

## Rancang Bangun *Quadcopter* untuk Pemantauan Kadar Karbon Monoksida di Udara

Arya Adi Saputra\*<sup>1</sup>, Andi Dharmawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, JIKE, FMIPA, UGM, Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA, UGM, Yogyakarta

e-mail: \*[aryaadisaputra@gmail.com](mailto:aryaadisaputra@gmail.com), [dharmawan.andi@gmail.com](mailto:dharmawan.andi@gmail.com)

### Abstrak

Karbon monoksida yang dihasilkan dari limbah industri merupakan hasil pembakaran tidak sempurna gas alam dan material lain yang mengandung karbon. Karena merupakan gas beracun yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berbahaya, gas ini cukup berbahaya jika terhirup oleh manusia. Oleh karena itu, untuk dapat mencegah hal tersebut, dibutuhkan suatu sistem yang dapat membantu mengetahui kadar gas karbon monoksida hasil buangan limbah industri di udara, yang mana dapat mencapai tempat-tempat yang tidak dapat dijangkau oleh manusia. Dalam skripsi ini dilakukan penelitian mengenai suatu cara/alternatif untuk membantu mengetahui kadar gas di tempat-tempat yang tidak dapat dijangkau oleh manusiayang diimplementasikan pada *quadcopter*.

*Quadcopter* merupakan wahana terbang yang bergerak menggunakan empat buah baling-baling. *Quadcopter* dibuat dengan rangka utama aluminium disertai dengan pengendali utamanya *arduino mega*. Rangkaian tersebut dilengkapi dengan modul Razor 9 DOF IMU yang didalamnya terdapat sensor accelerometer ADXL345, gyroscope ITG-3200 dan magnetometer HMC5883L untuk menjaga keseimbangan terbangnya. Aktuatornya berupa 4 buah motor brushless yang dikendalikan menggunakan algoritma PID. *Quadcopter* tersebut dapat dikendalikan dari jarak jauh menggunakan remote control. Program antar muka akuisisi data kadar karbon monoksida ini digunakan sebagai Ground Segment, yang mana menampilkan akuisisi data karbon monoksida dan data dari dinamika terbang *Quadcopter* sendiri dengan menampilkan sudut yaw, pitch, dan roll serta data kecepatan motor. Pada ketinggian  $\pm 5$  meter, *quadcopter* masih dapat mengambil sample data kadar gas dengan aman sebelum kestabilan *quadcopter* terganggu karena pengaruh angin diatas ketinggian 5 meter.

**Kata kunci**— *quadcopter*, akuisisi, data, karbon monoksida

### Abstract

Carbon monoxide is produced from industrial waste is the result of incomplete combustion of natural gas and other carbon-containing materials. Because it is a poisonous gas that is colorless, odorless, and harmless, the gas is quite dangerous when inhaled by humans. Therefore, in order to prevent that, we need a system that can help determine levels of carbon monoxide a waste product of industrial waste in the air, which can reach places inaccessible by humans. In this thesis research on a way / alternative to help determine levels of gas in places that can not be reached by manusiayang implemented on *Quadcopter*.

*Quadcopter* flying is a vehicle that moves using four propellers. *Quadcopter* made with aluminum main frame with the main controller *arduino mega*. The series is equipped with a 9 DOF Razor IMU module in which there are sensor ADXL345 accelerometer, gyroscope and magnetometer ITG-3200 HMC5883L to balance flight. Aktuatornya be 4 pieces brushless motor is controlled using PID algorithm. *Quadcopter* can be controlled remotely using the remote control. The program interface data acquisition carbon monoxide levels are used as a Ground Segment, which displays the carbon monoxide data acquisition and data from the dynamic flying *Quadcopter* themselves by displaying angles yaw, pitch, and roll as well as the motor speed data. At a height of  $\pm 5$  meters, *Quadcopter* can still take the data sample gas levels safely before stability *Quadcopter* disrupted because of the wind above a height of 5 meters.

**Keywords**— *quadcopter*, data, acquisition, carbon monoxide

## 1. PENDAHULUAN

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Limbah mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan bahaya. Limbah ini dikenal dengan limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya). Bahan ini dirumuskan sebagai bahan dalam jumlah relatif sedikit tapi mempunyai potensi mencemarkan/merusakkan lingkungan kehidupan dan sumber daya. Sebagai limbah, kehadirannya cukup mengkhawatirkan terutama yang bersumber dari pabrik industri.

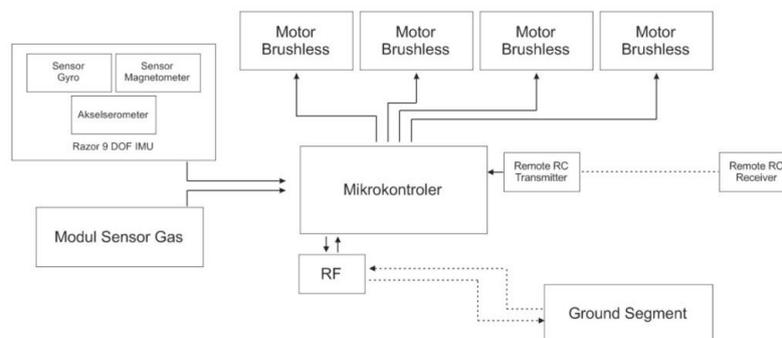
Karbon monoksida dihasilkan dari limbah industri terutama dari hasil pembakaran tidak sempurna gas alam dan material-material lain yang mengandung karbon. Karbon monoksida (CO) merupakan gas beracun, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karena sifatnya yang tidak berbau, CO biasanya bercampur dengan gas-gas lain yang berbau sehingga CO dapat terhirup secara tidak disadari bersamaan dengan terhirupnya gas lain yang berbau.

*Quadcopter* merupakan pesawat tanpa awak yang memiliki empat buah baling-baling sebagai penggerakannya [1],[2], dan [3]. *Quadcopter* memiliki kelebihan mampu terbang ke segala arah, mengudara tanpa landasan panjang, serta bergerak secara 3 sumbu derajat kebebasan [4]. Beberapa orang menggunakan *quadcopter* sendiri ditujukan untuk berbagai fungsi misalnya fotografi udara, pantauan video dari atas yang biasa digunakan saat pengevakuasian bencana alam, dan juga untuk pemantauan. Untuk dapat mengetahui kadar gas CO hasil limbah industri yang berbahaya, dibutuhkan suatu sistem yang mana dapat mencapai medan yang sulit dijangkau oleh manusia tersebut. Salah satu sistem yang dapat diimplementasikan untuk hal itu adalah dengan memanfaatkan *quadcopter* sebagai sarana pengambilan data kadar gas karbon monoksida.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Analisis dan Perancangan Sistem

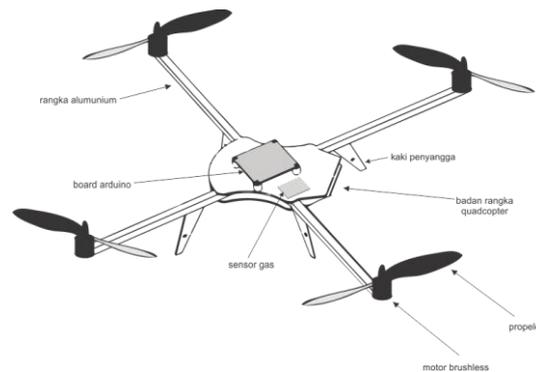
Rancangan sistem ini meliputi rancangan secara keseluruhan dimana ada rancangan mekanik, hardware elektronik dan software pemrograman sistem yang digunakan. Rancangan mekanik dari *quadcopter* ini berupa rangka aluminium sebagai rangka utama, kemudian untuk badan rangka sebagai tempat penyangga komponen hardware digunakan akrilik yang disusun bertingkat untuk menghasilkan konstruksi yang kokoh. Untuk rancangan *hardware* elektronik meliputi *board* kontroler Arduino Mega 2560, rangkaian *shield* Arduino Mega 2560, dan sistem elektronis yang digunakan lainnya. Selanjutnya, rancangan *software* meliputi cara pemrograman akuisisi data kadar karbon monoksida di udara dan komunikasi serial dengan *ground segment* menggunakan modul nirkabel. Untuk gambaran umum sistem tersebut dapat dilihat pada blok diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram Rancang Bangun Quadcopter untuk Memantau Kadar Karbon Monoksida di Udara

### 2.1.1 Perancangan Bagian Mekanik

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa quadcopter terdiri dari 4 motor brushless, 4 ESC (*Electronic Speed Controller*), 4 propeler, rangka aluminium, badan rangka, dan juga kaki penyangga dari aluminium. Pemilihan mekanik *quadcopter* ini memperhatikan beban berat yang akan diangkat oleh *quadcopter*. Motor *brushless* yang digunakan adalah motor *brushless* 800KV untuk beban berat kurang dari 2kg. Untuk itu, digunakan *driver* motor ESC yang sesuai dengan motor *brushless* tersebut, yang mana kemudian digunakan ESC Turnigy Plush 18A. Sedangkan untuk pemilihan tipe propeler sendiri mengikuti motor brushless yang digunakan. Berdasarkan motor brushless 800KV tersebut, digunakan propeler GWS 1047.



Gambar 2. Perancangan mekanik quadcopter

Adapun sensor gas dan board kontroler diletakkan pada bagian tengah rangka yang merupakan titik tengah dari quadcopter tersebut, lebih tepatnya di badan rangka *quadcopter*. Badan rangka *quadcopter* dibuat dengan menggunakan akrilik yang disusun bertingkat

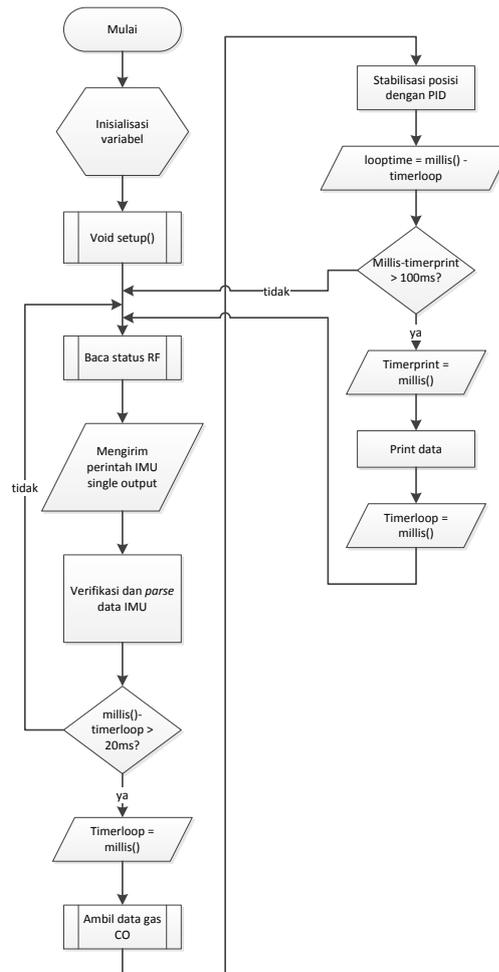
### 2.1.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dalam hal ini dilakukan dengan cara membuat *shield arduino* sebagai konektor antara Arduino mega 2560 dengan Razor IMU 9DOF, sensor gas MQ-7, ESC, modul RF YS-1020 dan Remote RC *transmitter*.

### 2.1.3 Perancangan Perangkat Lunak

Rancangan perangkat lunak dalam hal ini adalah program yang dimasukkan dalam mikrokontroler. Pemrograman dilakukan dengan bahasa Arduino yang dilakukan di Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) versi 1.0.1. Arduino sendiri merupakan bahasa turunan dari C++ sehingga fungsi-fungsi C++ dan C dapat berjalan di Arduino. Pemilihan bahasa Arduino ini dipilih karena untuk memadai perhitungan matematis dalam sistem *quadcopter* dan sifatnya adalah *open source*. Karena sifatnya yang *open source* ini, banyak *library* yang dikembangkan oleh personal atau komunitas di luar *developer* Arduino sendiri.

Pemrograman pada sistem ini dilakukan dua kali yaitu di Razor 9DOF IMU yang menggunakan mikrokontroler ATMEGA328 dan berisi *bootloader* Arduino sehingga bisa didownload menggunakan Arduino IDE. Untuk memrogram IMU ini digunakan *open source firmware* yang dikelola oleh Peter Bartz di <https://dev.qu.tu-berlin.de/projects/sf-razor-9dof-ahrs/>. *Firmware* ini kemudian dimodifikasi agar data keluarannya sesuai dengan yang dibutuhkan. Data keluaran dari Razor 9DOF IMU ini nantinya akan menjadi input masukan pada kontroler utama Arduino Mega 2560 berupa sudut *Yaw*, *Pitch*, *Roll* sebagai kontrol keseimbangan *quadcopter*.



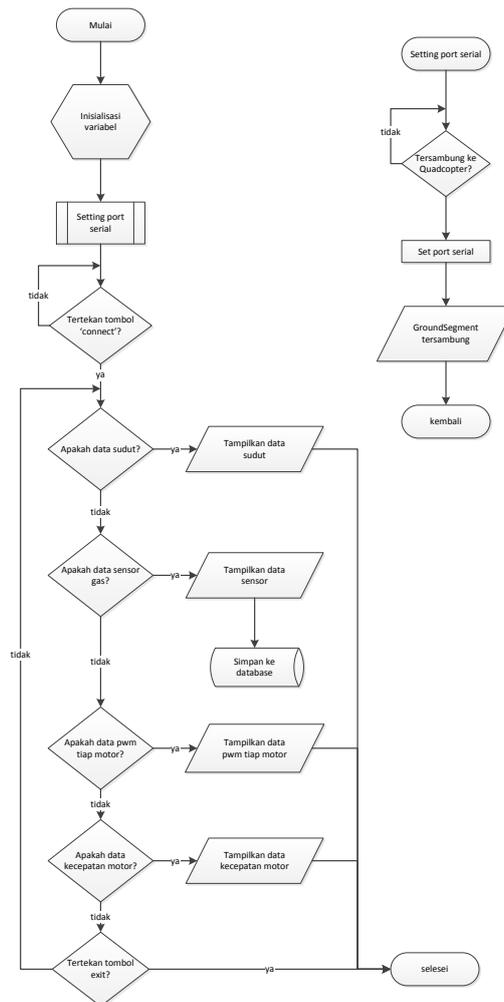
Gambar 4. Diagram alir fungsi utama quadcopter

Pemrograman yang kedua adalah pemrograman di Arduino Mega 2560 sebagai kontroler utama. Arduino Mega 2560 ini akan mengakses data-data sensor dan kemudian mengolahnya sesuai perintah. Garis besar jalannya program adalah membaca sudut kemiringan *Yaw*, *Pitch*, dan *Roll* yang dihasilkan oleh Razor 9DOF IMU, membandingkannya dengan nilai *offset*, kemudian diolah menjadi parameter yang dibutuhkan untuk menentukan kecepatan tiap motor brushless dengan menggunakan kontroler PID agar keseimbangan *quadcopter* di udara dapat dipertahankan. Selain itu, Arduino Mega 2560 sebagai kontroler utama juga mengambil data sensor gas yang kemudian ditransmisikan melalui modul RF ke *Ground Segment*.

Pada gambar 4 ditunjukkan alur program fungsi utama dari quadcopter. Secara garis besar jalannya program adalah arduino menerima masukan perintah (*command*) melalui RF, yang mana kemudian dilanjutkan membaca akses data sudut dari Razor 9DOF IMU melalui jalur serial. Data IMU akan dibaca dan dicocokkan dengan format data *Yaw*, *Pitch*, *Roll*,  $\omega[0]$ ,  $\omega[1]$ ,  $\omega[2]$ . Lalu dilanjutkan pembacaan nilai sensor gas melalui jalur pin digital 12. Proses selanjutnya, yaitu mengolah hasil pembacaan data IMU dengan menggunakan kontrol PID. Setelah itu, setiap 140ms Arduino akan mengirimkan data (*print data*) melalui RF ke *Ground Segment*. Waktu 140 milisekon ini diketahui dengan menggunakan fungsi bawaan arduino yaitu *millis()*, yang mana merupakan fungsi yang otomatis berjalan sejak program pertama kali dijalankan, dalam milisekon.

### 2.1.4 Perancangan Program Antar Muka

Program diawali dengan inisialisasi variabel, kemudian dilakukan setting serial port untuk menentukan port serial yang akan digunakan untuk berkomunikasi dengan quadcopter. Program kemudian akan menunggu tombol *Connect* untuk ditekan. Secara garis besar, setelah tombol sudah ditekan dan masuk looping, program kemudian akan membagi data yang diterima, yang mana data tersebut berupa data sudut kemiringan *quadcopter* (*roll*, *pitch*, dan *yaw*), data kadar gas karbon monoksida, data *pwm* tiap motor, dan data kecepatan motor. Untuk data kadar gas karbon monoksida, nantinya akan masuk datalogger yang mana menggunakan *database Microsoft Access*. Untuk tampilan perancangan program antar muka dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Diagram alir program utama antarmuka.

### 2.2 Implementasi Sistem

Quadcopter dibuat dengan menggunakan rangka aluminium kotak ketebalan 1 mm dengan jarak panjang lengan dari titik tengah Quadcopter ke motor brushless 30 cm dan perpanjangan rangka untuk pengaman adalah 10 cm. Material ini dipilih karena aluminium kotak 1 mm ini ringan, kuat, dan relatif mudah dipotong. Setelah dipotong, aluminium ini dilas untuk dipertemukan pada titik tengahnya. Dibagian tengahnya, dipasang badan rangka Quadcopter yang terbuat dari akrilik ketebalan 2 mm dan disusun berlapis, sesuai perancangan pada bab IV. Pemilihan akrilik sebagai badan rangka karena akrilik ini cukup kuat untuk

digunakan menjadi badan rangka. Pada Gambar 6 dapat dilihat tampak atas implementasi Quadcopter. Sedangkan untuk implementasinya pada quadcopter, dapat dilihat pada Gambar 7.

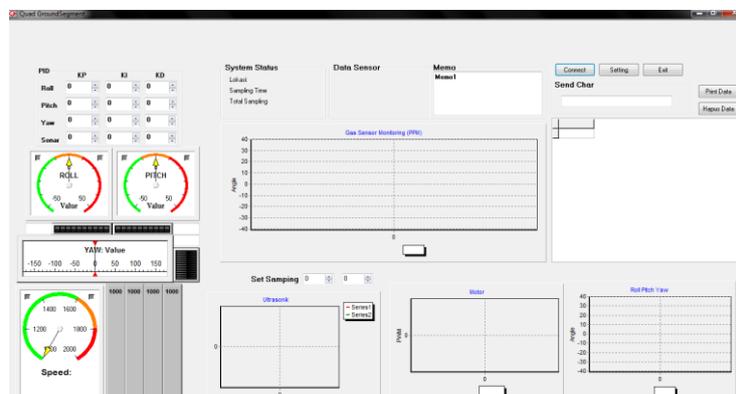


Gambar 6. Implementasi quadcopter



Gambar 7. Implementasi sensor gas MQ-7

*Ground Segment* yang dibuat tidak hanya untuk mengambil data sensor gas saja, namun juga digunakan untuk memberi *command*/perintah ke Quadcopter. Selain itu, ditampilkan juga grafik hasil pembacaan sensor Razor 9DOF IMU dan grafik PWM tiap motor. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam hal analisis sudut yang dideteksi sensor IMU dan analisis PID yang dapat dilihat dari kecepatan motor tiap sumbu. Tampilan *ground segment* tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

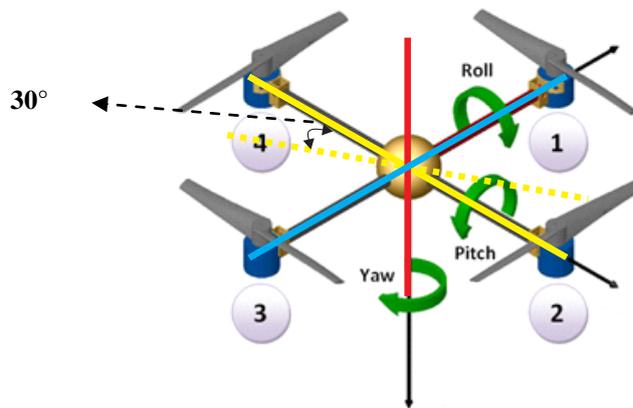


Gambar 8. Implementasi *groundsegment*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Orientasi Quadcopter

Untuk mengetahui sikap (*attitude*) dan arah *quadcopter* terhadap kutub magnetik bumi dan sumbu global bumi, diperlukan suatu rangkaian orientasi yang terintegrasi pada kontroler. Sensor orientasi tersebut meliputi sensor gyroscope, accelerometer, dan magnetometer. Sikap (*attitude*) Quadcopter tersebut terbagi dalam 3 sumbu, yaitu “roll”, “pitch”, dan “yaw”. Sumbu tersebut merupakan sumbu yang biasa dipakai untuk menentukan gerakan UAV (Unmanned Aerial vehicle) pada umumnya, “roll”/guling merupakan gerakan rotasi pada sumbu x, “pitch”/angguk merupakan gerakan pada sumbu y, serta “yaw”/belok merupakan gerakan pada sumbu z. Ilustrasi gerakan pada sudut yaw, pitch, dan roll dapat dilihat pada Gambar 6.1.



Gambar 9. Ilustrasi pengujian roll dan pitch quadcopter

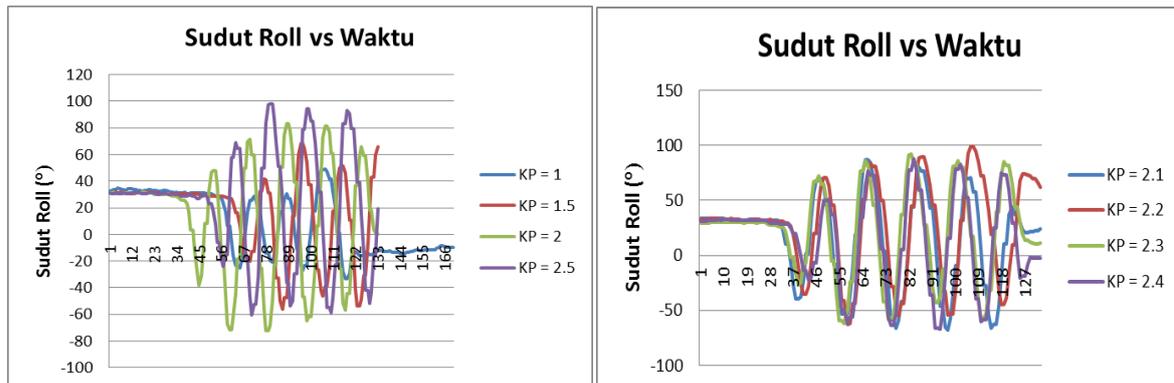
Metode yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah melakukan 5 kali pengukuran terhadap masing-masing *roll*, *pitch*, dan *yaw* terhadap busur derajat. Sudut yang diuji dimulai dari  $-90^\circ$  hingga  $90^\circ$  untuk sudut *roll* dan *pitch*, sedangkan untuk sudut *yaw* dimulai dari  $-180^\circ$  hingga  $180^\circ$ . Dari hasil pengujian untuk sudut *roll*, didapat nilai deviasi minimum adalah 0.005477226 dan maksimum adalah 0.109545. Hal ini dapat dikatakan bahwa sebaran normal variasi pembacaan sudut *roll* adalah  $\pm 0.005$  hingga  $\pm 0.1$ . Untuk sudut *pitch*, nilai standar deviasi minimumnya adalah 0.04472136, deviasi maksimumnya adalah 0.230217, sehingga dapat dikatakan bahwa sebaran normal variasi pembacaan sudut *pitch* adalah  $\pm 0.04$  hingga  $\pm 0.2$ . Untuk sudut *yaw*, nilai standar deviasi minimum dan maksimumnya adalah 0.070710678 dan 0.3. Jadi, dapat dikatakan bahwa sebaran normal variasi pembacaan sudut *yaw* adalah  $\pm 0.07$  hingga  $\pm 0.3$ .

#### 3.2 Pengujian Keseimbangan Quadcopter

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, quadcopter memiliki 3 buah sudut yang mempengaruhi sikap (*attitude*) *quadcopter*, yang mana harus diatur agar dapat terbang dengan seimbang, yakni sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mencari konstanta PID yang tepat untuk quadcopter tersebut. Pertama-tama dilakukan pencarian variasi konstanta proporsional ( $K_p$ ) yang sesuai, dengan mengosongkan/menge-nol-kan nilai konstanta derivatif ( $K_d$ ) dan konstanta integral ( $K_i$ ). Setelah didapatkan nilai  $K_p$ , dilanjutkan dengan mencari nilai konstanta  $K_d$  yang sesuai dengan nilai  $K_p$  tersebut namun  $K_i$  tetap bernilai nol dan yang terakhir adalah mencari nilai  $K_i$  yang sesuai dengan nilai  $K_p$  dan  $K_d$  yang telah didapat.

### 3. 2.1 Pengujian Sudut Roll

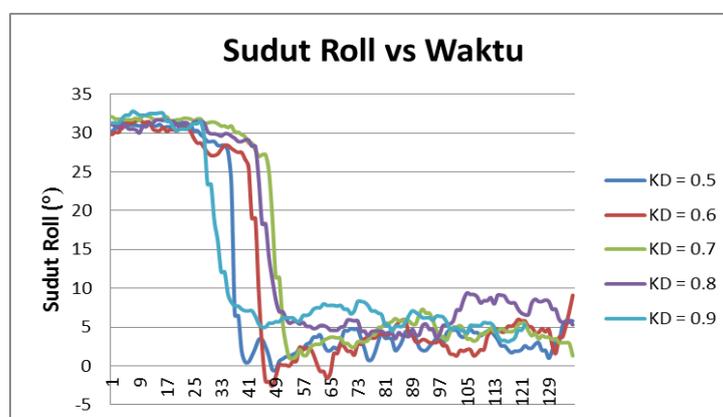
Pada pengujian ini diberikan nilai konstanta  $K_p$  yakni 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 dan 4.0 dengan nilai  $K_d$  dan  $K_i$  adalah nol. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.4, yang mana nilai *error* yang diberikan oleh kontrol proporsional tersebut didapat dari nilai *setpoint* dikurangi nilai sudut *roll* yang dideteksi sensor. Dalam hal ini nilai sudut *roll* tersebut telah dibandingkan dengan nilai *offset roll*, sesuai pada perancangan perangkat lunak pada kalibrasi *roll*. Nilai *error* ini yang menyebabkan Quadcopter dapat beresilasi di sekitar *setpoint*, yang mana *error* tersebut dapat berupa *error* positif maupun *error* negatif.



Gambar 10. Grafik sudut roll vs waktu ( $K_p$ : 1 – 2.5)

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar 6.4(a) dan 6.4(b), dapat dilihat bahwa konstanta 1 dan 1.5 tidak dapat membuat osilasi kembali setelah simpangan  $30^\circ$ , serta responnya yang lambat. Pemberian konstanta  $K_p$  2 dan 2.5 terlihat sedikit perbedaannya, oleh karena itu dilakukan uji ulang dengan pemberian konstanta 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4, yang mana hal ini dilakukan karena pemberian konstanta 2.5 hampir terlihat lepas kendali saat beresilasi. Pemberian konstanta 2.1 hingga 2.4 hampir tidak terlihat bedanya, namun berdasarkan kecepatan responnya, terlihat konstanta  $K_p$  2.3 lebih cocok.

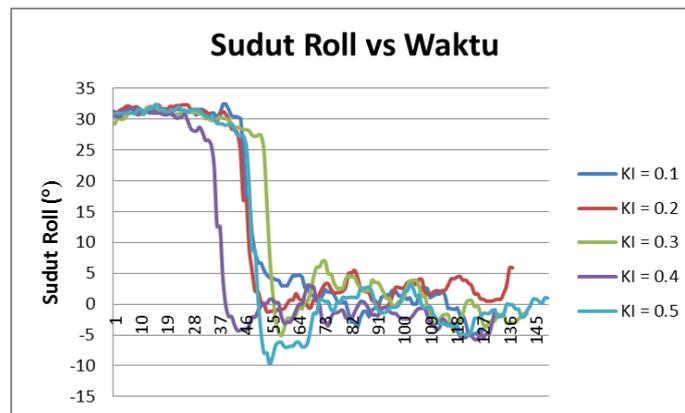
Pada pengujian ini, posisi awal sumbu Y quadcopter dimiringkan pada sudut  $30^\circ$  untuk melihat efek redaman yang terjadi akibat pemberian konstanta derivatif. Hasil pengujian nilai  $K_d$  terhadap sistem dapat dilihat pada Gambar 11. Pengaruh konstanta derivatif adalah untuk menurunkan overshoot yang terjadi pada sistem atau dengan kata lain fungsi dari konstanta derivatif ini adalah untuk meredam overshoot yang terjadi akibat kenaikan konstanta proporsional. Konstanta derivatif hanya akan bereaksi jika terjadi perubahan error sehingga konstanta ini sama seperti konstanta proporsional yaitu tidak bisa digunakan sendirian atau harus diimbangi oleh konstanta lain. Dalam hal ini antara konstanta proporsional dan derivatif bersifat saling melengkapi.



Gambar 11. Grafik sudut *roll* vs waktu ( $K_d$ : 0.2 – 1.0).

Berdasarkan grafik pada Gambar 11 tersebut, dapat dilihat bahwa untuk Kd 0.5 masih terjadi simpangan  $4^\circ$ . Ketika diberikan Kd 0.6, simpangan masih cukup kecil tetapi agak tersendat ketika osilasi pada error positif. Sedangkan dengan pemberian Kd 0.7 hingga 0.9, simpangan osilasi cukup besar.

Jadi, dengan melihat grafik tersebut dapat dikatakan bahwa nilai Kd yang sesuai adalah 0.5 sebab nilai Kd tersebut mampu memberikan efek redaman yang paling kecil yakni sekitar  $4^\circ$ . Efek redaman tersebut sudah mampu menahan osilasi yang ditimbulkan oleh nilai Kp yang diberikan sebelumnya.



Gambar 12. Grafik sudut *roll* vs waktu (Ki: 0.1 – 0.5).

Pemberian konstanta integral diharapkan dapat memberikan koreksi terhadap error steady state sehingga sudut roll quadcopter dapat benar-benar menuju setpoint yang dikehendaki yakni  $0^\circ$ . Nilai error integral didapatkan dari penjumlahan secara terus menerus antara nilai error yang terdeteksi saat itu dengan nilai error yang lalu atau dengan kata lain nilai error tersebut diakumulasikan. Akumulasi nilai error inilah yang kemudian dikalikan dengan konstanta integral untuk membantu mengoreksi error steady state.

Pada grafik di Gambar 12 terlihat bahwa setelah diberikan konstanta integral maka simpangan osilasi yang terjadi berada di sekitaran  $0^\circ$ . Dari grafik pada Gambar 12 tersebut, pemberian Ki 0.3, 0.4 dan 0.5 membuat terjadi error negatif saat osilasi. Hal ini berarti pemberian konstanta Ki tersebut masih cukup besar. Sedangkan untuk pemberian Ki 0.1, konstanta tersebut masih cukup kecil sehingga belum tercapai setpoint  $0^\circ$ . Kemudian untuk pemberian Ki 0.2, terlihat bahwa osilasi yang terjadi adalah di sekitar setpoint  $0^\circ$ , sehingga konstanta inilah yang cukup cocok untuk sudut roll.

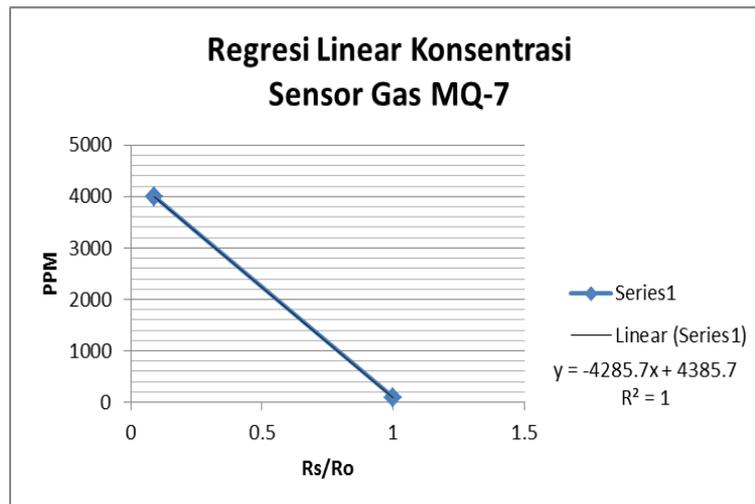
### 3.3 Pengujian Sensor Gas Pada Quadcopter

Dengan menggunakan Excel 2010, dapat diketahui grafik dan persamaan regresi linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Nilai Ro ini merupakan resistansi sensor pada tekanan 100 PPM terhadap kadar gas karbon monoksida, namun untuk mengetahui nilai Ro tersebut juga dapat diketahui dengan cara membandingkan resistansi sensor pada udara bersih, sesuai dengan datasheet. Nilai Ro ini digunakan sebagai pembanding dalam mengetahui kadar konsentrasi gas dalam PPM. Sedangkan nilai Rs sendiri adalah nilai resistansi yang mana merupakan hasil deteksi dari sensor tersebut.

Sesuai *datasheet*, nilai Rs ditentukan dengan rumus:

$$Rs/RL = (Vc - VRL)/VRL$$

Vc merupakan tegangan input yang dibutuhkan pada rangkaian, dalam hal ini tegangan yang diberikan adalah 5V. RL merupakan hambatan pada sensor dan diberikan hambatan 10K ohm, sedangkan VRL merupakan nilai output sensor yang nilainya selalu berubah-ubah.



Gambar 13. Grafik regresi linier konsentrasi sensor gas MQ-7

Sensor gas diuji untuk mengetahui pengaruh gerak motor dan propeler pada ketinggian tertentu terhadap deteksi sensor gas. Modul sensor gas yang dipasang pada quadcopter diambil data hasil deteksi di udara secara wireless menggunakan komunikasi RF YS-1020. Sedangkan ketinggian diketahui dari deteksi sonar yang mana sensor ultrasonik dipasang pada bagian bawah badan rangka quadcopter. Dalam hal ini, sensor ultrasonic merupakan bagian dari penelitian rekan saya, sehingga penulis hanya tinggal menggunakan data deteksi sonar tersebut. Sensor ultrasonik yang digunakan memiliki batas jangkauan maksimum 400 cm. Berikut ini adalah tabel 1 yang menunjukkan pengaruh ketinggian quadcopter terhadap deteksi sensor gas.

Tabel 1 Hasil pengujian ketinggian *quadcopter* terhadap deteksi sensor

Ketinggian Quadcopter	Rata-rata Nilai Sensor (PPM)
0 meter (belum diterbangkan)	60
1 meter	60
2 meter	60
3 meter	59
4 meter	58
±5 meter	57

Dalam hal ini sumber gas karbon monoksida berasal dari asap buangan motor, yang mana motor yang digunakan ini dalam keadaan stabil sehingga keluaran gas CO (karbon monoksida) yang dihasilkan konstan. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa deteksi sensor mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ketinggian terbang Quadcopter. Pengujian diatas 5 meter mengalami kendala dikarenakan kestabilan quadcopter yang sulit dijaga karena pengaruh angin pada ketinggian tersebut dan juga deteksi sensor gas yang lost signal terhadap deteksi kadar gas.

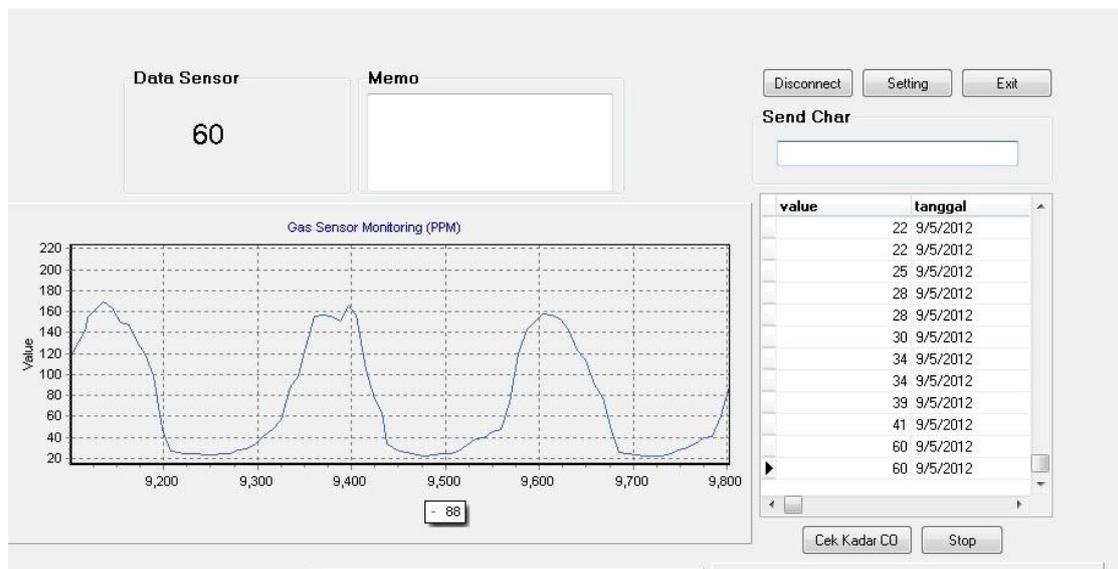
### 3.4 Pengujian Program Antar Muka

Untuk dapat mengambil data melalui Ground Segment, setelah program terkoneksi, ditekan tombol 'Cek Kadar CO' untuk mengirimkan perintah melalui RF bahwa akan sub program COsensor diaktifkan. Pada awalnya, sensor tidak akan mengirimkan data sensor, namun akan melakukan *internal heating* pada sensor gas tersebut selama 1 menit. Saat proses internal heating tersebut, akan muncul pemberitahuan di memo program antarmuka, bahwa sedang dilakukan *internal heating*. Berikut Gambar 15 saat berada pada proses internal heating.



Gambar 15. Memo program antarmuka

Pada Gambar 15 tersebut menunjukkan sensor sedang berada pada proses heating. Setelah dilakukan *internal heating*, maka program akan mengambil data sensor gas tersebut. Berikut Gambar 16 ketika menerima data gas karbon monoksida dari sistem Quadcopter.



Gambar 16. Program antarmuka ketika menerima data sensor gas

#### 4. KESIMPULAN

1. Telah berhasil dibuat sebuah quadcopter untuk memantau kadar karbon monoksida di udara.
2. Quadcopter dapat mendeteksi kemiringan sudut *yaw*, *pitch*, dan *roll* menggunakan Razor 9 DOF IMU yang didalamnya terdapat sensor *accelerometer*, *gyroscope*, dan *magnetometer*
3. Standar deviasi untuk sudut *roll* adalah  $\pm 0.005$  hingga  $\pm 0.1$ , sudut *pitch* adalah  $\pm 0.04$  hingga  $\pm 0.2$ , dan sudut *yaw* adalah  $\pm 0.07$  hingga  $\pm 0.3$ .
4. Konstanta proporsional, derivatif dan integral yang digunakan pada:
  - Pengontrol PID *roll* :  $K_p=2.3$  ,  $K_d=0.5$  dan  $K_i=0.2$
  - Pengontrol PID *pitch* :  $K_p=2.1$  ,  $K_d=0.6$  dan  $K_i=0.3$
  - Pengontrol PID *yaw*:  $K_p=3.8$  ,  $K_d=0.2$  dan  $K_i=0.3$
5. Pada ketinggian  $\pm 5$  meter, *quadcopter* masih dapat mengambil *sample* data kadar gas dengan aman sebelum kestabilan quadcopter terganggu karena pengaruh angin diatas ketinggian 5 meter.
6. *Ground Segment* yang dibuat berfungsi untuk menerima data sudut dan dinamika terbang quadcopter serta data karbon monoksida yang mana dapat membantu monitoring di medan yang sulit.

## 7. SARAN

Pada penelitian ini masih terdapat beberapa hal yang perlu disempurnakan. Berikut saran yang disampaikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang sejenis.

1. Untuk mengurangi *error* sudut *yaw*, maka *magnetometer* dapat diganti menggunakan GPS sehingga pengaruh distorsi kemagnetan dari rangka dan motor tidak mempengaruhi deteksi sudut *yaw* tersebut.
2. Untuk dapat lebih mengetahui lokasi pengambilan sampel gas, dapat ditambahkan GPS sebagai *waypoint* / penunjuk lokasi.
3. Untuk meningkatkan stabilitas Quadcopter perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hansson, A., 2010, *Quadrotor UAV Konstruktion och användbarhetsstudie av en UAV i sensornätverk*, Uppsala Universitet, Uppsala.
- [2] Luukonen, T., 2011, *Modeling and Control of Quadcopter*, Aalto University, Espoo.
- [3] Miguel, J., 2009, *Quadrotor Prototype*, Technical University of Lisbon, Lisboa.
- [4] Pradel, G., Benzemrane, K., Damm, G., dan Azouz, N., 2007. "*Modelling and development of a quadrotor UAV*", Université d'Evry Val d'Essonne, France.