

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI PENERBANGAN QUADCOPTER BERBASIS PID MENGGUNAKAN GPS DAN KOMUNIKASI LORA PADA PENCARIAN PENDAKI GUNUNG YANG HILANG

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF QUADCOPTER FLIGHT CONTROL SYSTEM BASED ON PID USING GPS AND COMMUNICATION OF LORA ON SEARCH OF MOUNTAINEER

Yulfan Aditya ¹, Budhi Irawan,S.Si.,M.T.², Randy Erfa Saputra,S.T.,M.T.³

Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹yulfanaditya@gmail.com, ²budhiirawan@telkomuniversity.ac.id, ³resaputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Quadcopter merupakan robot yang memiliki kemampuan melayang di udara dengan bantuan 4 aktuator motor brushless yang terpasang pada robot. Quadcopter memiliki banyak fungsi dari sebagai hiburan, video recorder, dan menjelajah tempat yang luas, hal ini sangat menguntungkan untuk pekerjaan manusia karena quadcopter mampu melihat dasar bumi yang luas dengan jelas dari udara. Umumnya quadcopter di dukung oleh komunikasi WiFi(Wireless Fidelity), sensor untuk mengetahui kemiringan dan visual pada quadcopter, nilai sensor pada quadcopter membantu robot lebih stabil di udara dan juga membantu robot mulai melayang dan mendarat ke tanah tanpa ada bantingan yang keras.

Pada tugas akhir ini, penulis akan merancang dan meng-implementasi sistem Quadcopter dengan algoritma PID (Proportional-Integral-Derivative) sebagai pengontrol stabilitas robot, masukan kontrol PID adalah sensor accelerometer dan gyroscope, kontrol yang di uji juga bertahap yaitu dari kontrol P, PD lalu PID. pengerjaan tugas kahir ini juga termasuk membangun sistem remote control untuk quadcopter dengan menggunakan radio long range 2.4Ghz yaitu modul nRF24101 yang mampu berkomunikasi sampai dengan jarak lebih dari 500 m.

Quadcopter yang dibangun menggunakan kontrol PID yang mengeluarkan keluaran yang tidak stabil karena 4 motor brushless yang di pakai tidak sinkron. Komunikasi yang di pakai oleh quadcopter dan remote control mampu berkomunikasi dengan baik, namun jarak yang di tempuh hanya mencapai 500 m di karenakan kurangnya arus sebesar 50 mA yang mengalir dari raspberry pi ke modul radio yang membutuhkan 115 mA untuk mengirim data lebih jauh lagi.

Kata Kunci : *Quadcopter, robot, brushless, radio, accelerometer, gyroscope, remote control, long range, PID.*

Abstract

Quadcopter is a robot that has the ability to float in the air with the help of 4 actuator brushless motor mounted on the robot. Quadcopter has many functions from as entertainment, video recorder, and exploring a vast place, it is very advantageous for human work because quadcopter can see clearly the base of earth from the air. Generally quadcopter is supported by WiFi communications (Wireless Fidelity), sensors to find out the tilt and visual on the quadcopter, the sensor helps quadcopter to make robot more stable in the air and also helps the robot begin to float and land to the ground without any hard dings.

In this final project, the writer will design and implement Quadcopter system with PID (Proportional-Integral-Derivative) PID algorithm as robot stability controller, PID controller input is accelerometer and gyroscope sensor, the control is also gradually tested from control P, PD Then PID. This latest task work also includes building a remote control system for quadcopter using long radio range 2.4Ghz nRF24101 module that is able to communicate up to a maximum distance of 1 km.

Quadcopter built using PID controls that output unstable because 4 brushless motors in use are out of sync. The communications used by the quadcopter and remote control are able to communicate well, but the distance traveled only 500 m in due to lack of current of 50 mA flowing from raspberry pi to a radio module that requires 115 mA to send data further.

Keywords : *Quadcopter, robot, brushless, radio, accelerometer, gyroscope, remote control, long range, PID.*

1. Pendahuluan

Quadcopter merupakan salah satu teknologi robot yang sangat digemari oleh peneliti dan masyarakat karena *quadcopter* mampu melakukan performansi di udara, *quadcopter* juga mampu di gunakan untuk keperluan riset, permainan, hobi, racing, dan sebagai media *visual* untuk pembuatan video. banyak fungsi-fungsi yang dapat dipasang oleh *quadcopter* untuk tujuan yang baik seperti dari melakukan tracking sampai di gunakan untuk tugas - tugas militer. Keluasan *quadcopter* dapat melakukan apapun tergantung keperluan dan kreatifitas perancang.

Umumnya *quadcopter* jarang menggunakan *mainboard* sendiri, lebih banyak membuat dengan menggunakan *flight controller* yaitu *mainboard* buatan pabrik, dengan begitu PID yang diimplementasi pada *flight controller* tersebut sulit untuk dianalisis dan juga untuk melakukan *tuning* sendiri terasa sulit karena mekanisme buatan sensiri dengan algoritma PID harus dicocokkan. Komunikasi remote control untuk *quadcopter* dengan *flight controller* mempunyai remot tersendiri yang relatif mahal, dengan begitu untuk membangun sebuah *quadcopter* buatan pabrik jadi sangat mahal.

Komunikasi *quadcopter* akan di uji menggunakan radio *long range* nRF24101 yang berfungsi mengirim dan menerima data antara *remote control* dengan *quadcopter* yang memiliki tugas masing-masing yaitu *remote control* sebagai *transmitter* mengirim perintah kepada *quadcopter* dan *quadcopter* sebagai *receiver* menerima data dari *transmitter*. Dengan menggunakan Kontroler PID (*Proportional-Integral-Derivative*) yang memiliki *set point* dan memanfaatkan nilai *error* dari nilai sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) modul GY-521 IC MPU6050 *Accelerometer Gyroscope* pada *quadcopter*, keluaran berupa nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) dapat di jumlah dan pengurangan nilai PWM motor *brushless*.

2. Dasar Teori

2.1 *Quadcopter*^[1]

Quadcopter merupakan salah satu robot berjenis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang menggunakan 4 motor *brushless* untuk menggerak baling-balingnya dengan konsep penerbangan layaknya helikopter yaitu *take-off* dan *landing* secara vertikal. dan memiliki *frame* dan *propeller* sebagai bagian mekanika pendukung utama agar berjalannya *quadcopter*.

2.2 Gerakan Dasar *Quadcopter*^[2]

Konfigurasi yang paling sering digunakan *quadcopter* adalah *X-quadcopter* yaitu berbentuk seperti X. Ketika *quadcopter* sedang terbang dan melayang di udara, kecepatan putar pada setiap rotornya adalah sama. Saat *quadcopter* melakukan gerakan maju, 2 buah baling-baling atau *propeller* yang berada dibelakang akan berputar lebih cepat sehingga *body quadcopter* akan miring ke depan. Gaya dorong yang dihasilkan keempat *propeller* akan mempunyai komponen gaya ke atas dan ke depan sehingga *quadcopter* akan terdorong ke arah depan sambil mempertahankan ketinggiannya.

2.3 Motor *Brushless*^[3]

2.3.1 Prinsip Kerja Motor *Brushless*^[4]

Cara kerja pada motor *brushless* cukup sederhana, yaitu magnet yang berada pada poros motor akan tertarik dan terdorong oleh gaya elektromagnetik yang diatur oleh driver pada motor *brushless*. Hal ini membedakan motor *brushless* dengan motor DC yang menggunakan sikat mekanis yang berada pada komutator untuk mengatur waktu dan memberikan medan magnet pada lilitan. Motor *brushless* ini juga berbeda dengan motor AC (*Alternating Current*) yang pada umumnya menggunakan siklus tenaga sendiri untuk mengatur waktu dan memberi daya pada lilitan. Motor *brushless* dapat memberikan rasio daya dan beban yang lebih tinggi secara signifikan dan memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan motor tanpa sikat tradisional

2.3.2 ESC (*Electronic Speed Controller*)^[4]

Sistem pengontrol motor *brushless* menggunakan rangkaian elektronika ESC (*Electronic Speed Control*), ESC memegang peran penting pada sistem *quadcopter* karena ESC mampu mengatur kecepatan motor *brushless* yang berfungsi mengarahkan *quadcopter* saat beroperasi di udara. pada saat *quadcopter* melakukan *take-off* maka ESC adalah satu-satunya komponen yang paling panas karena ESC mengeluarkan output atau aliran listrik yang sangat besar.

2.4 IMU (*Initial Measurement Unit*)

IMU (*Inertial Measurement Unit*) merupakan alat yang memanfaatkan sistem pengukuran seperti *gyroscope* dan *accelerometer* untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan akselerasi dari gerakan motor. IMU mempertahankan 6-degree-of-freedom (DOF) yang memperkirakan gerakan yaitu posisi (X Y Z) dan orientasi (roll, pitch, yaw).

2.5.1 *Accelerometer*^[12]

Sensor inertial *accelerometer* digunakan untuk mengukur akselerasi pada benda. Satu faktor penting mengenai akselerometer adalah bahwa akselerometer sensitif pada semua aksi paksaan eksternal termasuk gaya berat.

Akselerometer menggunakan satu dari sejumlah mekanisme yang mengubah gaya menjadi sinyal yang dapat dibaca komputer.

2.5.2 Gyroscope^[12]

Akibat kecepatan sudut yang tinggi, gyroscope menghasilkan momentum sudut yang tegak lurus dengan arah putaran roda. Sehingga, ketika gyroscope mekanik berputar, cakram akan tetap berputar ditempatnya sedangkan sudut antara gimbal yang berdekatan akan berubah.

2.5 PID (Proportional-Integral-Derivative)

Ide dasar PID adalah bahwa system kendali membaca keadaan sistem menggunakan sensor. Kemudian nilai pembacaan tersebut akan dipakai untuk mengurangi nilai referensi yang diinginkan untuk menghasilkan nilai error.

2.5.1 Proportional

Kendali proporsional (P) adalah kendali awal pada sebuah PID yang memberikan pengaruh output P yang besar atau Steady State. Pada banyak kasus, dengan hanya menggunakan kendali P dapat memberikan nilai Error yang tidak berubah (Stationary Error) kecuali ketika nilai input dari sistem kendali bernilai nol dan nilai proses sistem sama dengan nilai yang yang diinginkan.

2.5.2 Integral

Kendali integral (I) adalah penjumlahan dari Error sebelumnya. Proses penjumlahan Error akan berlangsung sampai nilai dari sistem output sama dengan nilai referensi yang diinginkan, dan hasil ini dalam keadaan Stationary Error ketika nilai referensi stabil.

2.5.3 Derivative

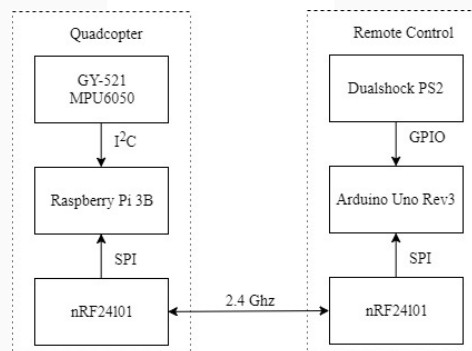
Kendali Derivative adalah nilai dari tingkat perubahan Error. kontrol ini akan meningkatkan respon sistem. kontrol D biasanya akan digunakan dengan control P atau PI sebagai kontrol PD atau PID. Pemberian D biasanya menyebabkan sistem tidak stabil.

3. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem ini akan membahas mengenai perancangan sistem yang dibuat meliputi Gambaran Umum Sistem, Analisis Sistem, Perancangan Sistem yang akan digunakan.

3.1 Diagram Blok Umum

Berikut dibawah ini adalah gambaran umum sistem quadcopter dengan kontrol PID yang menggunakan media komunikasi Long Range.



Gambar 1. Gambar umum sistem quadcopter

Sesuai dengan gambar 1 diatas, quadcopter di kendalikan melalui remote control yang menggunakan media Komunikasi LoRa, perangkat LoRa diletakkan pada quadcopter sebagai receiver dan remote control sebagai transmitter dengan transfer rate sebesar 2.4 Ghz. quadcopter dan remote control menggunakan mainboard yang berbeda yaitu Raspberry Pi 3B pada quadcopter dan Arduino Uno untuk Remote Control, mainboard pada quadcopter bertugas sebagai menjalankan quadcopter berupa ESC dan motor brushless, sensor IMU, GPS, dan Long Range Radio(receiver). Dan mainboard pada remote control memiliki fungsi sebagai memberi instruksi seperti maju, mundur, belok kanan, belok kiri, naik, dan turun kepada quadcopter.

3.2. Analisa Sistem

Untuk membuat sebuah quadcopter, maka dibutuhkan perangkat-perangkat utama seperti motor, ESC, mainboard, sensor, modul radio dan catu daya. berikut adalah perangkat-perangkat yang di pasang pada quadcopter pada jurnal ini :

Tabel 1 Spesifikasi sistem quadcopter

1	Motor	Brushless motor X2212 980Kv
2	ESC	RCTimer BEC 30A
3	Mainboard	Raspberry Pi 3B
4	Sensor	GY-521 (MPU6050)
5	Modul Radio	nRF24101
6	Catu Daya	LiPo Gens 11.1v 3300 mAh

Semua perangkat yang tertera pada tabel 1 yang terpasang pada mainboard tidak ada memakai pin input yang sama, maka tidak ada terjadinya penambahan IC (Integrated Circuit), dan battery LiPo (Lithium Polymer) di bagi menjadi 2 yaitu catu daya untuk mainboard dan catu daya untuk ESC. Untuk membuat sebuah Remote Control, maka dibutuhkan perangkat utama seperti Gamepad dan modul radio dan sumber daya. berikut adalah perangkat-perangkat yang di pasang pada quadcopter pada jurnal ini :

Tabel 2 Spesifikasi sistem remote control

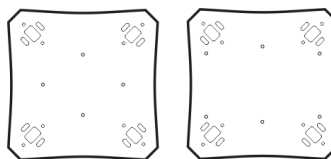
1	Mainboard	Arduino Uno Rev3
2	Gamepad	PSII Dualshock
3	Modul Radio	nRF24101
4	Catu Daya	USB 2.0/3.0 5V

Semua perangkat yang terpasang pada mainboard tidak ada memakai pin input yang sama, maka tidak ada terjadinya penambahan IC (Integrated Circuit), namun untuk voltase gamepad dan modul radio sama-sama menggunakan 3.3v maka diperlukan penambah pin voltase 3.3v dengan menggunakan pin header.

3.3 Perancangan Sistem

Untuk merancang dan mengimplementasi PID, quadcopter menggunakan mini PC yaitu Raspberry Pi 3B sebagai mainboard untuk quadcopter dan beberapa perangkat penting seperti motor untuk melayang dengan menggunakan propeller, sensor untuk merasakan keadaan quadcopter seperti kemiringan, radio untuk berkomunikasi dan catu daya. Raspberry Pi 3B bertugas melakukan semua pekerjaan yang di butuhkan oleh quadcopter seperti mengatur kecepatan motor brushless menggunakan ESC, menerima dan mengirim data melalui perangkat Long Range dalam mode receiver, membaca GPS, dan membaca sensor IMU (inertial measurement unit) yaitu modul GY-521 chip MPU6050 accelerometer gyroscope sensor.

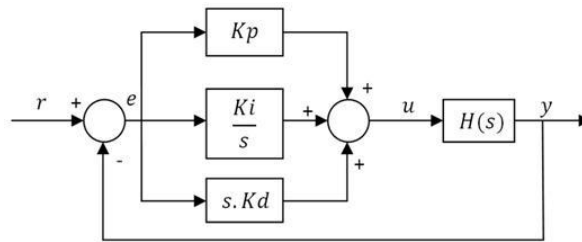
Rancangan frame untuk posisi tengah pada quadcopter menggunakan bahan FR4 yang umum di gunakan untuk pecetakan PCB (printed circuit board) dan batang frame menggunakan bahan aluminium. bentuk frame merupakan persegi dengan memberi lekukan pada setiap sisinya dan meratakan sikunya agar batang aluminium dapat di pasang dengan rapi.



Gambar 2. Gambar desain frame

Frame terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian atas dan bagian bawah yang memiliki fungsi masing-masing, Frame bagian atas berfungsi sebagaiudukan untuk Raspberry Pi dan perangkat-perangkat lain, dan Frame bagian bawah berfungsi untuk peletakan rangkaian PDB dan Battery LiPo. dan berikut di bawah ini adalah hasil jadi dari desain mekanika.

Sistem pada quadcopter menggunakan algoritma kontrol PID yang terdiri dari 3 tahap yaitu Proportional, Integral, dan Derivative. Berdasarkan proses algoritma PID pada gambar 3.7, $r(t)$ merupakan nilai set point (nilai utama sensor yang diinginkan) yang akan di proses oleh PID dan $e(t)$ merupakan nilai error yang sudah terhitung.



Gambar 3. Algoritma kontrol PID

nilai error didapatkan hasilnya dengan cara mengurangi nilai set point dengan masukan nilai sensor. dengan nilai error tersebut dapat di proses oleh fungsi Proporsional, Integral, dan Derivative.

$$u(t) = Kp e(t) + Ki \int_0^t e(\tau) d\tau + Kd \frac{de(t)}{dt}$$

Secara matematika sistem kontrol PID dapat dideskripsikan dengan rumus diatas, dimana menjumlahkan fungsi pada proporsional, fungsi integral dan fungsi turunan. namun secara teknis, tidak semua dipakai karena sesuai dengan mekanisme yang dipakai. dengan mekanisme seperti quadcopter maka rumus diatas akan diubah menjadi program dengan rumus seperti berikut.

1. Rumus Kontroler Proporsional

$$Sp_sensor = 0$$

$$Error = Sp_sensor - sensor$$

$$P = Kp * Error$$

2. Rumus Kontroler Integral

$$D1 = Kd * 10$$

$$D2 = Error - Last_Error$$

$$D = D1 * D2$$

3. Perhitungan Kontroler Derivatif

$$I1 = Ki / 10$$

$$I2 = Error + Last_error$$

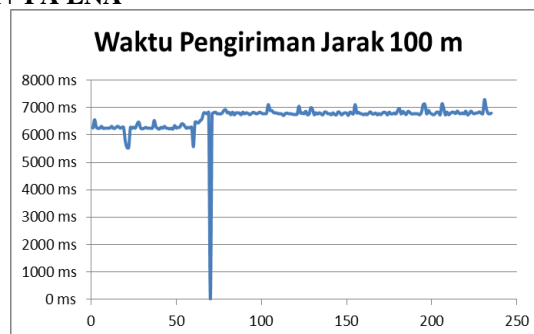
$$I = I1 * I2$$

Secara keseluruhan nilai PID adalah penjumlahan dari P,I, dan D, dengan output yang ada maka nilai PID tersebut di jumlahkan dengan nilai PWM semua motor sesuai dengan kondisi sensor. Untuk mendapatkan nilai Kp(Konstan),Ki,dan Kd, maka melakukan cara mencoba-coba mengubah nilai konstanta masing-masing sampai quadcopter stabil, langkah pertama adalah mencoba mengubah angka Kp terlebih dahulu karena kontrol proporsional memiliki peran besar stabilitas sebuah quadcopter, mengubah nilai Kp sampai quadcopter mendekati dengan stabil.

Setelah quadcopter mendekati stabil maka langkah selanjutnya adalah mengubah nilai-nilai Kd/Ki sampai robot benar-benar dikatakan stabil, kontrol integral merupakan kontrol yang opsional untuk dipakai karena kontrol proporsional dengan derivatif sudah cukup membuat sebuah robot stabil namun tidak sempurna karena masih ada sedikit goncangan yang tidak begitu berarti.

4. Implementasi dan Pengujian

4.1 Pengujian Radio nRF24101+ PA LNA

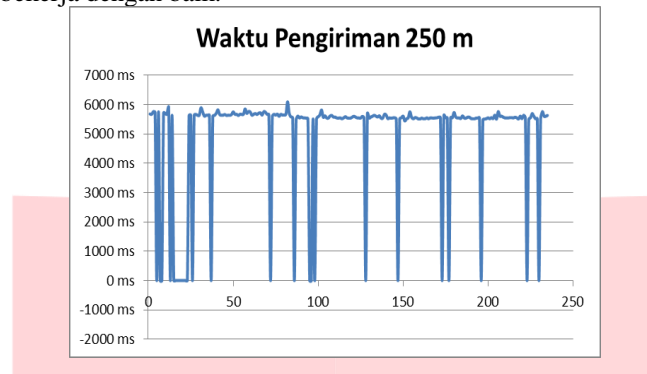


Gambar 4 Grafik Durasi pengiriman data dalam jarak 100 m

Pada gambar 4 menunjukkan rata-rata durasi pengiriman adalah diantara 5500 *microsecond* sampai dengan 7500 *microsecond*., dari jumlah pengiriman sebanyak 235 paket data, hanya 1 data yang gagal terkirim, jadi presentase kegagalan untuk komunikasi dengan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Packet Loss} = \frac{1}{235} \times 100 = 0.425\%$$

Hasil dari *Packet Loss* dari pengiriman data sebanyak 235 data dan dengan jarak pengiriman 100 m membuktikan bahwa sistem yang dibangun menggunakan radio *long range* antara *quadcopter* dengan *remote control* dalam jarak 100 m bekerja dengan baik.

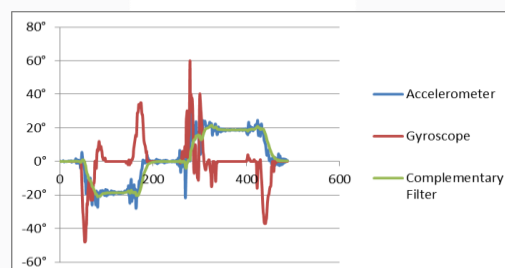


Gambar 5 Grafik Durasi pengiriman data dalam jarak 250 m

Pada gambar 5 menunjukkan rata-rata durasi pengiriman adalah diantara 5500 *microsecond* sampai dengan 6000 *microsecond*., dari jumlah pengiriman sebanyak 235 paket data, hanya 14 data yang gagal terkirim, jadi presentase kegagalan untuk komunikasi dengan menggunakan rumus berikut.

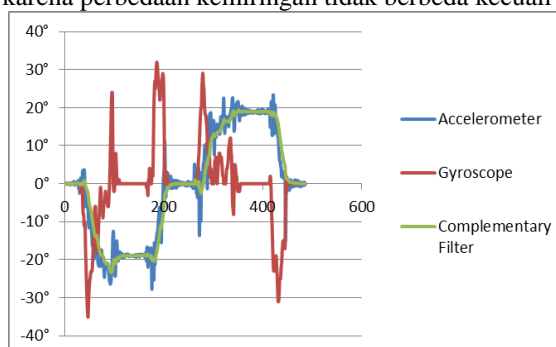
$$\text{Packet Loss} = \frac{14}{235} \times 100 = 5.95\%$$

Hasil dari *Packet Loss* dari pengiriman data sebanyak 235 data dan dengan jarak pengiriman 250 m membuktikan bahwa sistem yang dibangun menggunakan radio *long range* antara *quadcopter* dengan *remote control* dalam jarak 250 m tetap bekerja dengan baik.



Gambar 6 Grafik Nilai sensor dan *Complementary filter Pitch*

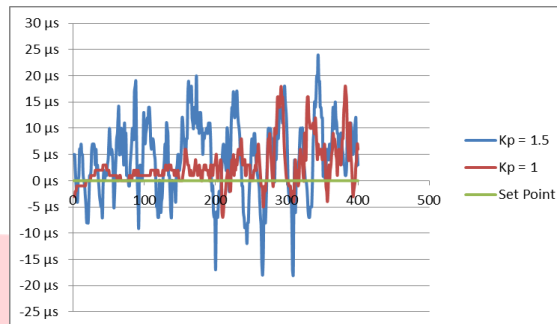
Pada gambar 4 menunjukkan perbedaan antara nilai sudut dari *accelerometer*, *gyroscope* dan *Complementary filter*. Nilai dari *Complementary filter* membuktikan bahwa nilai sudut *accelerometer* dan *gyroscope* berhasil di filter, dari gambar 4 juga perbedaan signifikan dari nilai *gyroscope* dengan hasil filter dan nilai dari *accelerometer* tidak begitu signifikan dengan hasil filter karena perbedaan kemiringan tidak berbeda kecuali ketika adanya getaran.



Gambar 7 Grafik Nilai sensor dan *Complementary filter roll*

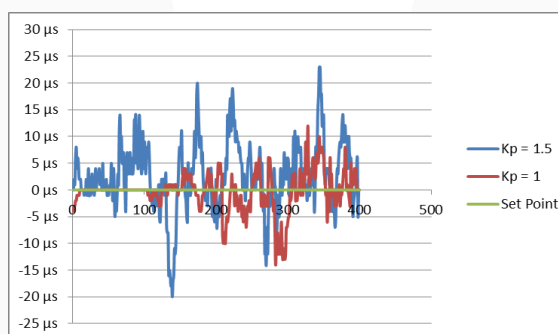
Pada gambar 5 sama halnya dengan hasil nilai *complementary filter* pada gambar 4 bahwa nilai sudut dari *accelerometer* dan *gyroscope* berhasil di filter. dari gambar 5 juga perbedaan signifikan dari nilai *gyroscope* dengan hasil filter dan nilai dari *accelerometer* tidak begitu signifikan dengan hasil *filter* karena perbedaan kemiringan tidak berbeda kecuali ketika adanya getaran. dari gambar 4 dan 5 tidak memiliki perbedaan nilai kemiringan yang signifikan ketika setiap 2 kaki *quadcopter* menginjak objek setinggi 8.5 cm.

4.3 Pengujian Kontrol PID



Gambar 8 Grafik output PID Pitch

Pada gambar 6 menunjukkan perbedaan grafik jika PID menggunakan Kp 1.5 dan Kp 1, perbedaan ini terlihat bahwa respon PID pada KP 1.5 terlihat osilasi yang tidak stabil dan untuk Kp 1 mengeluarkan nilai mayoritas lebih dari 0, hal ini terjadi karena motor *brushless* yang di pakai menghasilkan kecepatan yang tidak sinkron atau salah satu motor mengeluarkan kecepatan lebih daripada motor lainnya, dengan tidak sinkron kecepatan motor maka akan terasa sulit untuk mengimplementasikan algoritma kontrol karena jika ingin mengimplementasi PID rata-rata kecepatan motor sinkron.



Gambar 9 Grafik output PID Roll

Pada gambar 7 juga menunjukkan perbedaan grafik jika PID menggunakan Kp 1.5 dan Kp 1, perbedaan ini terlihat bahwa respon PID pada KP 1.5 terlihat osilasi yang tidak stabil dan untuk Kp 1 mengeluarkan nilai mayoritas lebih dari 0 juga, jika di abndingkan dengan nilai PID *pitch* maka memiliki grafik ayng berbeda, di karenakan arah sensor yang berbeda dan peletakan sensor tidak sejajar. motor *brushless* yang di pakai menghasilkan kecepatan yang tidak sinkron atau salah satu motor mengeluarkan kecepatan lebih daripada motor lainnya, jika motor yang di gunakan memiliki sensor encoder maka kemungkinan semua motor dapat berputar dengan kecepatan yang sama.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada perancangan dan implementasi sistem quadcopter dengan kontrol PID dan menggunakan sistem komunikasi radio *Long Range*, dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan sebuah quadcopter beserta remote control telah berfungsi yang hasil di harapkan adalah *quadcopter* dan *remote control* telah saling berkomunikasi dengan menggunakan *radio long range*.
2. Kontrol keseimbangan berbasis PID pada sistem penerbangan *quadcopter* tidak berhasil stabil, penyebab utama dari kegagalan adalah motor *brushless* yang dipakai tidak stabil dan tidak cocok untuk di

implementasikan ke algoritma PID, hal ini di sebabkan oleh elektronika ESC tidak sinkron dengan ESC lainnya.

3. Pembangunan sistem komunikasi antara radio *long range* yang di harapkan bekerja dengan baik telah berhasil bekerja pada jarak 100 m dan 250 m dengan melakukan 3 kali pengujian namun untuk jarak 500 m yang dilakukan sekali pengujian tidak berkerja dengan baik , kekurangan arus yang mengalir dari raspberry pi adalah penyebabnya, arus dari pin raspberry pi mengalir arus sebesar 50 mA sedangkan arus yang di butuhkan oleh modul radio adalah 45 mA untuk mode receiver yang lebih dari cukup namun untuk mode transmitter membutuhkan arus sebesar 115 mA yang artinya untuk mode transmitter membutuhkan arus lebih besar.

5.2. Saran

Pengembangan yang dapat dilakukan untuk menyempurnakan alat pada makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi sistem *quadcopter* menggunakan sensor *9-axis* agar robot dapat bergeleng (*Yaw*) yang artinya memberi sensor kompas, agar *quadcopter* dapat diarahkan sesuai dengan yang diinginkan.
2. Mekanika yang di rancang menggunakan bahan yang lebih keras dan ringan seperti bahan karbon fiber, dengan menggunakan bahan karbon fiber, ketika *quadcopter* terjatuh maka kerusakan atau goresan pada mekanika robot sangat kecil.

Daftar Pustaka

- [1]. Rasyid, Azmi, 2016. Rancang Bangun dan Implementasi Path Builder pada Quadcopter. Bandung. Telkom University.
- [2]. Jian Zhao/Yangwei Yu, 2011. Brushless DC Motor Fundamentals. MPS The Future of Analog IC Technology.
- [3]. Aziz, Mochamad Yusuf Abdul, 2015 Perancangan dan Implementasi self-tuning Proportional Integral dan Derivatif untuk kestabilan sistem manuver pada Autonomous Telkom University.
- [4]. L. N. Elevich, 2005 3-Phase BLDC Motor Control with Hall Sensors Using 56800/E Digital Signal Controllers, Texas: Freescale Semiconductor, Inc.
- [5]. Cytron, 2017, ARDUINO UNO REV3-MAIN BOARD <https://www.cytron.com.my/p-arduino-unodiakses> pada tanggal 17 April 2017.
- [6]. Hutasoit, Sepfrans Josua, 2016. Rancang Bangun dan Implementasi Prototipe Pendeteksi dan Pemadam api menggunakan Image Processing pada quadcopter. Telkom University.
- [7]. TerryKing, 2014 Nrf24L01 2.4GHz HowTo <https://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz> diakses tanggal 20 Mei 2017.
- [8]. Embeddedmicro, 2015, Serial Peripheral Interface (SPI) <https://embeddedmicro.com/tutorials/mojo/serial-peripheral-interface-spi> diakses tanggal 14 Agustus 2017
- [9]. Hemmanur, Karthik 2009, Inter-Integrated Circuit (I2C), ECE 480- Design Team 3.
- [10]. Rensselaer, Serial Peripheral Interface, renselaer polytechnic institute
- [11]. InvenSense, 2013, MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. InvenSense Inc.
- [12]. Colton, Shane, 2007. The Balance Filter. Massachusetts Institute of Technology.
- [13]. Endang Rusiana (2012) "Kendali PID" <https://wangready.wordpress.com/2012/06/25/kendali-pid/> diakses pada tanggal 21 Februari 2017.
- [14]. Kamkits, 2013. HP2212-1000KV BRUSHLESS MOTOR FOR QUADROTOR http://kamkits.com/index.php?route=product/product&path=18_67_123&product_id=340 diakses tanggal 17 April 2017.