp," 2012. [Online]. Available: <https://digitalcommons.wpi.edu/mqp-all/2918>
- [3] Q. Tao, J. Tan, J. Cha, Y. Yuan, and F. Zhang, "Modeling and Control of Swing Oscillation of Underactuated Indoor Miniature Autonomous Blimps," 2021.
- [4] Agus et al., "RANCANG BANGUN QUADCOPTER DENGAN KENDALI PID."
- [5] A. A. K. , dan S. J. Seto P., "Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali PID untuk Pengendalian Gerakan Hover pada UAV Quadcopter," 2012.
- [6] dan K. Bekti Yulianti, "Analisis Motor pada Quadcopter."
- [7] A. F. dan S. N. Harista, "Sistem Navigasi Quadcopter dan Pemantauan Udara," 2018.
- [8] D. Ika Suryanti, "Inertial Measurement Unit (IMU) pada Sistem Pengendali Satelit," 2017
- [9] D. Arief and R. Kurniawan, "Sistem Navigasi pada Balon Udara Menggunakan GPS dan Kontrol Logika Fuzzy," 2016.
- [10] M. Khaery et al., "Design of Air Pressure Measuring Devices Using a Barometric Pressure 280."
- [11] H. B. Aditya, "Navigasi Waypoint dan Pengambilan Gambar Otomatis pada Quadcopter," 2021.
- [12] B. Y. Suprpto, M. A. Heryanto, H. Suprijono, J. Muliadi, and B. Kusumoputro, "Design and development of heavy-lift hexacopter for heavy payload," in Proceedings -

2017 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication: Empowering Technology for a Better Human Life, iSemantic 2017, Jul. 2017, vol. 2018-January, pp. 242–246. doi: 10.1109/ISEMANTIC.2017.8251877

[13] A. M. Handayani and I. N. Rifa, “Sistem Ground Control Station Berbasis Mobile untuk Pengamatan dan Pengendalian UAV.”

[14] Y. Aditya, B. Irawan, and R. Erfa Saputra, “Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Penerbangan *Quadcopter* Berbasis PID Menggunakan GPS dan Komunikasi LORA pada Pencarian Pendaki Gunung yang Hilang”.

