

## IMPLEMENTASI DAN PERANCANGAN SISTEM KENDALI POSISI KETINGGIAN (ALTITUDE) QUADCOPTER BERBASIS ARDUINO UNO R3

### Implementation and Design Of Quadcopter Height Position (Altitude) Control System Based On Arduino Uno R3

Ramli Zaenudin<sup>1</sup>, I Made Budi Suksmadana<sup>1</sup>, Giri Wahyu Wiriasto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

E-mail : [zaenudinramli1993@gmail.com](mailto:zaenudinramli1993@gmail.com)<sup>1</sup>; [mdbudi@te.ftunram.ac.id](mailto:mdbudi@te.ftunram.ac.id)<sup>2</sup>; [giriwahyuwiriasto@gmail.com](mailto:giriwahyuwiriasto@gmail.com)<sup>3</sup>

---

#### ABSTRAK

Sebuah quadcopter dilengkapi dengan sensor ultrasonic HC-SR04 yang digunakan untuk membaca jarak yang bertujuan untuk menahan posisi ketinggian dari quadcopter. Pemanfaatan quadcopter tersebut pada bidang militer, multimedia, dan untuk penelitian yang tidak dapat dijangkau oleh manusia akan sangat tepat, khususnya untuk mengambil gambar dan video serta untuk pengambilan data penelitian. Quadcopter yang dirancang ditugaskan untuk mampu menahan posisi ketinggian tertentu sesuai dengan set-point yang diberikan. Pengambilan keputusan sistem, kontrol motor brushless sebagai aktuator, dan pengontrolan sensor-sensor dilakukan oleh mikrokontroler (atmega328). Pengendali kestabilan dan pengaturan posisi ketinggian quadcopter menggunakan kendali PID yang telah diterapkan kedalam sistem. Hasil dari penelitian ini adalah quadcopter mampu menahan posisi ketinggian sesuai dengan set-point yang diberikan dan quadcopter mampu stabil di ketinggian tersebut dengan nilai  $P = 3.0$ ,  $I = 0.02$ ,  $D = 0$ , untuk menahan posisi ketinggian 10 cm rata-rata error-nya 0.42 cm, posisi ketinggian 20 cm rata-rata error-nya 0.29 cm dan posisi ketinggian 30 cm rata-rata error-nya 0.32 cm.

**Kata kunci :** quadcopter, sensor ultrasonic HC-SR04, IMU MPU6050, mikrokontroler, kendali PID

---

#### ABSTRACT

A quadcopter is equipped with an HC-SR04 ultrasonic sensor which is used to read distances in order to hold the altitude position of the quadcopter. The use of the quadcopter in the military, multimedia, and for research that cannot be reached by humans would be very appropriate, especially for taking pictures and videos and for taking research data. The quadcopter is designed to be able to hold a certain height position in accordance with the set-point given. System decision making, brushless motor control as an actuator, and control of the sensors is carried out by a microcontroller (atmega328). The stability control and height adjustment position of the quadcopter uses the PID control that has been applied to the system. The results of this study are the quadcopter is able to hold the height position in accordance with the set-point given and the quadcopter is able to be stable at that height with a value of  $P = 3.0$ ,  $I = 0.02$ ,  $D = 0$ , to hold the height position of 10 cm on the average error 0.42 cm, the height position is 20 cm, the average error is 0.29 cm, and the height position is 30 cm, the average error is 0.32 cm.

**Keywords :** quadcopter, ultrasonic HC-SR04 sensor, IMU MPU6050, microcontroller, PID control

---

#### PENDAHULUAN

Teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau biasa disebut dengan *quadcopter* merupakan salah satu teknologi yang saat ini banyak diminati untuk diteliti dan dikembangkan oleh para peneliti pesawat tanpa awak. *Quadcopter* merupakan sebuah pesawat tanpa awak yang memiliki empat buah baling-baling (*propeller*) dan empat buah

motor *brushless* sebagai aktuator. Penggunaan *quadcopter* saat ini sangat dibutuhkan baik itu dibidang multimedia, kesehatan, pendidikan, militer dan lain-lain. Pengaplikasian *quadcopter* pada bidang-bidang tersebut digunakan untuk pengambilan data sebagai bahan penelitian, menjalankan misi yang beresiko tinggi, pengambilan gambar dan video yang tidak bisa dijangkau

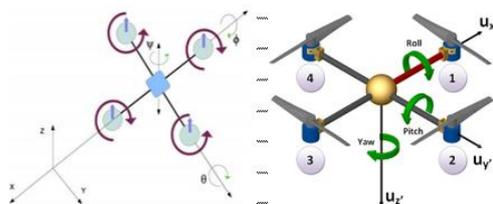
oleh manusia dan lain-lain.

Permasalahan yang sering dihadapi dalam pengoperasian *quadcopter* ini adalah masalah kestabilan dari *quadcopter* ketika lepas landas, hover dan mendarat. Teknologi yang terdapat pada *quadcopter* menggunakan sinkronisasi antara keempat rotor yang telah dikonfigurasi dalam bentuk frame (x), dimana rotor depan kiri dan belakang kanan bergerak searah jarum jam (CW) sedangkan rotor depan kanan dan belakang kiri bergerak berlawanan arah jarum jam (CCW).

Kestabilan pada *quadcopter* sangatlah penting dan harus dimiliki agar pemanfaatannya dapat maksimal. Penelitian pengendalian *quadcopter* agar dapat bergerak dengan stabil ini dilakukan untuk mengimplementasikan dan menganalisis penerapan metode kendali PID untuk mengatur posisi ketinggian *quadcopter* agar tetap dalam keadaan stabil diudara dengan ketinggian tertentu.

*Quadcopter* memiliki 6 Degree of Freedom (DoF) dengan 12 state, 6 dari keluaran dari 12 state menentukan attitude dari *quadcopter*. *Quadcopter* memiliki 4 buah rotor sebagai penggerak baling-baling yang digunakan untuk menghasilkan gaya angkat. Baling-baling yang sering disebut dengan *propeller* yang dipasang bersama 4 buah *brushless* motor. Tipe dari *quadcopter* sendiri terdiri dari dua jenis, tipe X dan tipe + tergantung pada gerak laju pada *quadcopter*. *Quadcopter* memiliki frame dimana sebagai tulang tumpu pada koordinat x dan y. (Pancev, 2013)

Gambar 1 merupakan sistem koordinat yang dipakai dalam rancangan. Manuver pada *quadcopter* dilakukan dengan mengubah-ubah kecepatan putaran tiap motor. Sebagai ilustrasi pada gambar tersebut diperlihatkan arah dan kecepatan putaran masing-masing motor. Saat *quadcopter* melayang (*hover*) maka kecepatan putaran diatur sama untuk semua motor.



Gambar 1. Sistem koordinat rancangan *quadcopter* (Dharmawan, 2012)

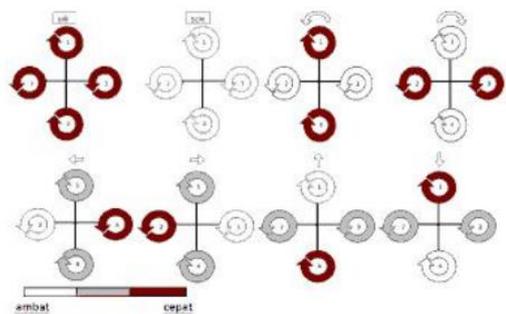
*Altitude quadcopter* merupakan sikap orientasi pada titik tengah massa *quadcopter*.

Untuk menaikan atau menurunkan *quadroter* secara vertikal, keempat rotor dikontrol dengan kecepatan yang sama. Terdapat tiga kritikal kontrol sistem pada dinamika penerbangan, yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

*Roll* didefinisikan sebagai perputaran pada sumbu longitudinal, yaitu sumbu yang melalui bagian belakang ke bagian depan *quadroter*. Perputaran sumbu ini mengakibatkan *quadroter* melenggok kekiri atau kekanan. Hal ini diperoleh dengan meningkatkan dorongan (*thrust*) pada salah satu motor yang terpasang pada sumbu Y dan mempertahankan atau mengurangi dorongan pada motor yang satunya sedangkan dua motor pada sumbu X kecepatan putarannya tetap dipertahankan.

*Pitch* didefinisikan sebagai perputaran pada sumbu lateral, yaitu sumbu yang melalui bagian kiri ke bagian kanan *quadroter*. Perputaran sumbu ini menyebabkan *quadroter* mengangguk keatas atau kebawah. Hal ini diperoleh dengan meningkatkan dorongan (*thrust*) pada salah satu motor yang terpasang pada sumbu X dan mempertahankan atau mengurangi dorongan pada motor yang satunya sedangkan dua motor pada sumbu Y kecepatan putarannya tetap dipertahankan.

*Yaw* didefinisikan sebagai perputaran pada sumbu vertikal yang tegak lurus terhadap lengan-lengan *quadroter* pada titik pusat gravitasi *quadroter*. Perputaran pada sumbu ini menyebabkan *quadroter* bergerak kesisi kanan atau kesisi kiri. *Yaw* diperoleh dengan meningkatkan putaran motor-motor pada sumbu X dibandingkan dengan motor-motor pada sumbu Y ataupun sebaliknya. Hal ini mengakibatkan *quadroter* berputar pada sumbu Z. (Pancev, 2013)



Gambar 2. Pergerakan dari *quadcopter* (Andika, 2012)

Gambar 2 menunjukkan bahwa

quadcopter memiliki 6 dinamika gerak dasar yang dihasilkan dari 4 buah motor yang dikontrol sesuai dengan program yang telah dibuat, sehingga quadcopter tersebut dapat bergerak maju, mundur, belok kiri, belok kanan, memutar kekiri dan kekanan.

Komponen yang diperlukan untuk membuat *quadcopter* yaitu : *frame*, *motor brushless*, *electronic speed control (ESC)*, *propeller* (baling-baling), *battery Li-Po (3 cell)* dan *Arduino UNO*.

*Frame quad X525* merupakan *frame* yang berukuran diameter 525 mm. *Frame* ini terbuat dari bahan carbon fiber dan aluminium agar tidak terlalu berat dan lebih kuat. Bentuk *frame* terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Frame X525*

*Battery LiPo (Lithium Polymer)* adalah salah satu jenis baterai *rechargeable* yang sering digunakan pada RC pesawat dan *helicopter*. Baterai LiPo memiliki tiga keuntungan utama dibandingkan dengan jenis baterai lain seperti NiMH dan NiCd, yaitu :

1. Ukuran yang lebih kecil dan ringan
2. Memiliki kapasitas yang besar
3. Mampu men-*discharge* arus yang besar (umumnya untuk *supply* motor)

*Electronic Speed Control (ESC)* yang digunakan adalah berjenis *brushless*, terdiri atas susunan MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) untuk mengendalikan kecepatan motor *brushless*. *Electronic Speed Control (ESC)* bekerja secara cepat untuk menghidupkan atau mematikan pulsa ke motor, sehingga respon kedali motor cepat. Selain itu *Electronic Speed Control (ESC)* yang digunakan berbasis mikroprosesor, sehingga dapat deprogram sesuai dengan kebutuhan. Berikut ini adalah gambar dan spesifikasi *Electronic Speed Control (ESC)* yang digunakan. Untuk lebih jelasnya mengenai *Electronic Speed Control (ESC)* Gambar 4. *Electronic Speed Control (ESC)* memberikan catuan pada motor sesuai dengan sinyal *Pulse Width*

*Modulation (PWM)* yang masuk pada *input ESC*.

Motor *brushless direct current (BLDC)* adalah motor yang tidak menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi) tetapi dilakukan secara komutasi elektronik.



Gambar 4. *Electronic Speed Control (ESC)* (Prawirayuda, F., 2012)



Gambar 5. Motor *Brushless* (Nurmansyah. 2014)

Gambar 5 merupakan tampilan dari motor *brushless*. Motor DC magnet permanen (DC-MP) dengan motor *brushless* DC berbeda. Perbedaannya terletak pada pembangkitan medan magnet untuk menghasilkan gaya gerak. Jika pada motor DC-MP medan magnet yang dikontrol berada di rotor dan medan magnet tetap berada di stator. Sebaliknya, motor *brushless* menggunakan pembangkitan medan magnet stator untuk mengontrol gerakannya sedangkan medan magnet tetap berada di rotor.

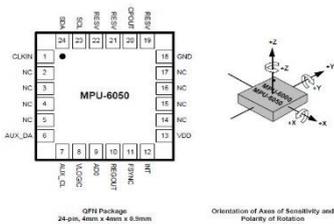
Baling-baling (*propeller*) adalah alat untuk menjalankan pesawat terbang. Baling-baling ini memindahkan tenaga dengan mengkonversi gerakan rotasi menjadi daya dorong untuk menggerakkan sebuah kendaraan seperti pesawat terbang, untuk melalui suatu massa seperti udara, dengan memutar dua atau lebih bilah kembar dari sebuah poros utama, seperti yang terlihat pada Gambar 6 .

Sensor IMU MPU6050 merupakan salah satu produk sensor *MEMS Motion Tracking* yang diproduksi oleh perusahaan Invensense. MPU6050 merupakan sebuah IC yang terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope*

digital yang masing-masing memiliki orientasi 3 axis terlihat pada Gambar 7. Baik *accelerometer* maupun *gyroscope* yang ada pada MPU6050 memiliki 16 bit *output* digital yang bisa diakses melalui jalur antarmuka I2C atau SPI.

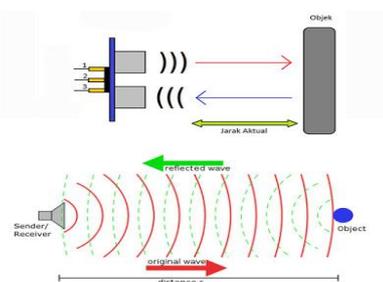


Gambar 6. Propeller 10x4.5 inch CW dan CCW. (Dharmawan, A., 2012)



Gambar 7. Sensor IMU MPU6050 (IvenSense, 2013)

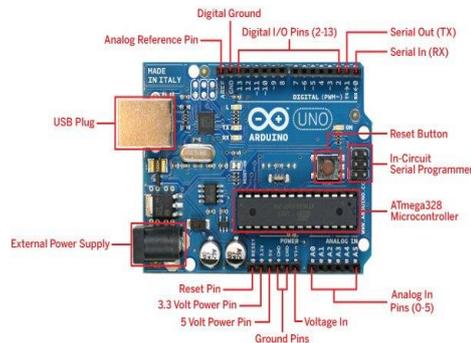
Sensor *Ultrasonic HC-SR04* adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip dari pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu. Disebut sebagai sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik).



Gambar 8. Sensor *Ultrasonic HC-SR04* (Elec-Freaks, 2016)

Arduino Uno terdiri dari kata "Uno" berasal dari bahasa Italia yang berarti "satu", dan dipilih untuk menandai peluncuran Software Arduino (IDE) versi 1.0. Arduino. Sejak awal peluncuran hingga sekarang, Uno telah berkembang menjadi versi Revisi 3 atau biasa ditulis REV 3 atau R3. Software Arduino IDE, yang bisa diinstall di Windows maupun Mac dan Linux, berfungsi sebagai software yang membantu anda memasukkan (upload) program ke chip ATmega328 dengan mudah.

Arduino Uno memiliki 14 digital pin input / output (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Pin digital memiliki dua buah nilai yang dapat ditulis kepadanya yaitu High(1) dan Low(0). Logika high maksudnya ialah 5 Volt dikirim ke pin baik itu oleh mikrokontroler atau dari komponen. Low berarti pin tersebut bertegangan 0 Volt. Dari logika ini, anda dapat membayangkan perumpamaan: start/stop, siap/tidak siap, on/off, dsb.



Gambar 9. Arduino Uno (Ecadio, 2016)

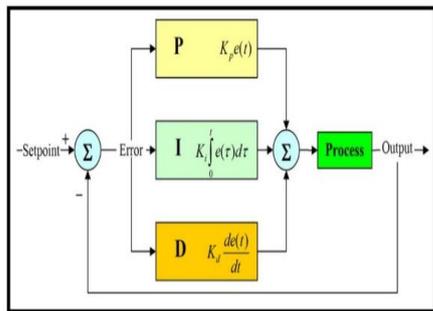
Gambar 9 menunjukkan pin-pin digital berada pada bagian atas. Pin-pin itulah yang nantinya dihubungkan ke berbagai kontrol yang berkomunikasi dengan menggunakan nilai digital. Beberapa pin digital dapat digunakan sebagai Pulse Width Modulation(PWM). Secara umum pin PWM ini dapat digunakan untuk mengirim nilai/informasi analog ke komponen. Tanda ~ pada pin 3, 5, 6, 9, 10, 11 menandakan fungsi PWM.

Aksi kontrol PID (*Proportional, Integral, Derivative*) banyak ditemukan di dunia industri dan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan proses. Berdasarkan survei, 97% industri yang

bergerak dalam bidang proses (seperti kimia, *pulp*, makanan, minyak, dan gas) menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya. PID (dari singkatan bahasa Inggris: *Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*.

**METODE PERANCANGAN**

Perancangan berfokus pada kendali posisi ketinggian *quadcopter*. Sistem kendali yang merupakan hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, untuk menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (*plant*) Gambar 10.



Gambar 10. Blok diagram *PID Controller* (Domingues, 2009)

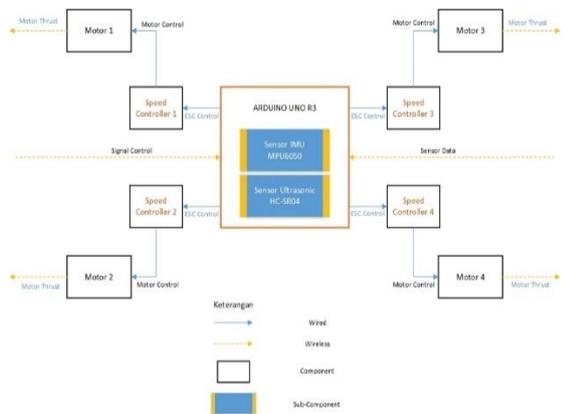
Rancangan kendali posisi dan ketinggian *quadcopter* digunakan untuk mengendalikan *quadcopter* dengan menggunakan metode kendali PID (*PID Controller*) berfungsi untuk melakukan proses kendali *quadcopter* pada posisi ketinggian tertentu sesuai dengan *set-point* yang diberikan. *Set-point* yang dimaksud adalah nilai ketinggian terbang yang harus dicapai oleh *quadcopter* dan bertahan pada posisi tersebut.

Perancangan pengendali menggunakan komunikasi serial yang berfungsi untuk mengirim data instruksi ke perangkat kendalian (*plant*) pada *quadcopter*. Sensor *ultrasonic* untuk mendeteksi posisi dan ketinggian yang dicapai *quadcopter*, kemudian mengirimkan sinyal hasil respon melalui media komunikasi untuk diteruskan ke komputer sebagai monitoring hasil respon

dalam bentuk grafik.

Pada gambar 11, Arduino Uno R3 digunakan sebagai system utama yang memegang kendali atas semua system yang berjalan. Semua perangkat seperti sensor IMU MPU6050, Sensor *Ultrasonic HC-SR04*, Receiver, ESC (*Electronic Speed Control*) terhubung ke system utama.

Sensor IMU MPU6050 memiliki 16 bit *output* digital yang bisa diakses melalui jalur antar muka I2C atau SPI. *Receiver* yang terhubung ke pin Arduino Uno R3 yang kemudian pin-pin tersebut menjadi keluaran dari *receiver*. *Electronic Speed Control (ESC)* memiliki saluran data sinyal yang terhubung ke pin pada Arduino Uno R3 sebagai keluaran dari pemrosesan data sinyal pada system yang dilanjutkan oleh ESC tersebut ke motor *brushless* sehingga motor *brushless* dapat dikontrol kecepatannya.



Gambar 11. Blok diagram sistem

*Quadcopter* model merupakan komponen yang menjadi bagian utama sebagai *plant* yang akan dikendalikan dalam sistem yang akan dirancang.

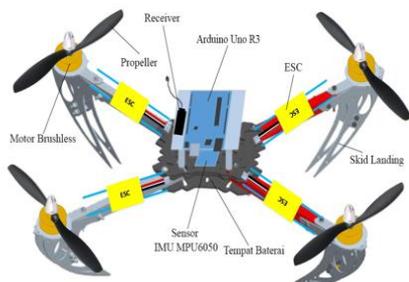
Spesifikasi *quadcopter* model yang digunakan adalah jenis *cross (X)* dengan frame berdasar dari aluminium dan penyangga tengah *frame* terbuat dari *carbon fiber*. Bahan dasar tersebut yang menjadikan *quadcopter* model ini lebih ringan dalam terbang dari pada pesawat model dengan bahan yang lain.

Mekanika *quadcopter* terlihat pada Gambar 12 dan Gambar 13 *Quadcopter* yang akan dirancang terdapat empat motor *brushless* yang berfungsi sebagai aktuator. Untuk mengatur kecepatan dari motor *brushless* tersebut digunakan *Electronic Speed Control (ESC)*. *Quadcopter* juga dilengkapi dengan sensor IMU MPU6050 yang merupakan sensor yang berfungsi untuk

menghitung percepatan serta orientasi arah pergerakan dari kendaraan udara dengan menggunakan kombinasi dari sensor accelerometer dan gyroscope.

Dengan adanya IMU, kendaraan udara bisa menghitung dan mengetahui pergerakan yang dilakukannya, sehingga dapat membantu kendaraan tersebut untuk mengetahui posisi serta lintasan yang dilaluinya tanpa menggunakan GPS (misalkan ketika tidak mendapatkan sinyal GPS).

IMU bekerja dengan menggunakan tiga sensor accelerometer yang digunakan untuk menghitung percepatan di sumbu x, y, dan z. Nantinya, accelerometer akan dipadukan dengan gyroscope untuk menentukan arah mana yang sedang diambil oleh quadcopter ketika melakukan percepatan tersebut dan dengan mencatat serta menggabungkan semua perhitungan tersebut, akan didapatkan posisi baru dari quadcopter yang bergerak, serta jalur pergerakan yang diambilnya. Penempatan sensor IMU MPU6050 ini tepat berada dititik tengah dari *frame quadcopter*.

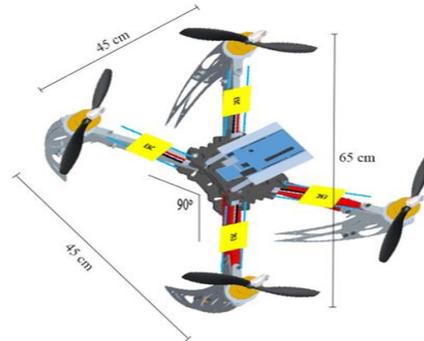


Gambar 12. Desain *quadcopter*.

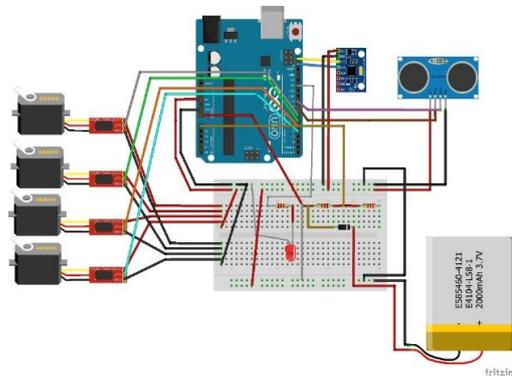
Skema rangkaian *Quadcopter* seperti pada Gambar 14 memperlihatkan beberapa komponen lain yang terhubung seperti resistor, diode, dan LED. Dari rangkaian tersebut baterai yang di hubungkan ke resistor yang kemudian di sambungkan VCC (5V) pada arduino, di antara R2 dan R3 dihubungkan ke pin A0 yang berfungsi untuk mengetahui *power* dari baterai. Ketika baterai lemah, LED yang dihubungkan ke pin D12 akan berkedip-kedip yang bertanda baterai dalam keadaan lemah. Untuk sinyal informasi keempat ESC (*Electronic Speed Control*) masing-masing terhubung ke PORTD pin (4,5,6 dan 7).

Sedangkan untuk sensor IMU MPU6050 pin yang terhubung ke SDA dan SCL pada pin sensor IMU MPU6050 ialah pin A4 dan A5 atau (SDA dan SCL) pada arduino. Pin D8 inputan *roll (left and right)*, pin D9 inputan *pitch (nose up and nose down)*, pin

D10 inputan *throttle (up and down)*, dan pin D10 inputan *yaw (nose left and nose right)* pada receiver.



Gambar 13. Dimensi *quadcopter*.



Gambar 14. Rangkaian Skematik *Quadcopter*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 15 dapat dilihat lima komponen penyusun sistem quadcopter. Komponen tersebut antara lain Motor Brushless, Propeller, ESC (*Electronic Speed Control*), baterai quadcopter sebagai sumber daya sistem keseluruhan quadcopter. Untuk lebih detailnya, baterai quadcopter dan sensor ultrasonic dapat diperlihatkan pada Gambar 16. Baterai quadcopter yang ditempatkan pada bagian bawah quadcopter. Jenis baterai yang digunakan adalah LiPo (*Lithium Polymer*) 3S 11.1 Volt dengan kapasitas 2200 mAh. Pada Gambar 17 juga terlihat sensor ultrasonic berfungsi untuk menahan posisi ketinggian.

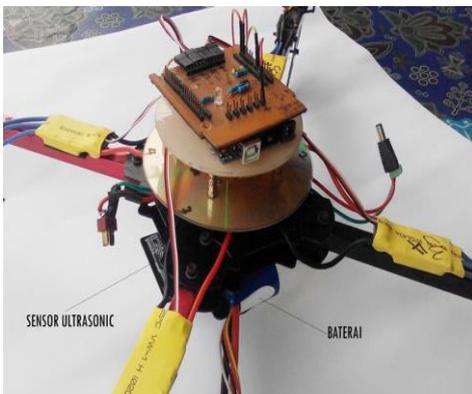
Pengujian nilai sensor ultrasonic untuk menahan posisi ketinggian quadcopter ini dilakukan dengan meletakkan quadcopter di tempat lepas landas kemudian quadcopter di angkat sesuai dengan ketinggian yang telah ditentukan untuk mengetahui seberapa sensitifitas pembacaan nilai sensor ultrasonic pada quadcopter tersebut. Pengambilan nilai sensor dilakukan sebanyak 9 kali dengan sampel data masing-masing satu kali

pengujian 30 nilai sampel seperti gambar 18.



Gambar 15. Tampilan luar *quadcopter*.

Pengujian nilai sensor ultrasonic bertujuan untuk melihat sesistifitas dari sensor ultrasonic dalam membaca jarak. Pengujian dilakukan menggunakan sensor Atmega 328P dengan sensor ultrasonic HC-SR04 dengan frequency 20 - 40 KHz dan tegangan DC 5V. Nilai yang didapat tersebut dapat di cari menggunakan persamaan  $S=340 \times t/2$ .



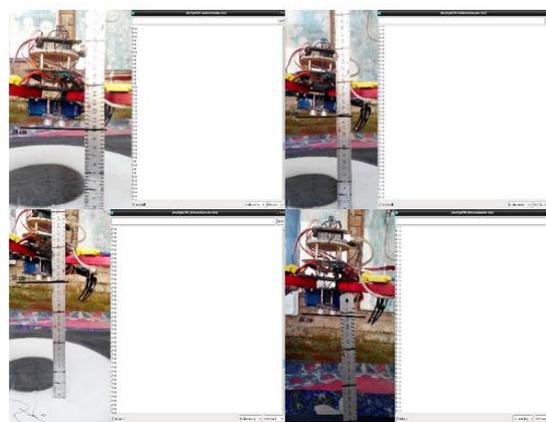
Gambar 16. Baterai dan sensor *ultrasonic HC-SR04*.

Gambar 19 bagian (a) merupakan proses penstabilan *propeller*. Proses penstabilan ini dilakukan dengan menggerakkan motor *brushless* dengan kecepatan putaran 1000 - 1600 us. Apabila getaran pada motor *brushless* semakin tinggi ketika putaran motor *brushless* semakin cepat itu menandakan bahwa *propeller* belum stabil. Untuk menstabilkan *propeller* digunakan cara manual yaitu dengan menempelkan sebuah isolasi/isolator pada bagian atas dari *propeller* terlihat pada gambar 20 bagian (b). Hal ini dilakukan berulang-ulang sampai getar pada motor *brushless* berkurang atau hilang

sehingga tidak mempengaruhi kesetabilan *quadcopter* ketika lepas landas.



Gambar 17. Sistem pendukung *quadcopter*.



Gambar 18. Pengujian sensor *ultrasonic HC-SR04*.

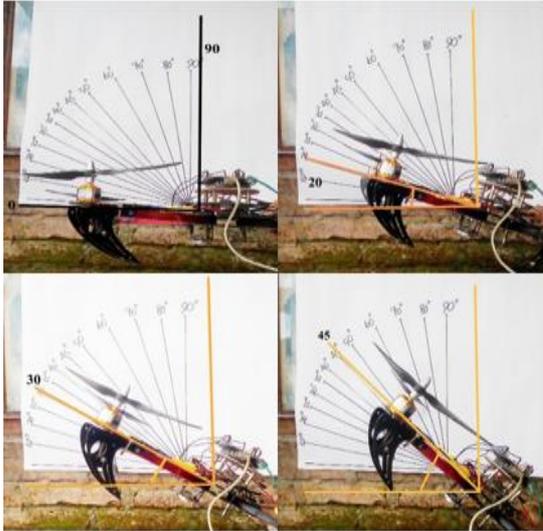


Gambar (a) Proses *balancing propeller*  
 Gambar (b) Penambahan beban pada *propeller*

Gambar 19. Pengujian putaran baling-baling (*propeller*).

Pada Gambar 20 merupakan proses pengambilan data sudut *pitch* pada *quadcopter*. Pada gambar tersebut pengambilan data dilakukan dengan meletakkan *quadcopter* di tempat yang datar agar sudut 0 derajat pada *quadcopter* dapat terbaca. Proses pengambilan data sudut kemiringan ini dilakukan dengan pengujian sebanyak 8 kali dengan pengujian sudut yang berbeda-beda.

Pengujian dan pengambilan data sensor untuk sudut *roll* juga dilakukan sama seperti saat pengambilan data sudut *pitch* di atas. Hal ini terlihat pada Gambar 21.



Gambar 20. Pengambilan data sudut *pitch*.

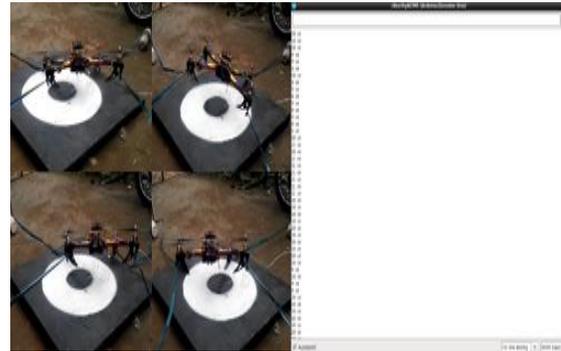


Gambar 21. Pengambilan data sudut *roll*.

Pada Gambar 22 dapat dilihat pengujian kestabilan menahan posisi ketinggian *quadcopter* setelah diterapkannya kendali PID. Terlihat jelas perbedaan data hasil sebelum diterapkannya kendali PID dan setelah diterapkannya kendali PID. Hal tersebut dapat terlihat pada Gambar 23 dan 24 yang merupakan gambar grafik data hasil pengujian penerapan kendali PID pada *quadcopter*. Terlihat bahwa kesetabilan *quadcopter* cukup stabil dibandingkan *quadcopter* yang tanpa menggunakan kendali

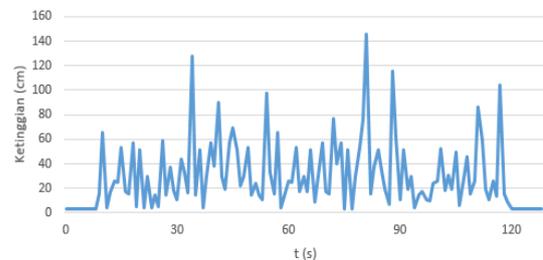
PID.

Pengujian ini diberikan pengaturan kendali PID pada *roll*, *pitch*, *yaw* dan sensor *ultrasonic*. Dalam hal ini pengaturan untuk *roll* dan *pitch* dengan nilai  $P = 1.4$ ,  $I = 0.012$ ,  $D = 13.7$ . Untuk *yaw* diberikan nilai  $P = 3.0$ ,  $I = 0.02$ ,  $D = 0$ . Kemudian untuk ketinggian diberikan nilai  $P = 19.0$ ,  $I = 0.2$ ,  $D = 8.3$ . Pengaturan tersebut didapatkan dengan melakukan pengujian secara manual pada *quadcopter*



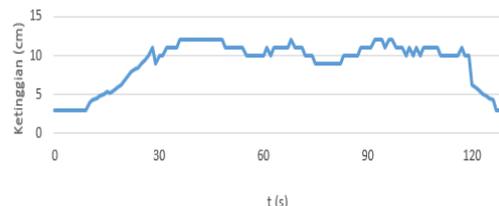
Gambar 22. Pengujian kesetabilan *quadcopter* tanpa kendali PID.

Grafik data hasil pengujian menahan ketinggian tanpa kendali PID.



Gambar 23. Grafik data hasil pengujian kestabilan *quadcopter* tanpa kendali PID.

Grafik data hasil pengujian menahan ketinggian menggunakan kendali PID.



Gambar 24. Grafik data hasil pengujian kestabilan *quadcopter* menggunakan kendali PID.

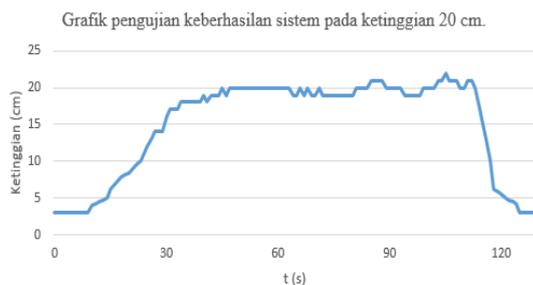
Pengujian tingkat keberhasilan sistem *quadcopter* dilakukan dengan memberikanketinggian permukaan landing yang berbeda-beda. Pengujian ini bertujuan

untuk mengetahui sistem yang diterapkan pada quadcopter ini berhasil atau tidak. Proses pengujian tahap akhir ini dilakukan dengan cara 2 cara yang pertama memberikan posisi ketinggian berbeda-beda pada quadcopter dengan permukaan landing yang sama kemudian yang kedua memberikan posisi ketinggian yang sama pada quadcopter namun ketinggian landing yang berbeda.



Gambar 25. Pengujian keberhasilan sistem dengan posisi ketinggian 20 cm.

Pengujian yang pertama quadcopter diberikan posisi ketinggian 20 cm, dan 20 cm untuk mampu menahan posisi ketinggian sesuai dengan set point yang diberikan. Pengujian tersebut terlihat pada Gambar 25 pada gambar tersebut diberikan set point 20 cm sehingga didapatkan data hasil pengujian yang terlihat pada Gambar 26.



Gambar 26 Grafik data hasil pengujian keberhasilan sistem dengan posisi ketinggian 20 cm.

Pada pengujian kedua *quadcopter* diberikan posisi ketinggian sama yaitu 30 cm yang bertujuan untuk mengetahui *quadcopter* mampu menahan posisi ketinggian tersebut dengan permukaan *landing* yang berbeda.

Pada Gambar 27 terlihat *quadcopter* diberikan set point ketinggian 30 cm dan didapatkan data hasil dalam bentuk grafik pada Gambar 28 Pada grafik tersebut terlihat

*quadcopter* cukup mampu menahan posisi ketinggian dengan setpoint yang diberikan namun tidak sestabil pada posisi ketinggian 20 cm.

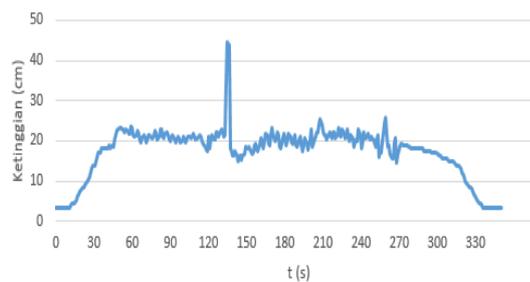


Gambar 27. Pengujian keberhasilan sistem dengan posisi ketinggian 30 cm.



Gambar 28. Grafik data hasil pengujian keberhasilan sistem dengan posisi ketinggian 30 cm.

Grafik data hasil pengujian posisi ketinggian *quadcopter* dengan ketinggian permukaan tanah yang berbeda.



Gambar 29 Grafik data hasil pengujian keberhasilan sistem posisi ketinggian 20cm dengan permukaan *landing* berbeda.

Pada grafik Gambar 29 dapat dilihat bahwa ketika *quadcopter* diberikan posisi ketinggian 20 cm di atas permukaan meja yang tingginya 20 cm juga *quadcopter* cukup mampu bertahan meskipun tidak cukup stabil kemudian meja ditarik sehingga *quadcopter* turun ke bawah untuk mencari posisi ketinggian 20 cm dari permukaan yang dibaca terlihat pada Grafik 27. nilai kestabilan pada

*quadcopter* menurun beberapa detik namun mulai cukup stabil beberapa detik kemudian.

## KESIMPULAN

Dari proses pembuatan *quadcopter* dengan menahan posisi ketinggian yang menggunakan sensor jarak *ultrasonic HC-SR04* dengan kendali PID, mulai dari proses perancangan perangkat keras, perangkat lunak, hingga pengambilan data, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem *quadcopter* yang dibuat telah dapat menahan posisi ketinggian tertentu sesuai *setpoint* yang diberikan.
2. Dalam menahan posisi ketinggian 10 cm memiliki persentase *error* 4.2% dan 20 cm memiliki persentase *error* 2.9 %, sedangkan untuk ketinggian 30 cm memiliki persentase *error* 3.2 %. Dari ketiga posisi ketinggian tersebut *quadcopter* mampu menahan posisi ketinggian dengan persentase *error* kecil pada masing – masing ketinggian.
3. Untuk kesetabilan sistem digunakan kendali PID. Dalam hal ini kendali PID di *setting* dengan  $P = 3.0$ ,  $I = 0.02$ ,  $D = 0$  untuk *setting*-an ketinggian. Untuk *setting*-an *pitch* dan *roll* diberikan nilai *gain*  $P = 1.4$ ,  $I = 0.012$ ,  $D = 13.7$ . Sedangkan untuk *yaw* diberikan nilai *gain*  $P = 19.0$ ,  $I = 0.2$ ,  $D = 8.3$ . Sehingga *quadcopter* cukup stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andika, F., 2012. *Perancangan dan Implementasi Autonomous Landing Menggunakan Behavior-Based dan Fuzzy Controller pada Quadcopter*, Jurnal Teknik ITS vol.1 No.1
- Dharmawan, A., dan Firdaus, N.I., 2012, *Purwarupa Sistem Otomasi Terbang*

*Landas dan Mendarat Quadcopter*, IJEIS, Vol.2, No.1, April 2012, pp. 87-96, ISSN : 2088-3714

- Domingues, and Jorge M.B., 2009, *Quadrotor Prototype*, Master's thesis., Intituto Superior Tecnico Lisboa.
- Ecadio, 2016, *Belajar dan Menenal Arduino Uno*, tersedia di [www.ecadio.com](http://www.ecadio.com), diakses tanggal 20 Oktober 2016.
- Elec-Freaks, 2016, *HC-SR04 User Guide*, tersedia di [www.electfreaks.com](http://www.electfreaks.com), diakses pada tanggal 20 Oktober 2016.
- IvenSense, 2013, *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4*, tersedia di [www.ivensense.com](http://www.ivensense.com), diakses pada tanggal 07 September 2016.
- Nurmansyah, 2014, *Kontrol Kesetabilan Quadcopter dengan Menggunakan Sensor Gyroscope ITG 3205*, Jurnal Politeknik Negri Sriwijaya, Palembang.
- Pancev, I.G.D., Swamardika, I.B.A., Budiastra., I.N., 2013, *Implementasi Penggunaan Sensor Accelerometer ADXL335 Pada Quadcopter Robot Berbasis ATMega32*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
- Prawirayuda, F., Astrowulan, K.A.K., Efendhie, R., 2012, *Desain dan Implementasi Kontroler Fuzzy-Model Reference Adaptive Control (Fuzzy-MRAC) untuk Proses Take-off pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter*, Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2012)