

RANCANG BANGUN UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) MODEL QUADCOPTER DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE

DESIGN OF UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) MODEL QUADCOPTER USING PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE ALGORITHM

Bimo Jati Utomo¹

Program Studi Teknik Komputer
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom, Bandung

bimojati13@gmail.com¹

Abstrak

Quadcopter merupakan salah satu jenis pesawat *Vertical Take off Landing (VTOL)* yang dapat melakukan *take off* dan *landing* secara tegak lurus terhadap bumi yang dapat dilakukan pada area yang sempit. Sistem kendali *Proportional Integral Derivative (PID)* merupakan pengendali konvensional yang digunakan untuk menentukan presisi suatu sistem dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Sistem kendali PID terdiri dari tiga yaitu *Proportional, Integral dan Derivative*. *Quadcopter* menggunakan model "+" dengan dimensi 60 cm x 60 cm x 15 cm dan berat total 876 gram. Sistem terdiri dari perangkat keras yaitu, motor *brushless Turnigy 1200 KV, Electric Speed Control (ESC) suppo model 20 Ampere*, *propeler 10x4.5*, baterai *Lithium Polymer 3300 mAh/11.1 Volt*, modul sensor *gyrocope* dan *accelerometer IMU 10 DOF, Remote Control Tx/Rx 6 channel 2,4 GHz* dan sistem minimum *Atmega328P* sebagai kontroler utama. Analisis grafik simulasi perancangan algoritma PID menggunakan perangkat lunak *Matlab R2014a*. *Arduino 1.0.5* sebagai *compiler* program PID yang akan diimplementasikan kepada sistem. Hasil pengujian terbang dengan cara memberikan satu persatu nilai K_p , K_i dan K_d , didapat nilai K_p 0,5, K_i 0, K_d 0 yang dapat membantu mengendalikan terbang *quadcopter* secara stabil.

Kata Kunci: *Quadcopter*, PID, Sensor, Mikrokontroler *Atmega328P*.

Abstract

Quadcopter is one type of aircraft Vertical Take off Landing (VTOL) that can take off and landing is perpendicular to the earth that can be done on a small area. Proportional Integral Derivative control system (PID) is a conventional controller which is used to determine the precision of a system with the characteristics of their feedback on the system. PID control system consists of three: Proportional, Integral and Derivative. Quadcopter model "+" with the dimensions of 60 cm x 60 cm x 15 cm and a total weight of 876 grams. The system consists of hardware, Turnigy 1200 KV brushless motor, Electric Speed Control (ESC) suppo 20 Ampere models, propeler 10x4.5, Lithium Polymer battery 3300 mAh / 11.1 Volt, gyrocope and accelerometer sensor module 10 DOF IMU, Remote Control Tx / Rx 6 channel 2.4 GHz and minimum system ATmega328P as the main controller. Graph PID algorithm design simulation with Matlab R2014a software. Arduino PID 1.0.5 as the compiler program that will be implemented to the system. Test results flew by giving one by one the value of K_p , K_i and K_d , obtained value of 0.5 K_p , K_i 0, K_d 0 which can help control quadcopter fly stably.

Keywords: *Quadcopter*, PID, Sensors, Microcontroller *ATmega328P*.

1. Pendahuluan

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau biasa disebut pesawat tanpa awak saat ini sedang mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia. Penggunaan UAV dikategorikan cukup luas mulai dari keperluan pengintaian militer, pemetaan, riset, foto udara atau sekedar hobi. Salah satu kelebihan dan keuntungan menggunakan UAV

adalah dapat digunakan pada misi-misi berbahaya tanpa membahayakan pilotnya. Sampai saat ini UAV dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu *fixed wing* (pesawat model dengan sayap) dan *multirotor* (pesawat model dengan motor penggerak lebih dari satu tanpa menggunakan sayap). *Quadcopter* merupakan salah satu jenis pesawat *Vertical Take off Landing (VTOL)* yang dapat melakukan *take off* dan *landing* secara tegak lurus terhadap bumi sehingga

dapat dilakukan pada area yang sempit. *Quadcopter* adalah salah satu jenis multirotor yang memiliki empat buah motor sebagai penggerak *propeler* di tiap ujungnya yang dapat menghasilkan gaya angkat.

2. Dasar Teori

2.1 Quadcopter

Quadcopter adalah pengembangan dari helicopter yang hanya memiliki sebuah rotor, teknologi yang terdapat pada quadcopter ini menggunakan sinkronisasi antara keempat rotor yang dikonfigurasi dalam bentuk frame plus "+" dimana rotor depan dan belakang berputar searah jarum jam, sedangkan rotor sebelah kanan dan kiri bergerak berlawanan arah jarum jam. Quadcopter dapat melakukan take off dan landing secara vertikal. Baling-baling depan dan belakang berputar dengan arah yang sama, serta baling-baling kanan dan kiri berputar dengan arah yang sama. Variasi kecepatan rotor, dapat mengubah gaya angkat dan menciptakan gerak. Dengan demikian, meningkatkan atau menurunkan kecepatan keempat baling-baling bersama-sama menghasilkan gerakan vertikal. Mengubah kecepatan baling-baling 2 (kiri) dan 3 (kanan) akan menghasilkan gerakan rotasi roll ditambah dengan gerakan translasi terhadap sumbu y sedangkan mengubah kecepatan baling-baling 1 (depan) dan 4 (belakang) akan menghasilkan gerakan rotasi pitch ditambah dengan gerakan translasi terhadap sumbu x. [1]

2.2 Algoritma PID

Algoritma PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan sebuah sistem kontrol yang memiliki 3 buah kontroler yaitu kontrol *Proportional*(P), *kontrol Integral* (I), dan *kontrol Derivative* (D). Fungsi kontroler untuk mengendalikan sistem dengan memanipulasi sinyal *error*, sehingga respon sistem (output) sesuai dengan yang kita inginkan (*input*). Tujuan dari penggabungan ketiga pengendali adalah untuk memperbaiki kinerja sistem agar saling melengkapi dan menutupi dengan kelemahan dan kelebihan masing-masing.[2]

2.3 ATmega328P

Mikrokontroler ini memiliki kapasitas *flash* (*program memory*) sebesar 32 Kb (32.768 bytes), memori (*static RAM*) 2 Kb (2.048 bytes), dan *EEPROM* (*non-volatile memory*) sebesar 1024 bytes. Kecepatan maksimum yang dapat dicapai adalah 20 MHz. Rancangan khusus dari keluarga processor ini memungkinkan tercapainya kecepatan eksekusi hingga 1 *cycle* per instruksi untuk sebagian besar instruksinya, sehingga dapat mencapai kecepatan mendekati 20 juta instruksi per detik.

ATmega328 adalah prosesor yang kaya fitur. Dalam *chip* yang dipaketkan dalam bentuk DIP-28 ini terdapat 20 pin *Input/Output* dengan 6 diantaranya dapat berfungsi sebagai pin ADC (*analog-to-digital converter*), dan 6 lainnya memiliki fungsi PWM (*pulse width modulation*). *Chip* ini juga memiliki modul USART (*Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter*) terintegrasi, *hardware* SPI (*Serial Peripheral Interface*), *hardware* TWI (*Two Wire Interface*, kompatibel dengan protokol I²C dari Phillips, 2x pencacah (*timer*) 8-bit, 1x pencacah 16-bit, RTC (*Real Time Counter*) dengan osilator terpisah, *watchdog timer*, komparator analog terintegrasi, pendeteksi tegangan turun (*brown-out detector*), sumber interupsi internal dan eksternal, dan osilator internal yang terkalibrasi. Pemrograman (proses *upload* kode program dari komputer ke IC) dapat dilakukan dengan mudah menggunakan *programmer* serial (contoh: USBASP) atau dengan *parallel programming mode* melalui *port parallel* (*LPT port*) komputer. Kode dapat ditulis dalam bahasa C/C++ ataupun assembler. *C compiler* (avr-gcc, bagian dari Atmel AVR Toolchain) tersedia untuk diunduh secara gratis dari website produsen baik untuk versi windows atau versi linux. Alternatif lainnya untuk pengguna Windows dapat menggunakan WinAVR (*open source*). Selain itu, untuk pemula dapat juga menggunakan Arduino IDE (bahasa C dengan *library* lengkap terintegrasi yang sangat mudah digunakan). [3]

2.4 Modul Sensor IMU (Inertial Measurement

Unit) 10 DOF

Modul sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) adalah sebuah unit perangkat elektronik pengukuran inersia (kelembaman) yang mengukur dan melaporkan kecepatan pesawat, orientasi, dan gaya gravitasi dengan menggunakan kombinasi sensor *accelerometer* dan *gyroscope*, terkadang ada pula *magnetometer*. IMU terkadang digunakan sebagai sensor pengukur keadaan manuver pesawat, termasuk kendaraan udara tak berawak (UAV), pesawat ruang angkasa, termasuk satelit dan *landers*. Perkembangan terkini memungkinkan untuk produksi perangkat GPS IMU-enabled. Sebuah IMU memungkinkan penerima GPS untuk bekerja ketika sinyal GPS tidak tersedia, seperti di terowongan, di dalam bangunan, atau ketika adanya gangguan elektronik. Sebuah IMU nirkabel dikenal sebagai WiMu. IMU merupakan komponen utama dari sistem navigasi inersia digunakan di pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, perahu, dan peluru kendali. Dalam kapasitas ini, data yang dikumpulkan dari sensor IMU memungkinkan komputer untuk melacak posisi pesawat, menggunakan metode yang dikenal sebagai perhitungan mati.[4]

2.4 ESC (Electric Speed Control)

Sebuah modul rangkaian elektronik yang mempunyai fungsi mengatur putaran pada motor sesuai ampere yang dibutuhkan oleh motor dapat dikatakan ESC yang dimaksud disini bekerja dan hanya bisa digunakan untuk motor Jenis (*3 fasa connector*) sedang untuk motor DC dapat bekerja tanpa menggunakan ESC dan dapat juga dengan ESC 2 fasa, cukup 2 kutub catu daya + dan - (*2 fasa connector*).[7]

2.5 Motor Brushless

Brushless DC motor listrik (BLDC motor, motor BL) juga dikenal sebagai motor elektronik commutated (ECM, motor EC) adalah motor sinkron yang didukung oleh sumber listrik DC melalui *inverter* terintegrasi / *switching power supply*, yang menghasilkan sinyal listrik AC untuk menggerakkan motor. Dalam konteks ini, AC, arus bolak-balik, tidak berarti gelombang sinusoidal, melainkan arus bi-directional dengan tidak ada pembatasan pada bentuk gelombang. Sensor tambahan dan elektronik mengontrol amplitudo keluaran inverter dan gelombang (dan karena itu persen DC penggunaan bus/efisiensi) dan frekuensi (yaitu kecepatan rotor). Rotor bagian dari motor brushless sering motor sinkron magnet permanen, tetapi juga bisa menjadi motor induksi. Motor *brushless* dapat digambarkan sebagai motor *stepper*, namun motor *stepper* istilah yang cenderung digunakan untuk motor yang dirancang khusus untuk dioperasikan dalam mode dimana sering berhenti dengan rotor dalam posisi sudut didefinisikan. Dua parameter kinerja utama dari *brushless* motor DC adalah motor konstanta Kv dan Km.[8]

2.6 Remote Control 2.4 GHz

Remote control merupakan bagian yang berinteraksi langsung dengan pengguna untuk memberikan sinyal perintah-perintah untuk menggerakkan robot dalam arah gerakan arah naik, turun, maju, mundur, kiri dan kanan. Frekuensi yang digunakan sebagai media transmisi adalah gelombang radio pada frekuensi 2,4 Ghz. Pada kondisi diluar ruangan penggunaan frekuensi jika dibandingkan dengan menggunakan sinyal infra merah, sinar matahari sering memberikan gangguan terhadap sinyal infra merah yang sangat mempengaruhi proses kendali, maka gelombang radio merupakan pilihan tepat. Selain itu penggunaan gelombang radio mempunyai keunggulan dimana data yang dipancarkan dapat dikirim pada jarak yang cukup jauh. [9]

2.7 Propeler (baling-baling)

Propeler adalah salah satu bagian mesin yang berfungsi sebagai alat penggerak mekanik,

misalnya pada pesawat terbang, kapal laut, hovercraft dan berbagai jenis turbin. Propeler dibedakan menjadi dua jenis yaitu *Fixed Pitch Propeler* (FPP) dan *Controllable Pitch Propeler* (CPP). Propeler jenis FPP adalah propeler yang hanya memiliki sudut pitch tertentu dan tidak dapat diubah (tetap). Propeler jenis CPP dirancang agar besar sudut pitch dari propeler dapat diatur walaupun propeler dalam keadaan berputar. [10]

2.8 Baterai Li-Po

Polimer pada awal 2000 masih kuat namun sebagian besar pengguna tidak dapat membedakan antara Li-ion reguler dengan keluarga baterai polimer. Polimer Lithium berbeda dari jenis elektrolit yang digunakan baterai lain. Desain polimer kembali ke masa 1970-an menggunakan elektrolit polimer padat (kering) yang menyerupai film plastik. Isolator ini memungkinkan pertukaran ion (atom bermuatan listrik) dan menggantikan pemisah berpori sederhana yang direndam dengan elektrolit. Sebuah polimer padat memiliki konduktivitas rendah pada suhu kamar dan baterai harus dipanaskan sampai 50-60° C (122-140°F) untuk mengaktifkan saat *flow*. Untuk membuat baterai Li-polymer yang modern konduktif pada suhu kamar, gel elektrolit ditambahkan.[11]

3.1 Gambaran Sistem

Perancangan sistem wahana *quadcopter* pada proyek akhir ini menggunakan model "+" dengan dimensi 60 cm x 60 cm x 15 cm dan berat total 876 gram. Sistem terdiri dari perangkat keras yaitu, motor *brushless Turnigy 1200 KV*, *Electric Speed Control (ESC) suppo model 20 Ampere*, *propeler 10x4.5*, baterai *Lithium Polymer 3300 mAh/11.1 Volt*, modul sensor *gyrocope* dan *accelerometer* IMU 10 DOF, dan sistem minimum *Atmega328P* sebagai kontroler utama. Gambar 3.1 merupakan foto quadcopter tampak atas.



Gambar 3.1 Quadcopter tampak atas

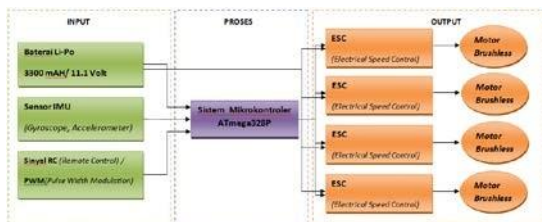
3.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Dalam menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi terdapat beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi untuk mendukung pembuatan proyek akhir, yaitu:

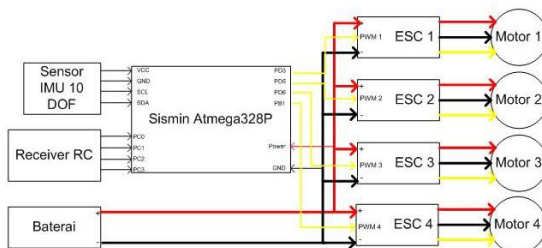
1. *Quadcopter* yang dibangun dalam proyek akhir ini menggunakan material badan utama papan kayu triplek, lengan wahana dengan alumunium, beserta mur dan baut sebagai penyambung perbagian badan wahana.
2. Perangkat keras sistem minimum mikrokontroler Atmega 328P sebagai sistem kontrol utama, motor *brushless* 1200 KV, ESC Suppo Model 20 A, Baterai 3300 mA/11.1 Volt, APC220 *Radio Communication Module*, IMU sensor 10 DOF (*accelerometer* dan *gyro sensor*), TX/RX RadioLink 6 channels, *propeler* 10X4.5 gemfan.
3. Perangkat lunak Arduino 1.0.5 sebagai *compiler* untuk mikrokontroler, eXtreme Burner-AVR sebagai perangkat lunak yang membantu proses upload program yang telah dibuat ke dalam mikrokontroler Atmega328P dan Matlab R2012a (8.3) sebagai aplikasi simulasi untuk pembuatan grafik dalam pengujian PID.

3.3 Perancangan Sistem

Dalam merancang sistem *Quadcopter* terdiri dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras terdiri dari blok masukan berupa catu daya, sensor, sinyal RC, blok proses yang terdiri dari mikrokontroler ATmega dan blok keluaran berupa ESC dan motor *brushless*. Perancangan perangkat lunak berupa pemrograman menggunakan bahasa C. Gambar 3.2 merupakan diagram blok sistem. Gambar 3.3 skema koneksi sistem



Gambar 3. 2 Diagram blok sistem



Gambar 3. 3 Skema koneksi sistem

3.4 Perancangan Perangkat Keras

Tabel 3. 1 Tabel kebutuhan perangkat keras

No	Nama Perangkat Keras	Jumlah	Fungsi
1	Sistem minimum/ Mikrokontroler Atmega 328P	1	Sebagai sistem kontrol utama
2	Sensor IMU 10 DOF	1	Sebagai sensor <i>gyroscope</i> dan <i>Accelerometer</i>
3	Baterai Lippo 3300 mAH	1	Sebagai catu daya
4	ESC 20 Ampere	4	Sebagai driver masukan daya ke motor brushless
5	Motor Brushless 1200 KV	4	Sebagai aktuatur propeler
6	Propeler	4	Sebagai perangkat penunjang pengaruh angin
7	TX RadioLink 6 Channel	1	Sebagai transmitter masukan nilai PWM dari remote kepada receiver
8	RX FRsky Remote Control	1	Sebagai receiver masukan nilai PWM dari transmitter remote control
9	Laptop OS Windows 7	1	Sebagai alat bantu untuk mendesain, mengolah, dan mendokumentasikan kegiatan proyek akhir
10	Downloader	1	Sebagai perangkat keras yang menjembatani antara perangkat lunak eXtreme Burner dengan mikrokontroler Atmega 328P dalam proses pen-upload-an <i>source code</i> program

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Tabel 3. 2 Tabel kebutuhan perangkat lunak

No.	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino 1.0.5	Berfungsi sebagai <i>compiler</i> program.
2	Matlab R2014a (8.3)	Untuk pembuatan grafik dalam melakukan pengujian PID.
3	eXtreme Burner AVR	Berfungsi sebagai aplikasi proses pengunggah hasil pemrograman dari perangkat lunak Arduino 1.0.5 kepada mikrokontroler Atmega328P.
4	Microsoft Office 2007	Berfungsi sebagai aplikasi pengolahan data dokumentasi dan penulisan laporan.

3.6 Skenario Pengujian PID

Pengujian algoritma PID dilakukan dengan melihat pergerakan terbang wahana quadcopter. Pengujian dilakukan dengan memberikan satu persatu nilai Kp, Ki, dan Kd. Pada pengujian dalam

ruangan pergerakan terbangnya wahana quadcopter akan diikat dengan tali yang diharapkan terbang wahana tidak akan membahayakan penguji disekitar. Sedangkan pada pengujian luar ruangan wahana *quadcopter* akan terbang bebas tanpa diikat untuk melihat sampai sejauh mana wahana dapat terbang dengan stabil, serta dapat melihat dampak dari gangguan lingkungan sekitar seperti angin, bangunan, sinyal gangguan lainnya terhadap terbang wahana *quadcopter*. Pembuatan grafik dilakukan dengan menggunakan aplikasi matlab. Dengan melihat grafik, karakteristik dari PID dapat dimengerti, sehingga diperoleh nilai PID yang sesuai dengan hardware yang digunakan.

4.1 Implementasi

Implementasi wahana quadcopter menggunakan algoritma PID dibangun berdasarkan perangkat keras yang dibutuhkan. Wahana quadcopter ini akan terbang sesuai dengan masukan nilai ADC dari remote RC yang kestabilannya disesuaikan dari

masukan nilai sensor IMU 10 DOF. Program dibuat menggunakan compiler Arduino 1.0.5.

4.2 Pengujian PID

Pengujian PID dilakukan dengan menentukan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d . Nilai K_p , K_i , dan K_d diperoleh dengan menggunakan metode analisis suatu fungsi ahli sistem menggunakan Matlab. Matlab akan menganalisa suatu sistem kontrol jika mendapat masukan berupa fungsi alih dalam transformasi Laplace. Fungsi ahli harus memenuhi syarat sistem kontrol yang baik. Syarat sistem kontrol yang baik tidak memiliki *overshoot*, *error steady state*, *settling time* yang mendekati 1 dan *rise time* yang cepat.

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d .
Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon *steady state*.
2. Waktu naik (*rise time*), t_r .
Waktu naik adalah ukuran waktu yang diukur mulai dari respon $t = 0$ sampai dengan respon memotong sumbu *steady state* yang pertama.
3. Waktu puncak (*peak time*), t_p .
Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon mulai dari $t = 0$ hingga mencapai puncak pertama *overshoot*.
4. *Overshoot* maksimum, M_p
Nilai relatif yang menyatakan perbandingan

antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*.

5. Waktu tunak (*settling time*), t_s
Waktu tunak adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$, atau $\pm 2\%$, atau $\pm 0.5\%$ dari keadaan *steady state*,

Berikut persamaan fungsi alih pada sistem kontrol ,

$$G(s) = \frac{K_p s^2 + K_i s + K_d}{s^3 + K_p s^2 + K_i s + K_d}$$

Berikut fungsi alih yang dilakukan analisis pada Matlab,

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 5s + 8}$$

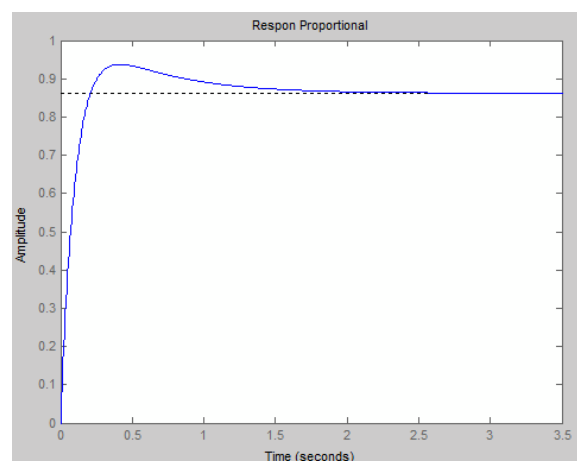
4.3 Grafik Kendali Proportional

Fungsi ahli sistem dengan menambahkan nilai K_p menjadi

$$G(s) = \frac{K_p}{s^2 + 5s + (8 + K_p)}$$

Penulisan command editor di matlab dengan nilai K_p 0,5

```
Kp = 0,5;
Ps = Kp;
Qs = [1 5 8 + Kp];
t = 0:0.01:2;
step (Ps, Qs);
title ('Respon Proportional')
```



Gambar 4. 1 Grafik respon proportional K_p 0,5

Gambar 4.1 merupakan bentuk grafik dari respon proportional K_p 0,5. Nilai K_p 0,5 pada grafik diatas menunjukkan bahwa sistem memiliki *delay time* 0,02 s, *rise time* 0,21 s, *settling time* 2,27 s.

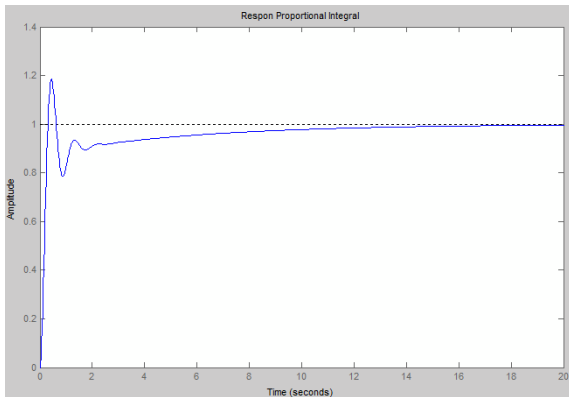
4.4 Grafik Kendali Proportional Integral Derivative

Fungsi ahli sistem dengan menambahkan nilai k_p , k_i dan k_d menjadi

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K(s^2 + 5s + 8)}{s^3 + (5 + K_d)s^2 + (8 + K_i)s + K_p}$$

Penulisan command editor di matlab dengan nilai

$K_p = 0,5$, $K_i = 0,1$ dan $K_d = 0$
 $K_p = 0,5$;
 $K_i = 0,1$;
 $K_d = 0$;
 $P_s = [K_d \ K_p \ K_i]$;
 $Q_s = [1 \ 5 + K_d \ 8 + K_i]$;
 $t = 0:0.01:2$;
 step (P_s , Q_s);
 title ('Respon PID')

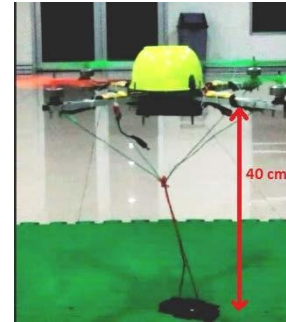


Gambar 4. 2 Grafik respon Proportional Integral

Gambar 4.2 merupakan bentuk grafik dari respon proportional derivative K_p 0,5 K_d 0,1. Nilai K_p 0,5 K_d 0,1 pada grafik diatas menunjukkan bahwa sistem memiliki *delay time* 0,1 s, *rise time* 0,3 s, *settling time* 12 s, memiliki *overshoot* pada 0,4 S.

4.5 Pengujian terbang di dalam ruangan

Sesuai dengan skenario pengujian, pada tahap pengujian terbang di dalam ruangan pergerakan terbangnya wahana *quadcopter* akan diikat dengan tali dan diberikan alas matras yang diharapkan terbang wahana tidak akan membahayakan penguji disekitar. Pada pengujian terbang di dalam ruangan ini, nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan nilai pengujian PID sebelumnya, yaitu K_p 0,5, K_i 0 dan K_d 0.



Gambar 4. 3 Foto pengujian dalam ruangan

Gambar 4.3 merupakan foto wahana *quadcopter* ketika terbang dengan ketinggian 40 cm di dalam ruangan. Terbang wahana *quadcopter* cukup stabil karena tidak ada faktor lingkungan sekitar yang mengganggu terbang wahana *quadcopter*.

4.6 Pengujian terbang di luar ruangan

Sesuai dengan skenario pengujian, pada tahap pengujian luar ruangan wahana *quadcopter* akan terbang bebas tanpa diikat untuk melihat sampai sejauh mana wahana dapat terbang dengan stabil, serta dapat melihat dampak dari gangguan lingkungan sekitar seperti angin, bangunan, sinyal gangguan lainnya terhadap terbang wahana *quadcopter*. Pada pengujian terbang di luar ruangan ini, nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan nilai pengujian PID sebelumnya, yaitu K_p 0,5, K_i 0 dan K_d 0.



Gambar 4. 4 Foto pengujian luar ruangan

Gambar 4.4 merupakan foto wahana *quadcopter* ketika terbang bebas di luar ruangan tanpa diikat dengan ketinggian 40 cm. Waktu pengujian pada pukul 11.00 WIB, kondisi alam saat itu mendung dan berangin. Terbang wahana *quadcopter* tidak cukup stabil karena faktor angin yang mempengaruhi terbang wahana *quadcopter*.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis cara kerja sistem adalah

- Implementasi algoritma PID dengan nilai K_p 0,5, K_i 0, dan K_d 0. Hanya dapat diimplementasikan pada sistem wahana quadcopter dengan spesifikasi dan ukuran yang sama dengan sistem wahana *quadcopter* proyek akhir ini.
- Implementasi PID pada sistem *quadcopter* dapat membantu kendali wahana untuk mendapatkan kondisi yang lebih stabil dibandingkan tanpa menggunakan PID.
- Pada pengujian terbang wahana *quadcopter* dengan nilai K_p 0,5, K_i 0 dan K_d 0 terlihat perbedaan antara pengujian terbang di dalam ruangan dengan pengujian di luar ruangan. Pengujian terbang di dalam ruangan lebih stabil dibandingkan pengujian terbang di luar ruangan, karena pada pengujian luar ruangan banyak faktor seperti angin, bangunan, dan sinyal gangguan lainnya yang mempengaruhi kestabilan terbang *quadcopter*.
- Implementasi PID secara keseluruhan masih belum dapat dikatakan sempurna sampai pada percobaan sistem implementasi terakhir, karena masih butuh pengembangan sistem lebih lanjut.

5.2 Saran

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis cara kerja sistem adalah

- Dalam merancang sistem kendali *quadcopter* yang harus diperhatikan adalah desain wahana, perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan agar sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Serta keselamatan pengujian harus menjadi yang utama.
- Pada pengembangan selanjutnya diharapkan dalam mencari parameter kestabilannya, sistem dapat menambahkan algoritma lain atau pengolahan data sehingga dapat menghasilkan keluaran parameter kestabilan seperti yang diharapkan.
- Pada pengembangan sistem selanjutnya diharapkan adanya penambahan metode pengolahan data ADC dari remote RC sehingga nilai masukan yang diterima merupakan nilai yang pasti.

Daftar Pustaka

- [1] Kardono, Rusdhianto Efendi AK, dan Ali Fatoni. Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Optimal *LQR* untuk Menjaga Kestabilan Hover pada Quadcopter. (Intitut

- Teknologi Sepuluh Nopember). Vol . 1, No. 1, 2012.
- [2] Gloria Panjaitan. *Design of Line Follower Robot Using PID Algorithm (Case Study : EBOTECH#*. (Telkom University). hal 7-8.
- [3] Atmel.(2014, Oktober, 2). *Atmel Corporation*. Diambil kembali dari Atmel Corporation: <http://www.atmel.com>
- [4] dfrobot.(2014, Oktober, 2). IMU 10 DOF sensor [online]. Available : http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/10_DOF_Sensor_%28SKU:SEN0140%29
- [5] Endra, Pitowarno. Robot Desain, Kontrol, dan Kecerdasan buatan. Jogjakarta: ANDI. 2006
- [6] Vidi Rahman Alma'I, dkk. Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi. (Universitas Diponegoro).hal 2
- [7] Sirajuddin.Rancang Bangun Robot Terbang Quadcopter Berbasis Mikrokontroler ATmega16.(Universitas Tanjung Pura). hal 2.
- [8] Ohio Electric Motors. Brushless DC Motors Used in Industrial Applications. Electric Motors. 2012.
- [9] Sirajuddin.Rancang Bangun Robot Terbang Quadcopter Berbasis Mikrokontroler ATmega 16. (Universitas Tanjungpura).hal 2.
- [10] e-jurnal. (2015, Januari, 25). Pengaruh Sudut Pitch Propeler Terhadap Gaya Dorong Pada Controllable Pitch Propeler [online]. Available : <http://www.e-jurnal.com/2014/08/pengaruh-sudut-pitch-propeler-terhadap.html>
- [11] Batteryuniversity. (2015, Januari, 25). BU-206: Li-polymer Battery: Substance or Hype? [online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype