

## Sistem Penghindar Halangan Otomatis dan Penahan Ketinggian Penerbangan pada Quadcopter

Andi Dharmawan<sup>1</sup>, Nurulia Rahmawati\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA, UGM, Yogyakarta

<sup>2</sup>Program Studi Elektronika dan Instrumentasi

e-mail: \*<sup>1</sup>[dharmawan.andi@ugm.ac.id](mailto:dharmawan.andi@ugm.ac.id), <sup>2</sup>[nurulia.rahmawati@yahoo.com](mailto:nurulia.rahmawati@yahoo.com)

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk membuat sistem penghindar halangan otomatis dan penahan ketinggian terbang sesuai dengan jarak yang telah ditetapkan sehingga quadcopter dapat melakukan penerbangan tanpa terjadi tumbukan dengan benda di sekitarnya. Sistem penghindar halangan otomatis dan penahan ketinggian penerbangan yang dibuat dalam penelitian ini memanfaatkan quadcopter berbasis Arduino Nano. Pada quadcopter diberikan sensor jarak yang berfungsi mendeteksi jarak quadcopter dengan benda di sekitarnya.

Sensor jarak yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor inframerah untuk mendeteksi jarak dengan halangan dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian penerbangan quadcopter. Sensor jarak memancarkan gelombang melalui transmitter, kemudian pantulan gelombang akan diterima oleh receiver. Sistem penghindar halangan bekerja dengan membandingkan nilai jarak yang terdeteksi dengan nilai jarak yang telah ditetapkan (70 cm). Selisih nilai jarak tersebut selanjutnya digunakan untuk memanipulasi nilai desired roll dan desired pitch pada algoritma PID quadcopter. Perhitungan algoritma PID menghasilkan nilai PWM untuk menggerakkan motor sehingga quadcopter dapat menjauhi halangan dengan bergerak menuju arah yang berlawanan dengan halangan tersebut. Quadcopter mampu melakukan penghindaran terhadap halangan ketika quadcopter terbang dengan kecepatan maksimum 167 cm/s. Sedangkan ketinggian terbang quadcopter dikontrol menggunakan algoritma PID penahan ketinggian, sehingga quadcopter dapat mempertahankan penerbangan pada ketinggian tertentu yang dapat divariasikan mulai dari 100 cm hingga 200 cm.

**Kata kunci**— Quadcopter, Sensor Jarak, Penghindar Halangan, Penahan Ketinggian

### Abstract

This study was done to make the automatic obstacle avoidance system and retain flying height in accordance with a predetermined distance so that the quadcopter can make the flight without collision with surrounding objects. Automatic obstacle avoidance system and flight altitude holder made in this study utilizes Nano Arduino -based quadcopter. In quadcopter given the proximity sensor detects the distance function quadcopter with a nearby object.

Proximity sensor that is used in this study is an infrared sensor to detect the distance to obstacles and ultrasonic sensors to detect altitude flying quadcopter. Proximity sensor emits waves through the transmitter, then the reflected wave will be accepted by the receiver. Obstacle avoidance system works by comparing the distance of the detected value to the value specified distance (70 cm). Difference in distance values are then used to manipulate the value of Desired Desired roll and pitch PID algorithm quadcopter. Calculation of PID algorithm generates the PWM value to drive the motor so that the quadcopter can avoid obstacles by moving towards the opposite direction to the obstacle. Quadcopter is able to perform the obstacle avoidance when quadcopter flying at a maximum speed of 167 cm / s. While altitude flying quadcopter controlled using PID algorithm brace height, so it can maintain a quadcopter flying at a certain height can be varied ranging from 100 cm to 200 cm.

**Keywords**— Quadcopter, Distance Sensor, Obstacle Avoidance, Altitude Hold

## 1. PENDAHULUAN

Pesawat tanpa awak (UAV) merupakan pesawat yang tidak memerlukan operator manusia di dalamnya, menggunakan gaya aerodinamis untuk mengangkat kendaraan, serta dapat terbang mandiri maupun dikendalikan dari jarak jauh, dan dapat membawa muatan [1]. Bentuk UAV yang pada umumnya berskala kecil membuatnya lebih aman untuk interaksi dekat, sehingga memungkinkan penerbangan melalui lingkungan berbatas. Terdapat berbagai macam UAV yang telah dibuat, namun pada penelitian ini objek yang digunakan yaitu jenis quadcopter.

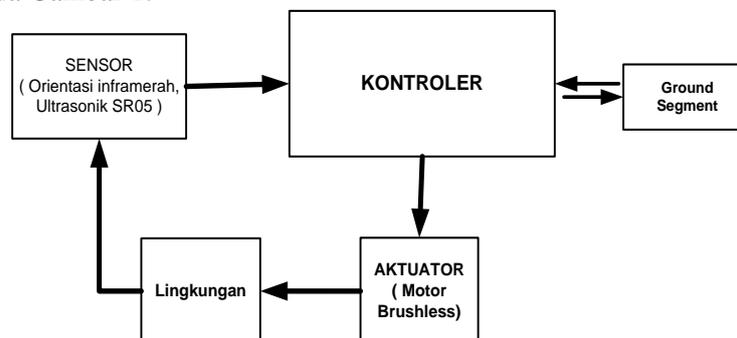
Sesuai dengan namanya, quadcopter diangkat dan didorong oleh empat rotor [2]. Quadcopter menggunakan sinkronisasi antara keempat rotor yang dikonfigurasi dalam bentuk frame plus (+), dimana rotor depan dan belakang berputar searah jarum jam, sedangkan rotor sebelah kanan dan kiri bergerak berlawanan arah jarum jam [3]. Agar dapat melakukan penerbangan dan dapat berinteraksi dekat dengan benda lain secara baik, quadcopter membutuhkan suatu sistem penerbangan yang stabil dan aman. Misalnya, apabila quadcopter terbang dalam suatu lorong, maka ia diharapkan mampu melakukan penerbangan dengan baik tanpa bertumbukan dengan tembok atau benda disekitarnya.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menanggulangi permasalahan tersebut, dengan harapan dapat dibuat suatu sistem yang mampu meningkatkan keamanan terbang quadcopter dalam lingkungannya menggunakan sensor jarak. Sensor jarak memancarkan gelombang melalui *transmitter*, kemudian pantulan gelombang akan diterima oleh *receiver* [4]. Kontroler menghitung waktu yang dibutuhkan untuk menerima gelombang ultrasonik dan menentukan jarak antara objek dan mobil. Quadcopter selanjutnya terbang dengan menyesuaikan jarak minimum terhadap halangan di sekitarnya serta menjaga ketinggian terbang secara otomatis, sehingga dapat mengurangi resiko tumbukan pada quadcopter.

## 2. METODE PENELITIAN

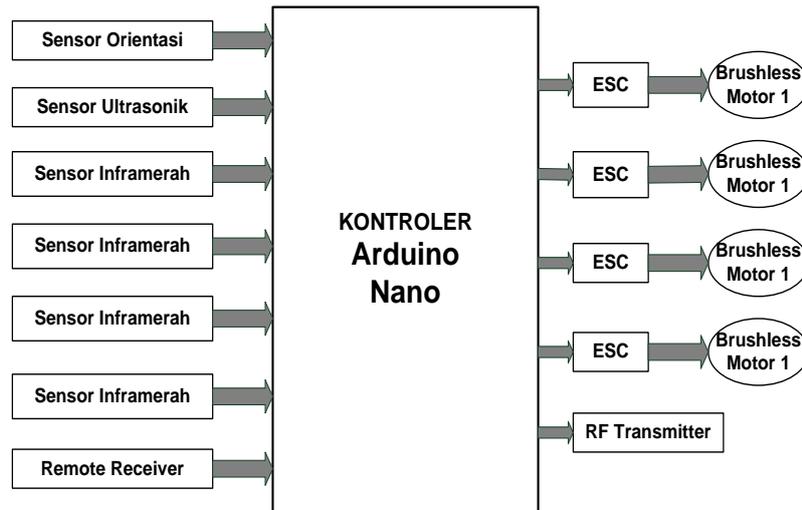
### 2.1 Analisis dan Perancangan Sistem

Perancangan sistem yang ditujukan pada quadcopter, yaitu pendeteksian dan pengendalian jarak terbang terhadap benda di sekitarnya menggunakan sensor jarak. Selanjutnya sinyal yang dihasilkan oleh sensor akan diproses oleh kontroler sebelum dikirimkan ke aktuator. Parameter yang diolah oleh quadcopter adalah perilaku quadcopter dalam menjaga jarak terbang dengan benda-benda di sekitarnya. Oleh karena itulah digunakan sensor inframerah untuk mendeteksi benda dari arah samping quadcopter, sedangkan untuk mengetahui jarak ketinggian quadcopter digunakan sensor ultrasonik. Secara umum, diagram blok sistem diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

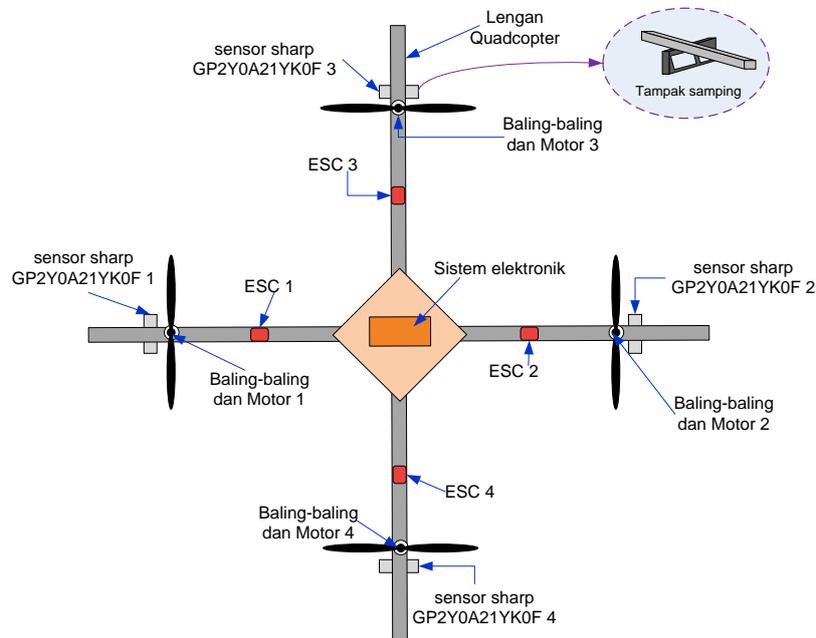
Perancangan elektronik yang menjadi bagian sistem quadcopter ini terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok bagian elektronik quadcopter

Gambar 2 menunjukkan diagram blok bagian elektronik quadcopter yang terdiri atas bagian kontroler, sensor, dan aktuator beserta ESC. Kontroler yang digunakan adalah Arduino Nano yang digunakan untuk mengontrol aktifitas dan sistem quadcopter yang terdiri dari sebuah sensor orientasi, sebuah sensor ultrasonik, empat buah sensor sensor inframerah, sebuah receiver remote control, empat buah motor brushless, empat buah ESC sebagai driver yang berfungsi mengontrol dan menggerakkan motor brushless, dan sebuah RF transmitter untuk mengirimkan informasi ke ground segment.

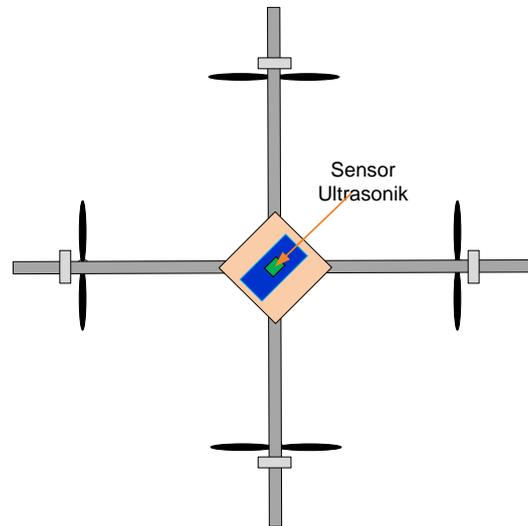
Secara umum, komponen utama pada quadcopter ini terdiri dari baterai, Arduino Nano, dan sensor jarak (ultrasonik srf05 dan inframerah), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3 Rancangan mekanik kontroler dan sensor inframerah

Seperti yang terlihat pada gambar, tingkat plat pertama quadcopter bagian atas terdiri dari sistem elektronik (board Arduino Nano, sensor orientasi, modul RF, dan remote receiver), motor brushless beserta baling-baling, serta ESC. Sedangkan pada bagian bawah tingkat pertama quadcopter terdiri dari baterai, dan sensor inframerah yang dipasang pada tiap lengan di

bawah motor brushless. Sedangkan sensor ultrasonik akan diletakkan pada plat kecil di bawah baterai dengan arah deteksi ke bawah sehingga pendeteksian jarak tidak terhalang benda/komponen lain, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.



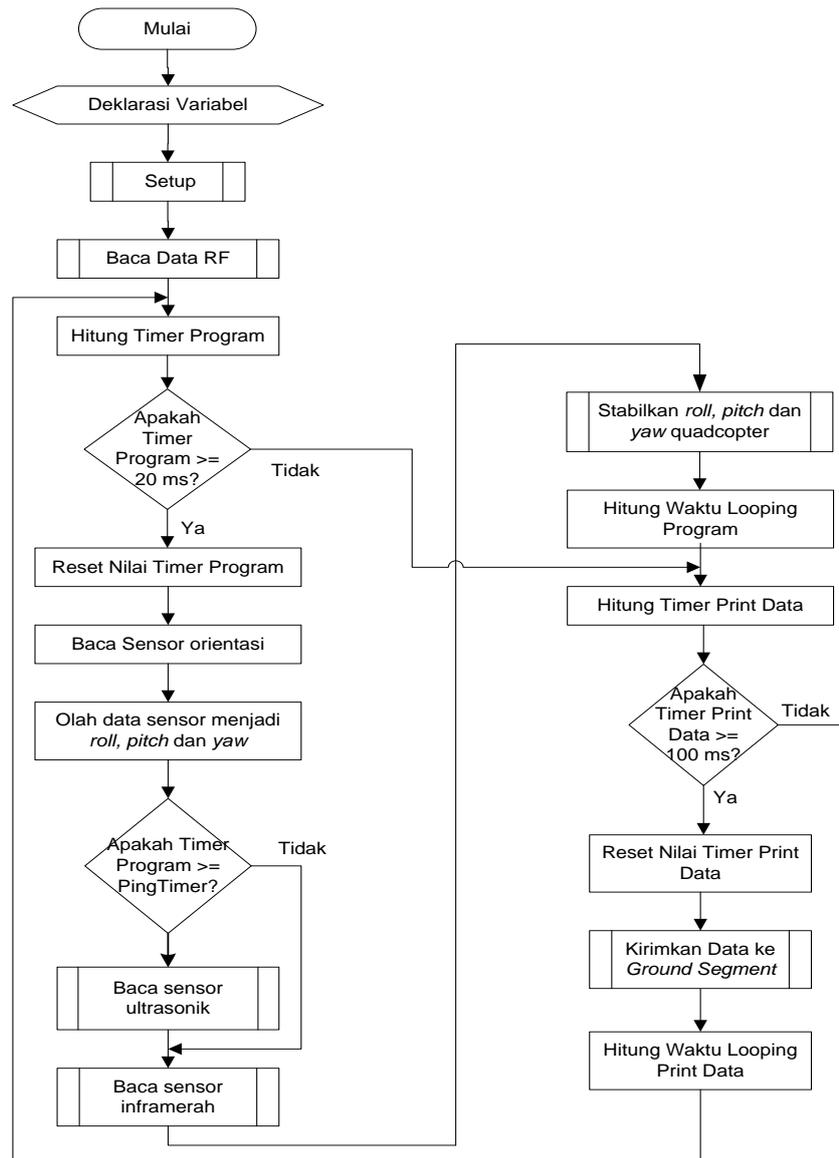
Gambar 4 Rancangan mekanik quadcopter tampak bawah

Perangkat keras yang telah dibuat dapat menjalankan fungsinya apabila didukung dengan perangkat lunak. Perangkat lunak yang ditanamkan pada arduino nano berfungsi untuk mengakses sensor-sensor serta memberikan algoritma untuk mengolah masukan tersebut sebagai keluaran dari sistem quadcopter ini. Pada penelitian ini, pemrograman kontroler difokuskan pada algoritma terbang dan sistem penghindar halangan quadcopter. Fungsi utama yang dilakukan oleh arduino nano tersebut adalah menjaga agar quadcopter tetap seimbang ketika terbang, mampu melakukan pengiriman data serial menuju *ground segment*. Gambar 5 menunjukkan diagram alir program pada quadcopter.

Secara garis besar, quadcopter bergerak dengan arah plus (+) dan menyesuaikan sinyal yang diterima dari sensor. Selain memperoleh data pembacaan dari sensor orientasi, pergerakan quadcopter juga menyesuaikan pembacaan dari jarak (sensor inframerah dan ultrasonik). Penggunaan sensor orientasi bertujuan untuk mempertahankan dan menjaga kestabilan terbang quadcopter. Sensor inframerah yang dipasang pada tiap lengan quadcopter bertugas untuk mengontrol pergerakan ke arah samping, sedangkan sensor ultrasonik bertugas untuk mengendalikan ketinggian terbangnya. Selain pengontrolan gerak dan jarak menggunakan sensor jarak, quadcopter juga mendapatkan masukan dari Remote Control. Data penerbangan berupa sudut pitch, roll, yaw, dan pembacaan sensor selanjutnya dikirimkan melalui RF ke *ground segment*.

### 2. 1.1 Implementasi Sistem

Secara keseluruhan, rangka quadcopter ini dibuat dari aluminium dengan dimensi 60cm x 60cm (jarak motor ke motor) dan memiliki berat keseluruhan 1,5 kg. Pada Gambar 6 ditunjukkan penggunaan catu daya berupa baterai Lipo (Lithium Polymer). *Supply* dari baterai akan dibagi menuju rangkaian pengendali utama dan ke 4 motor *brushless*. Selain itu, tampak pula sensor ultrasonik yang terpasang pada plat dibawah baterai. Sensor ultrasonik dipasang pada plat bawah dengan tujuan agar deteksi jarak sensor ini tidak terhalangi oleh benda/komponen lain., mengingat fungsi sensor ultrasonik pada sistem ini adalah untuk mengontrol ketinggian terbang quadcopter. Gambar 6 menunjukkan implementasi sensor ultrasonik.

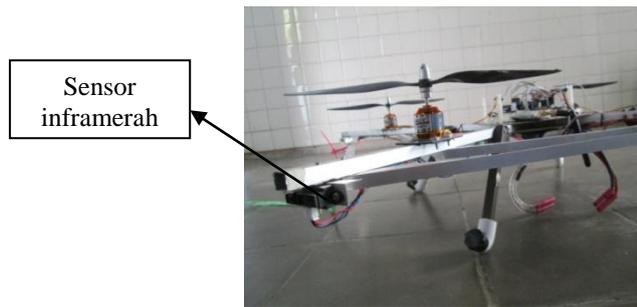


Gambar 5 Diagram alir program utama



Gambar 6 implementasi *Power supply* dan sensor ultrasonik

Gambar 7 menunjukkan implementasi sensor inframerah. Terlihat bahwa sensor inframerah berada di bawah lengan quadcopter. Tujuan diletakkannya sensor pada posisi tersebut agar sensor inframerah dapat mendeteksi jarak dari keempat arah lengan quadcopter tanpa terhalang benda/komponen lain.



Gambar 7 Implementasi sensor inframerah

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem penghindar halangan dan penahan ketinggian pada quadcopter secara keseluruhan tampak pada Gambar 8.



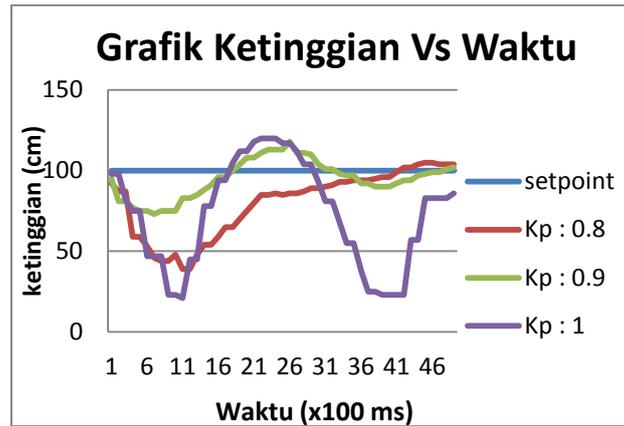
Gambar 8 Sistem quadcopter secara keseluruhan

#### 3.1 Pengujian Sistem Penahan Ketinggian

Altitude control (penahan ketinggian) berfungsi untuk mengontrol dan mempertahankan ketinggian terbang quadcopter sehingga ketinggian terbang quadcopter tidak kurang dari setpoint yang diinginkan. Pengujian ini dilakukan dengan menerbangkan quadcopter menggunakan remote control dengan mode normal ( $ch5 < 1500$ ) hingga mencapai ketinggian  $\pm 95$  cm. Selanjutnya mode sonar diaktifkan ( $ch5 > 1500$ ) dan dilakukan pengujian mencari kontanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang tepat untuk altitude control. Data keluaran uji coba ini dikirimkan secara *wireless* menuju *ground segment* setiap 100 ms.

Pencarian konstanta PID pada altitude control diawali dengan uji coba mencari nilai  $K_p$  yang mampu membuat quadcopter cepat kembali ke *setpoint*-nya namun dengan osilasi yang kecil. Berikutnya diberikan variasi konstanta derivatif ( $K_d$ ) yang mampu meredam osilasi akibat nilai  $K_p$  yang diberikan pada quadcopter tersebut. Terakhir adalah memberikan nilai konstanta integral ( $K_i$ ) untuk menghilangkan *error steady state* sehingga quadcopter dapat benar-benar kembali pada setpoint. Nilai setpoint yang dimaksud disini adalah ketinggian yang diinginkan, yaitu 100 cm.

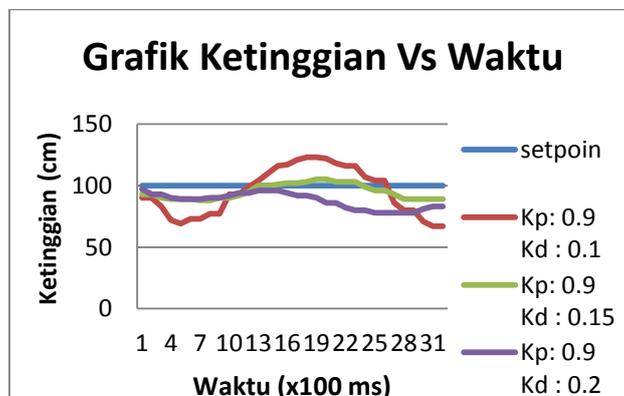
Pengujian mencari konstanta  $K_p$  dilakukan dengan memberikan variasi nilai  $K_p$  yaitu 0.8, 0.9, dan 1 dengan nilai  $K_d$  dan  $K_i$  nol. Hasil yang diperoleh dari uji coba tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 9.



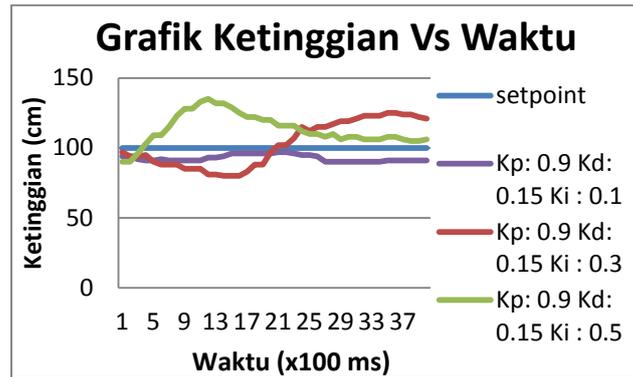
Gambar 9 Grafik ketinggian vs waktu (Kp: 0.8 – 1)

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan Gambar 9 ketika Kp 0.8, quadcopter sudah mulai sedikit beresilasi. Namun osilasi yang dihasilkan masih sangat kecil dan belum cukup kuat untuk menggerakkan quadcopter mendekati setpoint. Nilai Kp 1 membuat quadcopter dapat beresilasi dengan cepat pada ketinggian 100 cm dan nilai simpangan yang dihasilkan sangat besar, yakni dari 20 cm hingga 120 cm. Hal tersebut menyebabkan quadcopter lepas kendali karena osilasi yang dihasilkan terlalu besar. Ketika diberikan nilai Kp 0.9, quadcopter mampu bergerak dengan cepat tanpa osilasi yang berlebihan disekitar nilai setpoint. Sesuai dengan data tersebut maka nilai Kp yang tepat untuk *altitude control* adalah 0.9.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memberikan beberapa variasi nilai konstanta derivatif (Kd) dengan nilai Kp tetap yakni 0.9 dan nilai Ki = 0. Variasi nilai Kd yang diberikan yaitu 0.1, 0.15, dan 0.2. Tujuan diberikan Kd adalah untuk meredam dampak osilasi yang disebabkan oleh pemberian nilai Kp. Seperti yang nampak pada Gambar 10, ketika nilai Kd 0.1 diberikan, osilasi pada quadcopter belum dapat teredam dengan baik. Pada grafik terlihat bahwa osilasi yang terjadi pada sistem masih cukup besar. Hal ini berbeda dengan kondisi saat Kd 0.15 dimana osilasi yang terjadi mampu teredam dengan baik. Pada nilai Ki yang lebih besar yaitu 0.2, osilasi yang terjadi mampu teredam namun menyebabkan quadcopter tersendat dalam menanggapi perubahan ketinggian sehingga quadcopter tidak mampu mencapai ketinggian 100 cm. Jadi nilai Kd yang diambil dari pengujian ini adalah 0.15. Karena pada nilai ini osilasi yang terjadi pada quadcopter mampu teredam dengan baik tanpa membuat respon terhadap ketinggian menjadi tersendat.



Gambar 10 Grafik ketinggian vs waktu (Kd: 0.1 – 0.2)



Gambar 11 Grafik ketinggian vs setpoint (Ki: 0.1 – 0.5)

Gambar 11 menunjukkan ketika sistem diberikan Ki bernilai 0.1 simpangan ketinggian terbang quadcopter jauh berkurang, namun pada nilai ini quadcopter tidak mampu mencapai ketinggian minimum yang diinginkan yakni 100 cm. Nilai Ki 0.3 membuat quadcopter mampu mencapai ketinggian terbang yang diinginkan yakni lebih dari 100 cm. Namun perubahan ketinggian ini masih cukup lama, sebagaimana yang ditampilkan pada grafik, quadcopter membutuhkan waktu 2,3 detik untuk mencapai ketinggian minimum dan ketinggian terus bertambah. Ketika nilai Ki diberikan 0.5, respon yang diberikan quadcopter cukup bagus, yakni quadcopter mampu mencapai nilai minimum dalam waktu 0,5 detik dan mampu mempertahankan ketinggian penerbangan  $\pm 110$  cm. Jadi nilai Ki yang digunakan adalah 0.5.

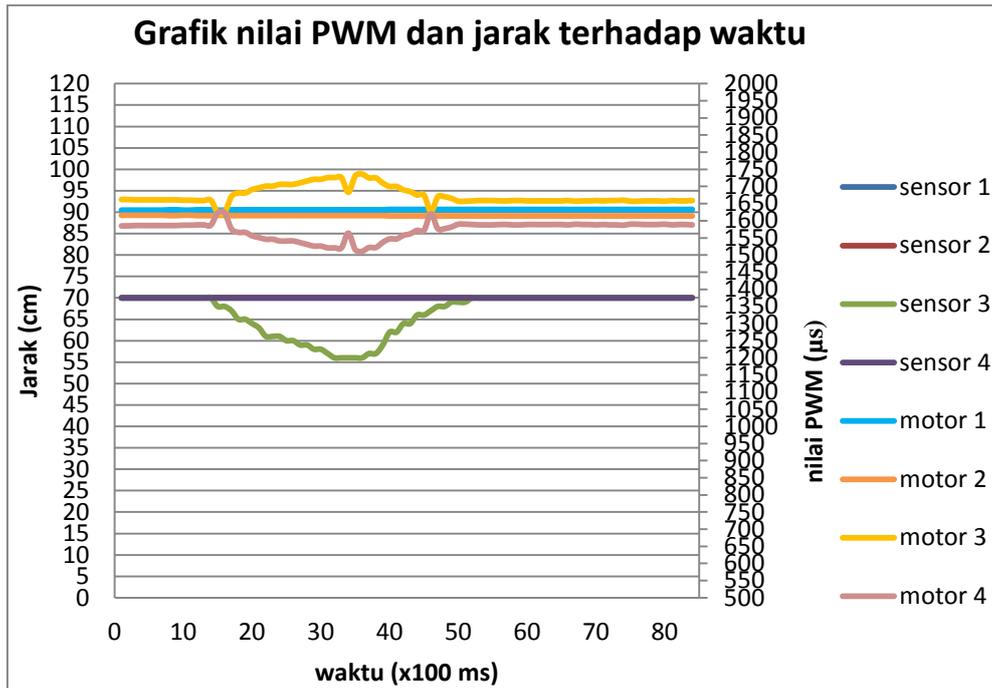
### 3. 2 Pengujian Sistem Penghindar Halangan

Pada sistem penghindar halangan otomatis dilakukan beberapa pengujian yang terdiri dari pengujian respon perputaran motor, pengaruh sistem penghindar halangan terhadap perubahan kecepatan motor, dan waktu yang dibutuhkan oleh quadcopter untuk menghindari halangan.

#### 3. 2. 1 Pengujian respon quadcopter terhadap halangan

Pengujian yang pertama dilakukan bertujuan untuk mengetahui respon yang diberikan oleh quadcopter terhadap halangan terdeteksi. Respon yang diamati yaitu perubahan nilai PWM pada keempat motor terhadap jarak quadcopter dengan halangan terdeteksi. Pengujian ini dilakukan dengan menerbangkan quadcopter pada ketinggian tertentu dengan masukan nilai PWM yang sama, yaitu 1624. Dengan masukan nilai yang sama, maka perubahan nilai PWM pada setiap motor dapat lebih mudah diamati. Terdapat empat variasi halangan yang diberikan pada pengujian ini, yaitu halangan dari satu arah, halangan dua arah yang terdiri dari halangan pada satu axis dan sudut tembok, serta halangan dari tiga arah lengan quadcopter.

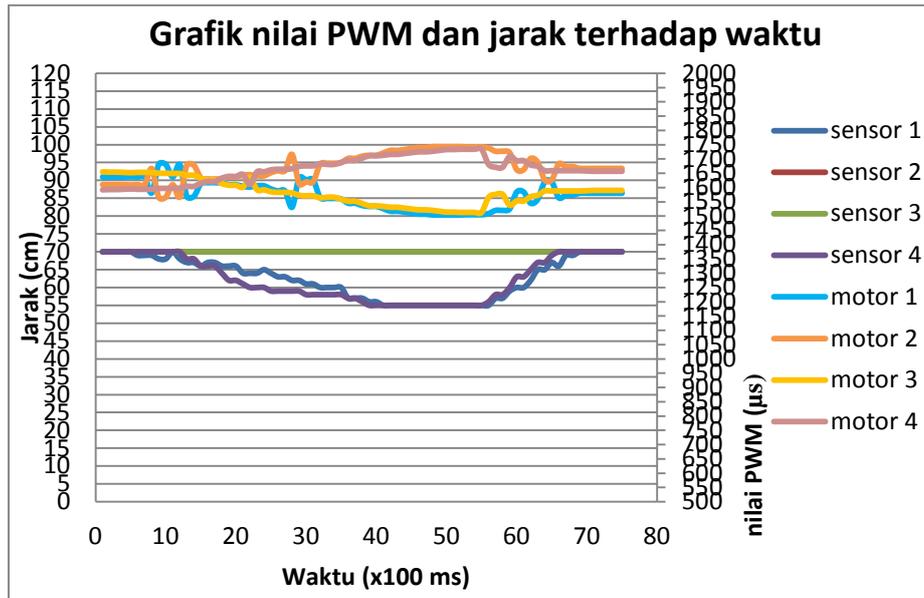
Pengujian terhadap halangan satu arah dilakukan dengan menerbangkan quadcopter untuk mendekati ke arah halangan (tembok). Halangan yang didekati berada pada sisi yang berdekatan dengan sensor inframerah 3. Pengaruh perubahan jarak sensor inframerah terhadap pergerakan motor seperti yang nampak pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik respon quadcopter terhadap halangan satu arah

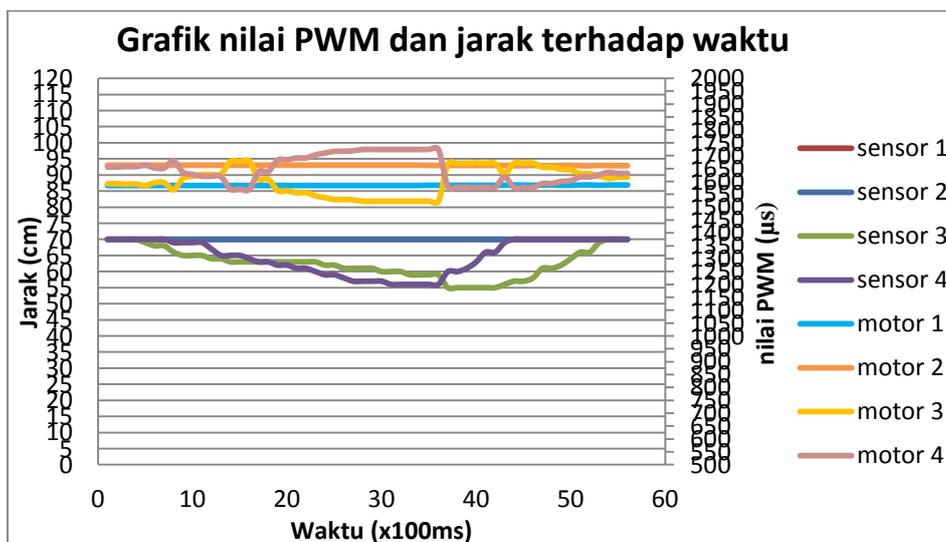
Pengujian dilakukan dengan menggerakkan quadcopter menuju halangan dengan kecepatan 163 cm/s. Gambar 12 menunjukkan ketika terjadi perubahan jarak pada sensor 3, dimana pada pengambilan data ke 15 quadcopter bergerak mendekati halangan dari jarak 70 cm hingga mencapai jarak 56 cm maka terjadi perubahan pada sudut *roll*. Berbanding lurus dengan perubahan yang terjadi pada sensor 3, maka nilai PWM motor 4 juga mengalami penurunan. Hal ini berbeda dengan yang terjadi pada motor 3, dimana nilai PWM pada motor 3 terus meningkat seiring dengan semakin dekatnya jarak quadcopter dengan halangan. Perubahan nilai PWM motor berakibat pada kecepatan putar motor sehingga mempengaruhi pergerakan motor. Peningkatan nilai PWM yang terjadi pada motor 3 dan penurunan nilai PWM pada motor 4 mengakibatkan quadcopter bergerak menuju lengan yang berlawanan dengan arah halangan terdeteksi, yaitu motor 4. Sehingga quadcopter dapat bergerak menghindari halangan yang berada pada sisi lengan motor 3.

Pengujian dengan halangan siku ini dilakukan dengan menerbangkan quadcopter untuk mendekat ke arah halangan yang berbentuk siku. Halangan yang berbentuk siku didekati oleh quadcopter dengan 2 lengan terdekat, yaitu lengan motor 1 dan motor 4. Sehingga jarak quadcopter yang semakin mendekat dideteksi oleh sensor inframerah 1 dan 4. Sesuai dengan dinamika terbang yang telah disampaikan, untuk menghindari halangan pada satu sisi lengan, maka quadcopter akan terbang menuju lengan yang berlawanan. Oleh karena itu, ketika halangan yang diuji cobakan terdeteksi pada dua sensor inframerah yang berada pada sumbu yang berbeda, maka perubahan jarak akan mempengaruhi perubahan pergerakan pada sudut *roll* dan *pitch*. Sehingga mempengaruhi pergerakan pada keempat motor yang terletak pada sumbu X dan Y quadcopter.



Gambar 13 Grafik respon quadcopter terhadap halangan siku

Gambar 13 menampilkan hasil pengujian pengaruh perubahan jarak sensor inframerah terhadap pergerakan motor. Quadcopter bergerak ke arah sudut ruangan dengan kecepatan 160 cm/s. Ketika sensor inframerah 1 dan sensor inframerah 4 mendeteksi adanya halangan, nampak bahwa keempat motor quadcopter mengalami perubahan nilai PWM. Untuk menghindari halangan yang terdeteksi oleh sensor 1 maka quadcopter bergerak ke arah yang berlawanan, yaitu bergerak ke arah lengan motor 2. Sedangkan untuk menghindari halangan yang terdeteksi oleh sensor 4 maka quadcopter bergerak ke arah yang berlawanan, yaitu ke arah lengan motor 3. Sehingga agar quadcopter dapat menghindari halangan yang terdeteksi oleh sensor 1 dan 4 maka nilai PWM pada motor 1 dan motor 4 harus lebih besar dari motor 2 dan motor 3 seperti yang terlihat pada Gambar 13. Besarnya nilai PWM motor 1 dan 2 berbanding terbalik dengan nilai PWM pada motor 3 dan 4. Sehingga quadcopter dapat menghindari halangan yang terdeteksi sebelum terjadinya tumbukan dan jarak terbang quadcopter dapat kembali memenuhi nilai set poin, yaitu 70 cm. Setelah jarak yang terdeteksi telah mencapai nilai set poin yang diberikan dan tidak mendapatkan masukan dari remote, maka nilai PWM motor akan kembali stabil.

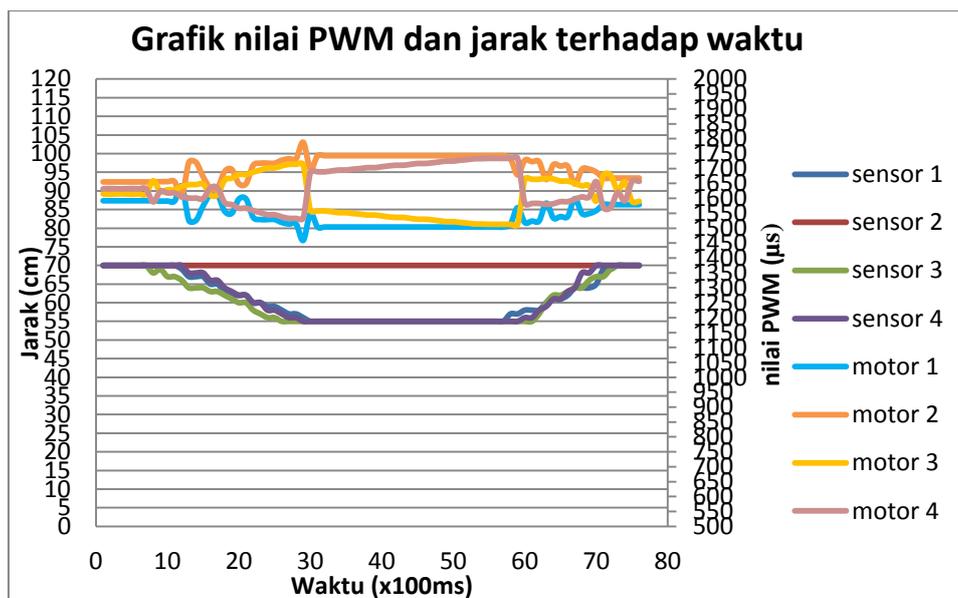


Gambar 14 Grafik respon quadcopter terhadap halangan pada sumbu sama

Pada pengujian selanjutnya, quadcopter yang terbang diarahkan untuk memasuki sebuah lorong dengan kecepatan 160 cm/s, dan lorong tersebut memiliki lebar 200 cm. Sehingga saat quadcopter diarahkan untuk memasuki lorong tersebut, jarak quadcopter dengan halangan pada sumbu yang mendeteksi halangan kurang dari 70 cm. Quadcopter bergerak maju dengan sudut *pitch*, sehingga tembok pada lorong akan terdeteksi pada sensor yang berada di sumbu Y, yaitu sensor inframerah 3 dan sensor inframerah 4. Sebagai reaksinya, motor yang berada pada sudut *roll* akan mengalami perubahan seperti yang nampak pada Gambar 14.

Secara garis besar, nampak bahwa ketika terdapat halangan yang terdeteksi pada sumbu yang sama, maka motor yang akan bereaksi adalah motor pada sumbu yang sama dengan terdeteksinya halangan. Pada uji coba ini, ketika quadcopter memasuki lorong dengan posisi tembok yang berdekatan dengan sensor 3 dan 4, maka motor 3 dan 4 akan memberikan perubahan nilai untuk menyesuaikan jarak minimum. Sedangkan motor 1 dan 2 memiliki nilai PWM yang relatif stabil dan tidak terdapat perubahan yang signifikan. Hal tersebut yang kemudian menyebabkan quadcopter bergerak ke kiri dan ke kanan secara bergantian seperti mengalami osilasi untuk menyesuaikan nilai jarak minimum yang diberikan.

Pada pengujian dengan halangan tiga arah, digunakan suatu lorong berujung. Quadcopter diterbangkan menuju lokasi yang menyerupai huruf "u" tersebut sehingga quadcopter akan mendeteksi halangan dari tiga arah lengan quadcopter. Ketiga sisi lorong tersebut selanjutnya dideteksi oleh sensor inframerah 2, 3, dan 4 yang kemudian memberikan respon seperti yang terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Grafik respon quadcopter terhadap halangan tiga arah

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, ketika terdapat halangan tiga arah yang terdeteksi oleh sensor jarak maka quadcopter akan bergerak menjadi tidak beraturan. Tampak pada Gambar 15, grafik respon nilai PWM pada keempat motor quadcopter naik dan turun secara tidak teratur untuk menyesuaikan dengan jarak minimum. Quadcopter melakukan penghindaran halangan pada sumbu X dengan meningkatkan nilai PWM motor 2 untuk menggerakkan quadcopter menjauhi halangan yang terdeteksi oleh sensor 2. Sehingga terlihat bahwa quadcopter cepat menyesuaikan jarak dirinya pada sumbu X dibandingkan sumbu Y mengingat pada sumbu tersebut quadcopter mendeteksi terdapatnya dua buah halangan. Namun pergerakan quadcopter sangat tidak stabil, quadcopter melakukan gerakan maju dan mundur secara berkala. Hal ini diakibatkan oleh terdapatnya dua halangan lain pada sumbu Y. Sehingga quadcopter harus digerakkan melalui remote untuk menjauhi/keluar dari lorong tersebut.

Tampak pada waktu 7 detik ( $70 \times 100$  ms) ketika quadcopter sudah keluar dari lorong pergerakan motor kembali stabil dan tidak terdapat lonjakan terhadap nilai PWM sehingga quadcopter dapat kembali terbang dengan baik.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, pengujian dan analisa hasil dan perancangan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibuat sistem penghindar halangan dan penahan ketinggian untuk penerbangan yang aman pada quadcopter dan dapat bekerja dengan baik.
2. Penerapan algoritma PID pada sudut *altitude control* dengan tetapan optimal  $K_p = 0.9$ ,  $K_i = 0.15$  dan  $K_d = 0.5$ .
3. Quadcopter menjauhi halangan dengan bergerak menuju arah yang berlawanan pada axis yang sama dengan deteksi sensor.
4. Kecepatan maksimum yang dapat diterima oleh sistem penghindar halangan otomatis adalah 167 cm/s.
5. Semakin besar nilai set poin ketinggian terbang quadcopter, maka semakin besar nilai PWM yang dibutuhkan untuk memutar motor.

#### 5. SARAN

Untuk pengembangan sistem penghindar halangan dan penahan ketinggian terbang pada quadcopter yang lebih baik, diberikan beberapa saran berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar quadcopter dapat mengontrol ketinggian terbang dan jarak terhadap halangan dari atas quadcopter, sehingga quadcopter mampu mendeteksi halangan dari 6 arah, yakni atas, bawah, kanan, kiri, depan dan belakang.
2. Penggunaan sensor jarak dengan jangkauan yang lebih jauh dapat membantu quadcopter menghindari halangan dengan jarak yang lebih jauh pula sehingga kedepannya jarak quadcopter terhadap halangan dapat divariasikan.
3. Penerapan sistem penghindar halangan dan penahan ketinggian terbang pada quadcopter dengan kestabilan lebih baik memberikan respon yang lebih cepat pergerakan quadcopter.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ajie, A.K.B., 2007. *Penerapan Mikrokontroler AVR dalam Pembuatan UAV Sebagai Sarana Fotografi Udara*. Jurusan Fisika, Fakultas Mipa, UNDIP, Semarang.
- [2] Domingues, J. M., 2009. *Quadcopter Prototipe*. Universidade Tecnica de Lisboa, Portugal.
- [3] Luukonen, T., 2011, *Modeling and Control of Quadcopter*, Aalto University, Espoo.
- [4] Prawirodjo, Kiki dan Asteria, N. 2008. *Detektor Jarak dengan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler*. Jurusan Teknik Elektro – FTI, Universitas Trisakti.