

**PERANCANGAN ALAT KENDALI TERBANG *QUADCOPTER* UNTUK
MODUS TERBANG *VERTICAL FLIGHT* DAN *HOVERING***
***DESIGN OF A QUADCOPTER FLY CONTROL TOOL FOR FLY
MODULE VERTICAL FLIGHT AND HOVERING***

Derrian Widjajahakim¹, Handhika Putra Hwary¹, Natasia¹, Ibnu Safari¹, Muhammad Nanda Setiawan¹
¹Universitas Surya
derrian16@student.surya.ac.id

Abstrak

Dewasa ini peran *quadcopter* atau *drone* sangatlah penting, dikarenakan berbagai kegunaan seperti merekam dan mengantarkan barang dapat dilakukan menggunakan *quadcopter* dari jarak jauh. Maka dari itu pembuatan sistem pengendalian *quadcopter* sangatlah penting untuk dilakukan. Pembuatan alat peraga *quadcopter* diharapkan dapat memudahkan mahasiswa untuk meningkatkan minat belajar generasi muda dalam mempelajari bidang STEM. Penelitian ini berfokus pada perancangan alat kendali terbang *quadcopter* untuk modus terbang *vertical flight* dan *hovering*. *Quadcopter* dilengkapi dengan sensor *gyroscope* untuk menentukan posisi (*roll*, *pitch*, *yaw*) dari *quadcopter* sehingga memberikan gambaran representatif sikap dari *quadcopter*. Penelitian ini dilakukan untuk memulai tahap pertama dari pengendalian stabilitas *quadcopter*. Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari 3 tahap, Studi literatur, pembuatan algoritma, dan pengaplikasian algoritma pada *quadcopter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan *software* Labview, *quadcopter* dapat diterbangkan dengan metode *open loop control*.

Kata kunci : *quadcopter*, kontrol, *Vertical flight*.

Abstract

A good learning system on a country, especially on stem (science, technology, engineering, mathematics) field in a way will support the progress and independence of the nation. Ironically stem field always considered as a scourge that scares the young people because most of the method of learning that been done is still old fashioned. In order to raise the interest to the young generation on learning stem field then there's a need to be a method that can gain interest and raising creativity of the learners. This research is focusing on designing a controlled flight system for rotorcraft that focused on vertical flight mode and hovering mode. Rotorcraft is equipped with a gyroscope sensor to determine the position (roll, pitch, yaw) from the rotorcraft so that it will show the representative description of the rotorcraft. Besides that, this tool is also integrated with hils (hardware in-loop simulation) so that the result of the measurement can be obtained real time. As for the control system on this research is still limited with the open loop control, where input is being given directly by the user. In order to raise the performance of the control system, closed loop control system with a pid controller have been done. This prop is equipped with gui (graphical user interface), that build using Labview software. This gui is made to ease the user in inputting the hover height of the rotorcraft and showing the output from the gyroscope sensor as the position and the acceleration from the rotorcraft. Serial communication between hardware and the gui is using bluetooth to simplified the hardware control system.

Keyword: STEM, roll, pitch, yaw, HILS, Open loop, Close loop, PID controller, Labview, GUI

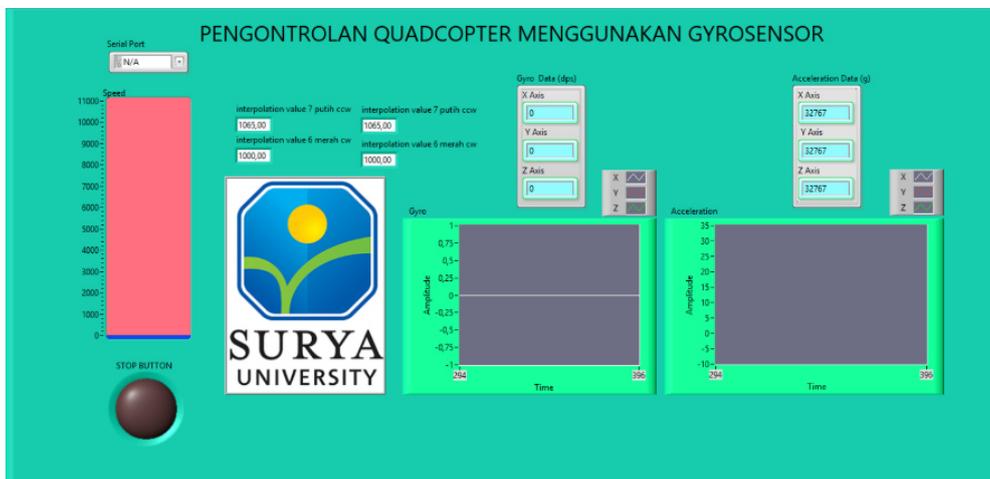
1. PENDAHULUAN

Teknologi berperan besar dalam membantu dan mempermudah manusia dalam melakukan berbagai aktivitas dalam hidupnya. Indonesia sebagai negara berkembang, sedang mengalami bonus demografi, dimana penduduk dengan usia produktif (15 – 64 tahun) lebih banyak dibandingkan dengan proporsi penduduk usia non-produktif (Hartono 2007). Sistem Pendidikan yang baik pada suatu negara, terutama pada bidang STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) secara tidak langsung akan menunjang kemajuan dan kemandirian suatu bangsa. Dengan kata lain, pengenalan bidang STEM sejak dini pada generasi muda harus dilakukan secara menyeluruh dan berkesinambungan. Ironisnya, bidang STEM selalu dianggap sebagai momok yang menakutkan bagi generasi muda karena sebagian besar metode pembelajaran yang dilakukan masih bersifat konvensional.

Dalam rangka meningkatkan minat belajar generasi muda dalam mempelajari bidang STEM maka diperlukan suatu metode pembelajaran yang dapat menarik minat dan meningkatkan kreativitas peserta didik. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk membuat suasana pembelajaran lebih menyenangkan adalah dengan melakukan demonstrasi alat peraga agar mahasiswa mudah memahami dan mengerti aplikasi dari teori yang diajarkan. Sayangnya, biaya alat peraga pendidikan di Indonesia masih tergolong mahal, sehingga masih banyak universitas yang tidak mampu memfasilitasi mahasiswa dengan alat peraga dalam pembelajaran.

Universitas Surya merupakan salah satu universitas di Indonesia yang mengajarkan sains dan Teknik. Salah satu jurusan Teknik yang membutuhkan alat peraga dalam proses pembelajaran adalah Teknik Fisika. Selain itu, pada jurusan ini sedang difokuskan pada bidang aerodinamik dan kontrol. Berdasarkan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini dibuatlah alat peraga *quadcopter* untuk menunjang pembelajaran mata kuliah dan kelompok *aeromodelling*. Pembuatan alat peraga *quadcopter* diharapkan dapat memudahkan mahasiswa untuk memahami konsep dari mata kuliah yang diajarkan dan juga membantu mahasiswa mendalami bidang *aeromodelling*.

Penelitian ini berfokus pada perancangan alat kendali terbang *quadcopter* untuk modus terbang *vertical flight* dan *hovering*. *Quadcopter* dilengkapi dengan sensor *gyroscope* untuk menentukan posisi (*roll, pitch, yaw*) dari *quadcopter* sehingga memberikan gambaran representatif sikap dari *quadcopter*. Selain itu, alat ini juga diintegrasikan dengan HILS (*Hardware In-loop Simulation*) sehingga bisa didapatkan data hasil pengukuran secara *real time*. Adapaun sistem kontrol pada penelitian ini masih dibatasi dengan sistem kontrol jerat terbuka (*Open Loop*), dimana input atau perintah diberikan secara langsung oleh pengguna. Dalam rangka meningkatkan performa sistem kontrol, dilakukan studi pengaplikasian sistem kontrol jerat tertutup (*Close Loop*) dengan penambahan *PID Controller*. Alat peraga ini dilengkapi dengan GUI (*Graphical User Interface*), yang dibangun menggunakan aplikasi Labview. Adapun dibuatnya GUI adalah untuk memudahkan pengguna dalam memberikan input berupa ketinggian *hover* dari *quadcopter* dan menunjukkan output dari sensor *gyroscope* berupa posisi dan percepatan dari *quadcopter*. Komunikasi serial antara *hardware* dengan GUI menggunakan *Bluetooth* untuk menyederhanakan sistem kontrol *hardware*.



Gambar 1. GUI (Graphical User Interface)

1.1. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang di jelaskan, maka disimpulkan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana cara membuat alat peraga untuk meningkatkan minat belajar mahasiswa?
- Bagaimana cara merancang *GUI* yang mudah digunakan?

1.2. TUJUAN

Dari latar belakang dan rumusan masalah yang telah di jelaskan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Membuat alat peraga berupa drone untuk membantu dalam pelajaran dan meningkatkan minat belajar mahasiswa
- Membuat system terbang *drone* yang mampu terbang *vertical* dan *hovering*
- Menempatkan posisi dari tombol kontrol pada *GUI* yang tepat sehingga mudah digunakan

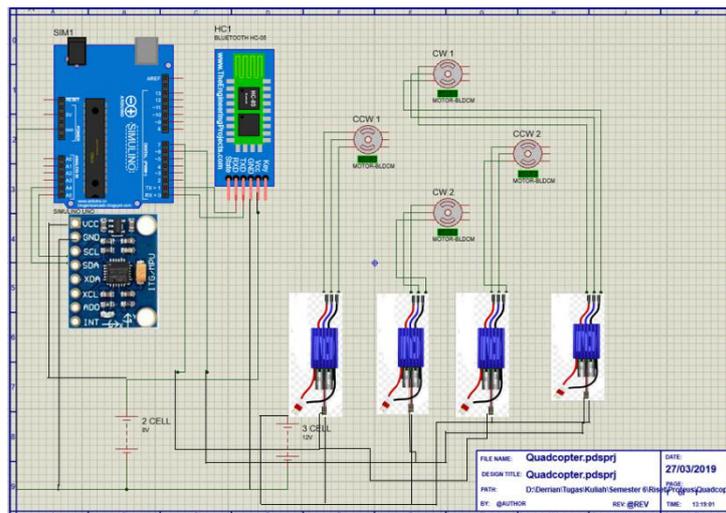
2. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini dibagi menjadi dua sub, yakni simulasi dan eksperimental. Adapun urutan metodologi dari penelitian ini ditunjukkan pada diagram 1.



Diagram 1. Diagram Alir Metodologi

Proses pelaksanaan penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur. Adapun topik yang dicari mengenai sistem kendali yang akan digunakan untuk mengontrol *quadcopter*. Pada penelitian ini, digunakan sistem kendali PID. Sistem kendali PID dipengaruhi oleh 3 variabel, yaitu konstanta proporsional (KP), konstanta integral (KI), dan konstanta derivatif (KD). Dengan adanya PID, nilai error dari suatu sistem kontrol dapat diminimalisir. Pada penelitian ini nilai dari KP, KI, dan KD dicari dengan cara ziegler nichols. Penentuan nilai KP, KI, dan KD yang tepat dapat membuat *quadcopter* terbang vertical dengan mulus dan nilai osilasi yang rendah. Studi literatur juga dilakukan mengenai penggunaan aplikasi dari Labview. Diagram blok *interface* yang digunakan untuk komunikasi antara Labview dan arduino adalah LINX yang merupakan *add-on* dari aplikasi NiVisa. Pendalaman studi literatur juga dilakukan untuk mengintegrasikan antara *hardware* dan *software* terutama untuk komunikasi nirkabel yaitu pengintegrasian *Bluetooth* dengan arduino. Berikutnya pendalaman studi literatur juga dilakukan dalam penghubungan antara kontroler dan *quadcopter* menggunakan *Bluetooth*.



Gambar 2. Skematik Rangkaian

Selanjutnya dilakukan perakitan badan *quadcopter*. Dalam perakitan *quadcopter*, harus diperhatikan perencanaan peletakan komponen yang akan dipasang seperti baterai, Arduino dan komponen lainnya. Hal ini diperlukan untuk menjaga keseimbangan massa dari setiap sisi dari *quadcopter* agar memudahkan pengendalian keseimbangan *quadcopter*. Apabila massa di tiap sisi *quadcopter* tidak seimbang, maka pengendalian *quadcopter* akan semakin sulit dan terhambat untuk terbang *vertical*. Pemasangan propeller dari *quadcopter* juga harus diperhatikan, karena terdapat motor dengan propeller untuk putaran *clockwise* dan motor dengan propeller untuk putaran *counter-clockwise*. Pada *quadcopter*, posisi propeller antara *clockwise* dan *counter-clockwise* harus sejajar secara diagonal. Hal ini ditujukan agar *quadcopter* tidak berotasi pada sumbu X secara tak terkendali selama percobaan terbang. Selain itu, pada *quadcopter* dipasang dua buah baterai yang masing – masing berfungsi untuk sumber daya *Arduino UNO* dan menjalankan motor. Baterai dengan kapasitas 450 MaH digunakan untuk menghidupkan *Arduino UNO*, sedangkan baterai dengan kapasitas 1500 MaH digunakan untuk menjalankan 4 motor brushless.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan diagram blok pemrograman untuk mengendalikan motor. Diagram blok pemrograman disusun menggunakan *software* Labview. Pada diagram blok pemrograman dilakukan kalibrasi PWM (*pulse width modulation*) agar semua motor yang terpasang pada *quadcopter* dapat berputar dengan kecepatan dan rotasi yang sama pada saat mengangkat *quadcopter* (*synchronous*). Dengan melakukan kalibrasi PWM, arus dan tegangan dari sumber dapat dikendalikan. Kecepatan putaran motor tergantung dari tegangan yang masuk. Semakin besar nilai tegangan yang masuk, semakin besar nilai RPM motor. Kesamaan nilai RPM dari empat motor harus tetap dijaga agar *quadcopter* dapat terbang stabil.

Perancangan diagram blom pemrograman dibuat untuk mengitegrasikan gyrosensor terhadap arduino dan Labview. Diagram blok pemrograman ini dirancang untuk *gyrosensor* agar dapat membaca pergerakan arah translasi dan rotasi yang tepat pada *quadcopter*. *Filter* harus diberikan pada diagram

blok pemrograman *gyro*sensor dalam rangka menghilangkan *noise*, jika tidak akan terdapat banyak *noise* pada pembacaan titik translasi dan rotasi. Pemberian *low pass filter* atau *Kalman filter* dapat digunakan pada diagram blok pemrograman sehingga *noise* pada pembacaan GUI akan lebih halus. Hal ini dapat membantu menambah akurasi pengendalian *quadcopter*.

Selanjutnya kedua diagram blok pemrograman ini dikombinasikan menjadi satu diagram blok pemrograman baru yang bertujuan untuk mengontrol ketinggian terbang dari *quadcopter*. Pengguna hanya memberikan input berupa ketinggian yang sudah diatur batas maksimalnya. *Gyro*sensor akan memberikan nilai translasi dari ketinggian yang ditentukan oleh pengguna ke mikrokontroler. Diagram blok pemrograman yang dibangun dan disimpan dalam mikrokontroler akan menginterpolasi nilai translasi dari *gyro*sensor secara otomatis menjadi nilai tegangan yang akan masuk ke motor. Hal ini mengakibatkan RPM motor berputar untuk mendapatkan ketinggian yang ditentukan oleh pengguna.

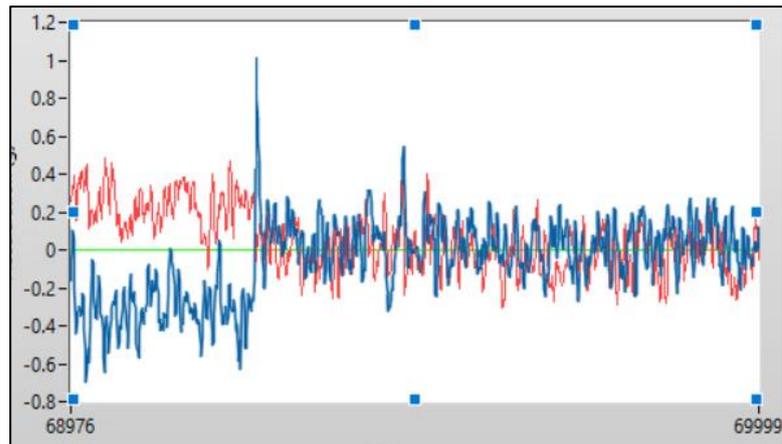
Pemasangan dan penghubungan antara modul *Bluetooth* dan kontroler dilakukan ketika diagram blok pemrograman sudah dipastikan berjalan dengan baik. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dan menyederhanakan pengendalian *quadcopter* sehingga tidak membutuhkan sambungan kabel. Perlu diperhatikan dalam pengkoneksian signal *Bluetooth*, *port* yang dipilih pada diagram blok pemrograman harus sesuai dengan pengaturan *Bluetooth* yang terbaca pada kontroler dan arah koneksi dari kontroler ke modul *bluetooth* adalah *outgoing*.

Tabel 1. Jumlah dan Spesifikasi Komponen *Quadcopter*

Nama	Jumlah	Spesifikasi
Frame Quadcopter	1	-
Motor Brushless	4	A2212 1400kv
Propeller	4	10x45
Arduino uno	1	-
Modul Bluetooth	1	HC-05
Sensor Gyroscope	1	MPU6050
PCB	1	-
Baterai Li-Po	2	3 cell 1500MaH 12V
		2 cell 450 MaH 8V

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

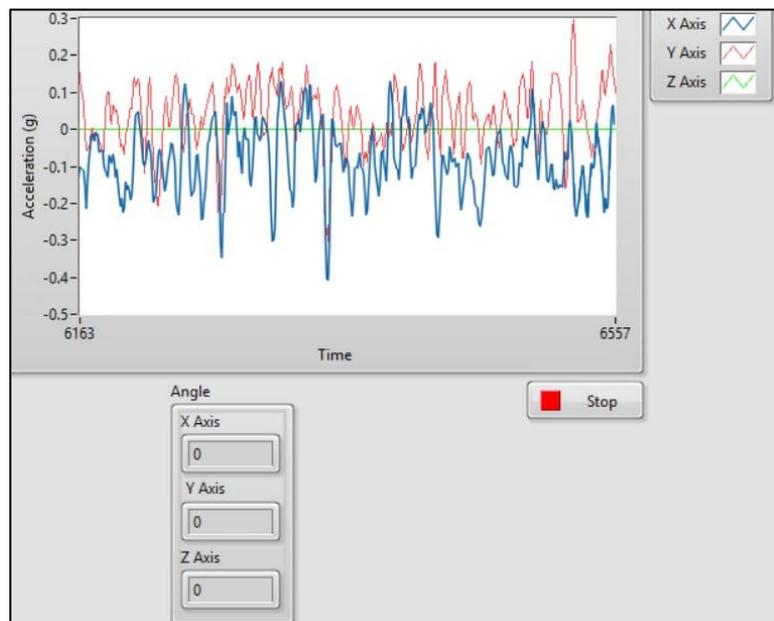
Setelah dilakukan perancangan dan perakitan *quadcopter*, dilakukan uji coba pembacaan sudut kemiringan dari *gyro* yang terpasang pada *quadcopter* menggunakan *software* Labview versi tahun 2016. Pembacaan kemiringan dibantu dengan menggunakan aplikasi Labview yang mendukung sensor *gyro*. Hasil yang didapat pada Labview dibandingkan dengan eksperimen yang dilakukan dengan pengukuran manual menggunakan busur.



Gambar 3. Perbedaan Sebelum dan Sesudah Menggunakan PID pada Gyro Sensor

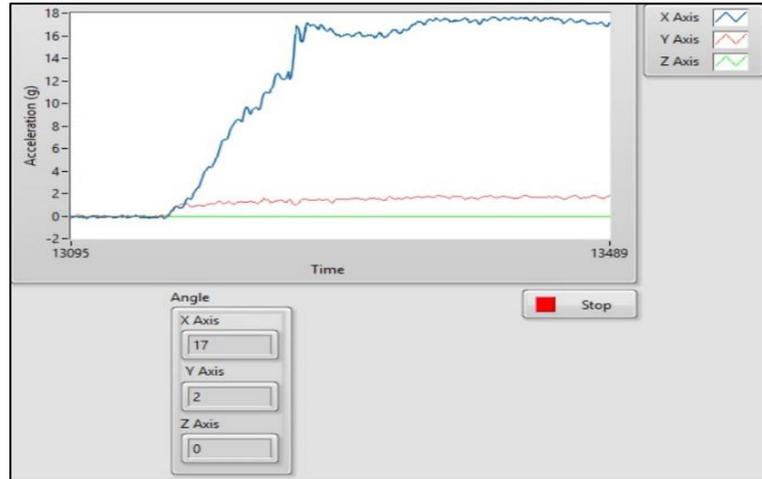
Gambar 3 menunjukkan perbandingan kondisi grafik saat *coding* dari sensor *gyro* tidak menggunakan PID dan saat menggunakan PID. Ketika *coding* dari sensor *gyro* tidak menggunakan PID, terdapat banyak noise yang terbaca oleh aplikasi Labview dan posisi pembacaan dari sumbu *roll* berkisar dari 0.1 sampai 0.4 dan untuk sumbu *pitch* berkisar antara -0.1 hingga -0.6. Hal ini dapat disebut juga sebagai *initial drift* karena pembacaan dari awal sudah menunjukkan penyimpangan.

Pembacaan sensor *Gyro* yang kurang baik ini dapat diperbaiki dengan menambahkan *coding* PID pada sensor *gyro*. *Noise* yang terbaca mulai beresilasi secara konsisten di titik 0 setelah ditambahkan *PID controller*. *Error initial drift* juga sudah tidak terjadi lagi dan grafik *roll* dan *pitch* juga sudah menyatu dan beresilasi disekitar titik 0.

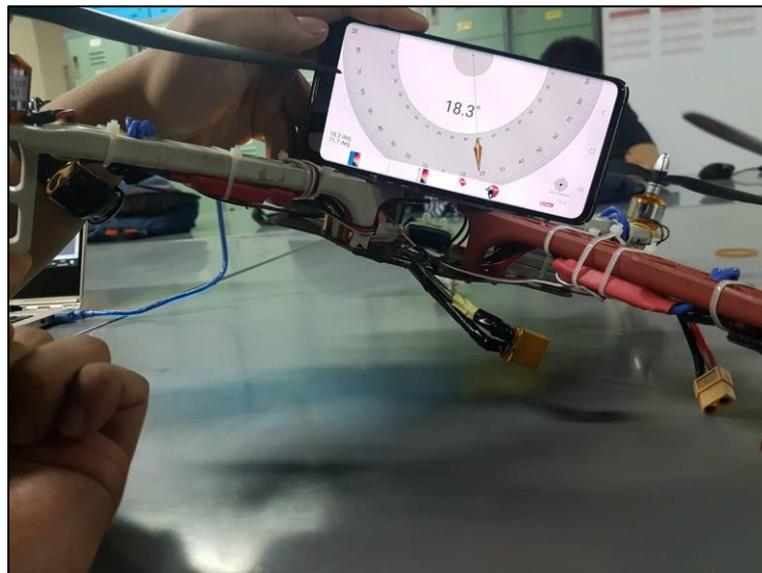


Gambar 4. Pembacaan Gyro Bidang Datar

Gambar 4 merupakan pembacaan sensor *gyro* yang terpasang pada *quadcopter* pada saat berada bidang datar. Pada tabel data, terbaca sumbu *roll* dan *pitch* masih bernilai 0 derajat. Akan tetapi pada pembacaan grafik yang disediakan, terdapat osilasi dari *roll* dan *pitch* yang berkisar diantara 0,2 hingga -0,4. Hal ini dapat terjadi karena pada data digital hanya membaca bilangan bulat dan tidak membaca bilangan desimal.

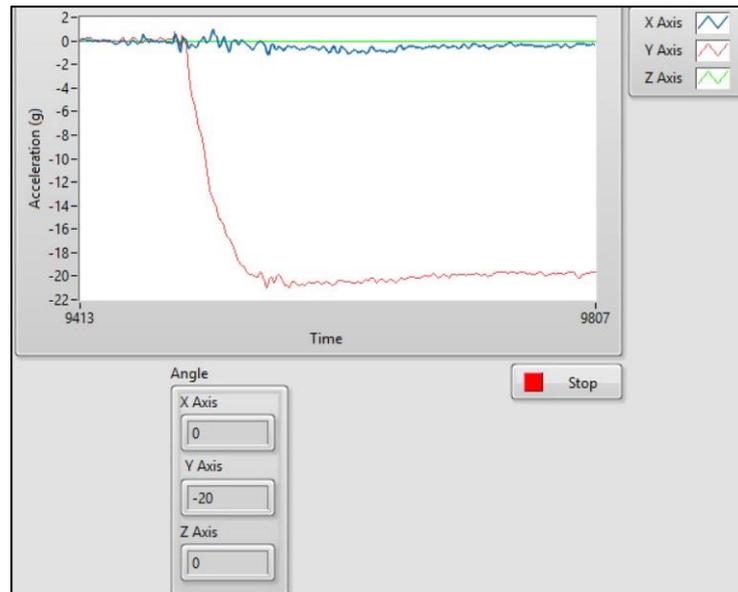


Gambar 5. Pembacaan Gyro Sumbu Roll

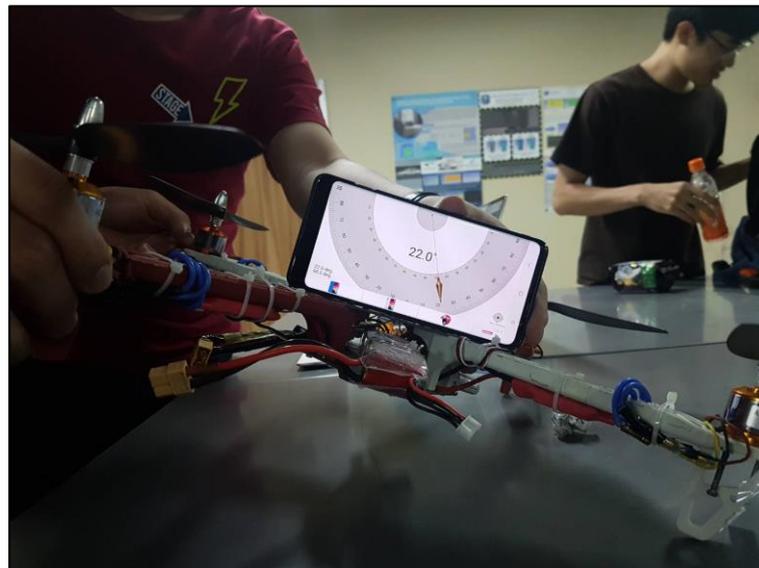


Gambar 6. Pembacaan Manual Sumbu Roll

Pada Gambar 5 menunjukkan simpangan yang terjadi pada sumbu *roll*. Pada pembacaan menggunakan aplikasi Labview, simpangan yang terbaca adalah sebesar 17 derajat. Dibandingkan dengan pengukuran secara manual menggunakan busur, sudut simpangan yang terjadi pada sumbu *roll* adalah sebesar 18,3 derajat seperti pada Gambar 6. Terdapat perbedaan sebesar 1,3 derajat dari pembacaan melalui aplikasi dan eksperimen. Berdasarkan Gambar 5, dapat terlihat ketika sumbu *roll* yang diberikan simpangan, terdapat kenaikan pada sumbu *pitch* sebesar 2 derajat. Hal ini bisa terjadi karena efek *roll* mempengaruhi sumbu *pitch* sehingga terjadi kenaikan sudut pada sumbu *pitch*. Jika dilihat pada gerakan *gyro* yang terpasang pada *quadcopter*, ketika *quadcopter* diberikan simpangan pada sumbu *roll*, dapat dilihat adanya perubahan ketinggian pada sensor *gyro*, sehingga mempengaruhi hasil pembacaan sensor yang memberikan keluaran sudut simpangan pada sumbu *pitch* juga.



Gambar 7. Pembacaan Gyro Sumbu *Pitch*



Gambar 8. Pembacaan Manual Sumbu *Pitch*

Simpangan yang diberikan pada sumbu *pitch* dari *quadcopter* dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai simpangan yang dialami *quadcopter* sebesar -20 derajat dan *noise* yang terbaca oleh aplikasi Labview sudah cukup baik atau stabil. Osilasi yang bernilai desimal sudah tidak terlalu terbaca lagi ketika diberi simpangan. Bila dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan busur, sudut simpangan yang didapat adalah -22 derajat seperti pada Gambar 8. Kedua hasil pembacaan tersebut memiliki perbedaan sebanyak 2 derajat. Hal ini disebabkan oleh *error* dari pengukuran alat.

Hampir sama dengan kejadian sebelumnya, ketika sumbu *pitch* diberikan simpangan, terdapat efek yang mempengaruhi sumbu *roll* sehingga terjadi peningkatan sudut yang terbaca di aplikasi Labview pada sumbu *roll*.

Hasil pembacaan yang didapat dari melakukan percobaan pembacaan simpangan yang di alami sensor *gyro* sejauh ini menunjukkan perbedaan yang semakin membaik. Sebelum menggunakan PID, pembacaan simpangan sensor *gyro* beresilasi cukup tinggi dan terdapat perbedaan simpangan yang dialami oleh sumbu *roll* dan sumbu *pitch*, yang terjadi pada kondisi bidang datar. Seharusnya, ketika dalam kondisi bidang datar, pembacaan sensor *gyro* untuk sumbu *roll* dan sumbu *pitch* beresilasi pada *range* dan garis *horizontal* yang hampir sama. Dengan bantuan PID, *error initial drift* dapat dihilangkan sehingga pembacaan sensor *gyro* untuk sumbu *roll* dan *pitch* dapat beresilasi pada garis *horizontal* yang kurang lebih sama. Selain itu, tingkat osilasi yang terjadi menjadi lebih kecil dengan adanya bantuan

PID. Hal ini dapat terlihat pada gambar 5 dan gambar 6 ketika *quadcopter* diberikan simpangan, terlihat osilasi yang terbaca oleh sensor *gyro* pada *quadcopter* hampir tidak terbaca.

4. PERSAMAAN MATEMATIKA, TABEL DAN GAMBAR

Dalam riset yang dilakukan terdapat 2 perhitungan matematika. Perhitungan pertama yaitu untuk mengkonversi hasil keluaran dari sensor *gyro* yang digunakan menjadi satuan sudut (derajat). Persamaan matematika yang digunakan adalah sebagai berikut

$$\phi = \arctan \frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} (\text{rad}) \quad (1)$$

$$\rho = \arctan \frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} (\text{rad}) \quad (2)$$

Perhitungan diatas menunjukkan perhitungan untuk mendapatkan nilai derajat dari *tilt*, dan *incline* yang akan dibutuhkan ketika mencari posisi *gyrocopter*. Dikarenakan sensor *gyro* yang memberikan data berupa kecepatan angular dari rotasi, menggunakan persamaan matematik diatas akan mengkonversi data tersebut menjadi dalam bentuk radian yang kemudian dapat dijadikan dalam bentuk derajat dengan pengalihan $180/\pi$.

Perhitungan kedua yaitu untuk memberikan filter komplementari kepada hasil keluaran sudut sensor *gyro*. Persamaan matematik yang digunakan pada filter adalah sebagai berikut

$$\text{TotalAngleX} = 0.95 * ((1) + \text{GyroData Y . time}) + 0.05 * \arctan \left(\frac{Y}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \right) \quad (3)$$

$$\text{TotalAngleY} = 0.95 * ((2) + \text{GyroData X . time}) + 0.05 * \arctan \left(\frac{X}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \right) \quad (4)$$

Pada perhitungan diatas didapatkan sebuah hasil satuan sudut dalam bentuk derajat yang sudah difilter sehingga mengurangi *noise* yang dihasilkan dari sensor *gyro*. Menggunakan perkalian sekitar 5% dari total derajat dari perhitungan (1) dijumlahkan dengan 95% hasil keluaran dari sensor *gyro* yang berupa *gyro* data didapatkan hasil dengan *noise* yang sangat minimum.

5. KESIMPULAN

1. Kondisi awal kalibrasi dilakukan tanpa menggunakan PID, hasil pembacaan data *roll* dan *pitch* menunjukkan bahwa pembacaan data terdapat *noise*.
2. Kondisi kedua telah menggunakan PID pada algoritma, sehingga *noise* menjadi berkurang untuk mengkondisikan pada kondisi 0 derajat.

3. Melalui alat bantu busur, didapatkan hasil pengukuran yang dibandingkan dengan hasil baca pada aplikasi Labview. Dari pengukuran tersebut, didapat *error* sebesar 1 hingga 2 derajat, hal ini masih dapat ditoleransi dalam pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak M.N Setiawan dan Bapak Ibnu Safari selaku dosen yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penyusunan makalah ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Universitas Surya atas fasilitas dan dukungan yang diberikan dalam membantu penulis untuk menyusun makalah.

PERNYATAAN PENULIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah berjudul “Perancangan Alat Kendali Terbang Quadcopter untuk Modus Terbang *Vertical Flight* dan *Hovering*” merupakan tanggung jawab penulis sepenuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kardos, Slavomir, dkk. “Gait Dynamics Sensing Using IMU Sensor Array System”.
- [2] Romero, Luis E, dkk. *Quadcopter stabilization by using PID controllers*, tersedia di: <http://dsp.space.ucuenca.edu.ec/>, diakses Oktober 2018.
- [3] Praveen, Viswanadhapalli dan Pillai, Anju S. *Modeling and Simulation of Quadcopter using PID Controller*, tersedia di: <https://pdfs.semanticscholar.org/>, diakses Oktober 2018.
- [4] Sokoloff, Leonardo. *Basic Concept of Labview 4*. Prentice Hall, 1998.
- [5] Leandro, Gideon V. Bonfim, Marlio. “Stability Control of Quad-rotor Using a PID Controller”. *Brazilian Journal of Instrumentation and Control*, 2013.
- [6] Tserendondog, Tengis. Amar, Batmunkh. “Experimental approach to Pole Placement problem of State Feedback Control for Quadrotor Stabilization in Hovering Mode”. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2017.
- [7] Pacheco, Nicolas Ives Roque. Resende, Daniel de Castro Ribeiro. Magalhaes, Pedro Americo Almeida. “Stability Control of an Autonomous Quadcopter through PID Control Law”, tersedia di: <https://ijera.com>, diakses Januari 2019.
- [8] Castro, Davi. Prado, Igor, dkk. “Simulation scheme for quadricopter control with Labview and x-plane”, tersedia di: <https://researchgate.net>, diakses Januari 2019.
- [9] Bitter, Rick, dkk. *Labview: Advanced Programming Techniques, Second Edition*. CRC Press, 2017.
- [10] Varshney, Vitul dan Wilson, Melvin. 2014. *PID based Stabilization of Gesture Controlled Drones using HIL Simulation*. *International Journal of engineering and Advanced Technology (IJEAT)*.