

Studi Analisis Perbaikan Stabilitas Tegangan Melalui Penjadwalan Ulang Generator

Reza Utama Putra¹, Lukmanul Hakim², Herri Gusmedi³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹rezautamaputra@gmail.com

²lukmanul.hakim@eng.unila.ac.id

³herri.gusmedi@eng.unila.ac.id

Intisari — Keseimbangan daya antara kebutuhan beban pada sistem dengan pembangkitan oleh pembangkit listrik merupakan salah satu ukuran kestabilan operasi sistem tenaga listrik. Jatuh tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan beban aktif maupun reaktif secara tiba-tiba, merupakan salah satu bentuk dari ketidakstabilan sistem dalam melakukan penyaluran energi listrik ke konsumen. Berdasarkan SPLN No. 1:1995 Pasal 4 tentang ketentuan variasi tegangan pelayanan dimana drop tegangan yang diijinkan hanya sebesar -10% hingga +5%. Hasil yang diperoleh dengan menjadwalkan ulang generator terlihat bahwa sebelum dihitung optimasinya dengan menggunakan Primal- Dual interior Point, sistem pada studi kasus memiliki nilai tegangan yang masih stabil sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai tegangan mengalami peningkatan menjadi 0.9636 pu dari sebelumnya 0.960 pu pada kondisi beban naik sebesar 15% dari beban dasar. Konsekuensinya adalah terjadinya sedikit peningkatan keluaran daya aktif maupun reaktif pada pembangkit listrik. Namun jika ditinjau dari stabilitas tegangannya maka nilai ini lebih baik dari sebelumnya penjadwalan menggunakan metode aliran daya Newton- Raphson.

Kata kunci — penjadwalan ulang pembangkit, stabilitas tegangan, Aliran Daya Optimum, *primal-dual interior point*.

Abstract — The balance between the power demand and power generation of a system is one of the requirement to obtain a stability in power system operation. The voltage drop caused by the sudden changes of active and reactive load is a form of the instability of the system in channeling electricity to consumers. Based on SPLN No. 1:1995 Article 4 of the terms of service voltage variations where the allowable voltage drop of only 10% s / d +5%. From the result, as we can see that before we using the optimization method with Primal- Dual Interior Point, the system indicates a condition that still reliable. In other words the system is stable. After we use the optimization on the system that use in the study case, the voltage stability of the system is increasing from 0.960 to 0.9636 with the power demand increase by 20% from its base demand. The consequence is a slight increase in power generation, active and reactive. However, from the view of voltage stability, this number is still greater than previous schedule the generator using only power flow Newton- Raphson method.

Keywords— *Generation Rescheduling, Voltage Stability, Optimal Power Flow, Primal-Dual Interior Point.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam melakukan pemotretan udara, banyak media yang bisa digunakan dan dengan semakin berkembangnya teknologi, saat ini terdapat solusi yang mudah dan murah untuk melakukan pemotretan udara, yaitu dengan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* atau disingkat UAV, dalam bahasa Indonesia disebut juga Pesawat Tanpa Awak. UAV memiliki berbagai bentuk, ukuran, dan karakter yang berbeda-beda. Salah satu model

UAV yang sering digunakan untuk melakukan foto udara adalah jenis *quadcopter*.

Saat mengudara, sebuah *quadcopter* tidak selalu dapat mempertahankan posisinya dengan mulus. Hal ini karena terdapat berbagai hambatan, seperti angin dan saat melakukan beberapa manuver yang membuat gerakannya menjadi tidak stabil. Gerakan yang tidak stabil ini akan mempengaruhi hasil akhir pengambilan foto atau video. Sebagai contoh, hasil foto bisa kurang fokus dan terjadi efek *blur* pada gambar atau bisa juga

menyebabkan hasil video menjadi bergoyang-goyang.

Untuk itu, disini penulis akan melakukan penelitian untuk dapat membuat suatu sistem yang dapat menstabilkan posisi kamera saat dibawa mengudara oleh sebuah *quadcopter*. Sistem ini dibuat menggunakan *accelerometer*, *gyroscope* serta *magnetometer* sebagai sensor yang akan membaca pergerakan *quadcopter*. Selanjutnya, *Arduino Mega 2560* digunakan untuk memproses data yang dibaca oleh sensor. Lalu data ini akan digunakan untuk mengontrol tiga buah *brushless DC motor* yang akan bergerak dengan arah dan sudut tertentu untuk menstabilkan kamera agar tetap pada posisi yang benar. Tiga buah motor diperlukan karena sistem akan menstabilkan posisi kamera dalam 3 sumbu, yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z.

B. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk membuat suatu sistem yang dapat digunakan untuk menstabilkan posisi kamera saat dibawa mengudara oleh sebuah *quadcopter*.

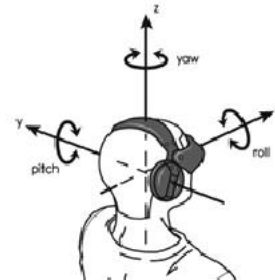
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Camera Mount

Camera mount merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat meletakkan kamera saat dibawa mengudara. Dalam dunia *aerial photography*, *camera mount* ini sering juga disebut dengan nama *Gimbal*. Dengan makin berkembangnya dunia *aerial photography*, *gimbal* tidak hanya digunakan sebagai tempat meletakkan kamera, namun juga sebagai alat untuk mengontrol pergerakan kamera serta menstabilkannya.

Berdasarkan keleluasaan pergerakannya, *gimbal* dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu satu *axis*, dua *axis* dan tiga *axis*. *Gimbal* satu *axis* berarti hanya mampu melakukan pergerakan ke satu arah saja, yaitu *pitch*. *Gimbal* dua *axis* berarti dapat melakukan

pergerakan ke dua arah, yaitu *pitch* dan *roll*. Sedangkan *gimbal* tiga *axis* berarti dapat melakukan pergerakan ke tiga arah, yaitu *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Pergerakan dengan poros sumbu X disebut dengan istilah *Roll*, pergerakan dengan poros sumbu Y disebut *Pitch* dan pergerakan dengan poros sumbu Z disebut *Yaw*.



Gbr. 1 Ilustrasi pergerakan *pitch*, *roll* dan *yaw*

B. MPU6050

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*. Baik *accelerometer* maupun *gyroscope* yang ada pada MPU6050 memiliki 16 bit *output* digital yang bisa diakses melalui jalur antarmuka I²C atau SPI.



Gbr. 2 MPU6050 pada *breakout board* GY-521

C. Accelerometer

Accelerometer adalah suatu sensor yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, mengukur percepatan gravitasi bumi, dan juga dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan posisi pada suatu perangkat sekaligus menghitung nilai perubahannya. Percepatan sendiri dapat diukur dalam satuan SI, seperti meter per detik kuadrat (m/s^2), atau untuk percepatan

gravitasi bumi, diukur dalam satuan *g-force* (*g*) dimana $1g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Accelerometer dapat digunakan untuk mendeteksi kemiringan pada pergerakan *pitch* dan *roll*. Untuk menghitung kemiringan pada *pitch* dan *roll*, rumusnya adalah:

$$\text{Pitch} = \arctan\left(\frac{x}{z}\right) \times \left(\frac{360}{2\pi}\right) \quad (1)$$

$$\text{Roll} = \arctan\left(\frac{y}{z}\right) \times \left(\frac{360}{2\pi}\right) \quad (2)$$

dimana,

x = Percepatan gravitasi di sumbu x (dalam satuan g)

y = Percepatan gravitasi di sumbu y (dalam satuan g)

Sensor *accelerometer* pada modul MPU6050 sudah memiliki output digital ADC (*Analog to Digital*) 16 bit untuk setiap sumbunya (x , y , z) dan memiliki pilihan skala pengukuran 2g, 4g, 8g dan 16g. Sehingga untuk melakukan konversi data *accelerometer* dari output ADC 16 bit ke percepatan gravitasi bumi adalah:

$$a = \text{OutputADC} / \text{Faktor Pembagi} \quad (3)$$

dimana,

a = Percepatan gravitasi di salah satu sumbu *accelerometer* (x , y atau z) dalam *g-force*

Hubungan antara faktor pembagi dan skala yang dipilih ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hubungan skala pengukuran *accelerometer* dengan faktor pembaginya

No.	Skala	Faktor Pembagi/Devider
1	2g	16384 LSB/deg/s
2	4g	8192 LSB/deg/s
3	8g	4096 LSB/deg/s
4	16g	2048 LSB/deg/s

D. Gyroscope

Dalam dunia instrumentasi, *gyroscope* digunakan untuk mengukur orientasi berdasarkan prinsip momentum sudut. Sensor ini akan mengukur kecepatan sudut dari suatu rotasi yang satuannya adalah radian per detik (rad/s). *Gyroscope* yang digunakan pada penelitian ini sendiri adalah *gyroscope* elektrik yang ada di dalam sensor MPU6050. MPU6050 sendiri memiliki pilihan skala pembacaan *gyroscope* maksimal yang bisa dipilih, yaitu 250°/sec, 500°/sec, 1000°/sec, dan 2000°/sec. Sensor *gyroscope* pada modul MPU6050 sudah memiliki *output* digital ADC (*Analog to Digital*) 16 bit, sehingga untuk melakukan konversi ke deteksi kecepatan sudut, *output* ini harus dibagi dengan faktor pembagi yang berbeda pada setiap skala yang dipilih. Seperti ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hubungan Skala Pengukuran dan Faktor Pembagi *Gyroscope* pada modul MPU6050

No.	Skala	Faktor Pembagi/Devider
1	250°/s	131 LSB/deg/s
2	500°/s	65,5 LSB/deg/s
3	1000°/s	32,8 LSB/deg/s
4	2000°/s	6,4 LSB/deg/s

Dengan begitu, konversi data *gyroscope* dari *output* ADC 16 bit ke satuan derajat/detik dapat dirumuskan:

$$\omega = \text{OutputADC} / \text{Faktor Pembagi} \quad (4)$$

dimana,

ω = Kecepatan sudut (°/s atau *deg/s*)

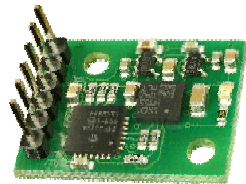
E. Magnetometer

Magnetometer merupakan instrumen pengukuran yang digunakan untuk mengukur kekuatan medan magnet dan dalam beberapa kasus, arah medan magnet. *Magnetometer* banyak digunakan untuk mengukur medan magnet bumi dan survei geofisika untuk mendeteksi berbagai jenis anomali magnetik. *Magnetometer* juga telah dirancang agar dapat dimasukkan dalam sirkuit terpadu untuk meningkatkan penggunaannya sebagai

ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro kompas dalam perangkat-perangkat modern, seperti *smartphone* dan komputer tablet. Penulis sendiri akan menggunakan *magnetometer* sebagai kompas digital yang akan memberi informasi sudut kemiringan pada sumbu *yaw*.

F. CMPS10

Sensor CMPS10 merupakan kompas digital dengan kompensasi kemiringan. Sensor ini terdiri dari *magnetometer 3 axis*, dan *accelerometer 3 axis*, dan prosesor 16-bit. CMPS10 telah dirancang untuk mengoreksi kesalahan yang disebabkan oleh posisi kompas saat miring. Karena pada kompas umumnya, nilai sudut mata angin yang ditunjukkan akan berubah jika posisi kompas tidak tegak lurus terhadap tanah. CMPS10 ini menghasilkan nilai *output* 0-3599 yang mewakili 0-359,9 atau 0 sampai 255. Sensor ini akan mengukur besar medan magnet pada sumbu *x*, *y* dan *z*. Sensor CMPS10 membutuhkan tegangan kerja 3,6 – 5 V dan arus sebesar 25 mA. Kita dapat mengakses data dari CMPS10 dengan tiga cara, yaitu antarmuka *serial*, *I²C*, dan mode PWM.



Gbr. 3 CMPS10

G. Brushless DC Motor

Brushless DC motor merupakan tipe motor DC yang tidak menggunakan *brushes* dan komutator. Motor ini memiliki magnet permanen pada bagian *rotor* dan lilitan pada *stator*-nya. Energi listrik diubah menjadi energi mekanik melalui prinsip tarik menarik antara magnet permanen yang ada di *rotor* dan medan magnet yang berubah-ubah pada *stator*. Pengendalian perpindahan arus *stator* dilakukan melalui rangkaian elektronik yang dapat menghasilkan gelombang sinyal, misalnya menggunakan mikrokontroler.



Gbr. 4 Brushless DC Motor

H. Arduino

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware-nya memiliki prosesor Atmel AVR dan software-nya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Pemrograman *Arduino* menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah dan disederhanakan melalui *library*. Untuk menulis program ke dalam *Arduino*, digunakan software *Arduino IDE*.

Tipe *Arduino* yang akan digunakan penulis disini adalah *Arduino Mega 2560*. Modul ini memakai mikrokontroler Atmega 2560 sebagai inti pemrosesannya. *Arduino Mega 2560* memiliki tegangan kerja 5 V, namun tegangan input yang disarankan adalah 7 hingga 12 V. Modul ini juga menyediakan pin PWM yang cukup banyak, total ada 15 pin PWM yang bisa digunakan.



Gbr. 5 Board Arduino Mega 2560 R3

I. IC L6234D

L6234 adalah sebuah IC (*Integrated Circuit*) dari STMicroelectronics yang memiliki tiga buah *half bridge* yang berfungsi sebagai *driver* untuk *brushless DC motor*. IC ini memiliki teknologi *BCDmultipower* yang menggabungkan transistor *power* DMOS terisolasi dengan CMOS dan sirkuit bipolar dalam satu *chip*. Dengan menggabungkan teknologi tersebut, memungkinkan

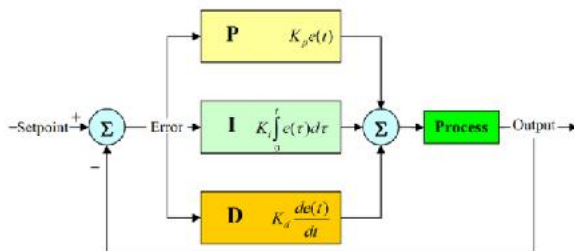
pengoptimalan dari sirkuit logika dan *power* untuk mencapai kinerja terbaik. IC L6234 memiliki rentang tegangan sumber dari 7 V hingga 52 V, dengan arus maksimum hingga 5 A dan frekuensi pengoperasian hingga 150 KHz.



Gbr. 6 Penampakan IC L6234

J. PID

PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah sebuah sistem kendali untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*). Ada 3 jenis komponen pada sistem kendali PID ini, yaitu *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*. Ketiga buah komponen tersebut dapat dipakai bersamaan maupun terpisah, tergantung dari sistem yang akan kita rancang.



Gbr. 7 Blok diagram dari PID

Ada 3 buah tipe kontrol dari PID yang menggabungkan beberapa komponen PID, yaitu kontrol PI, PD, dan PID. PI adalah tipe kontrol yang menggabungkan *Proportional* dan *Integral*. PD menggabungkan *Proportional* dan *Derivative*. Sedangkan PID menggabungkan ketiga komponen tersebut, yaitu *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*.

K. PWM

Pengertian *Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara untuk memanipulasi lebar sinyal yang

dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda.

Kita dapat mengubah-ubah nilai PWM ini menjadi bentuk gelombang tertentu, misalnya gelombang *sinus* saat sistem sedang berjalan. Perlu diingat bahwa yang berbentuk gelombang sinus disini adalah perubahan nilai PWMnya, bukan pulsa PWM itu sendiri, karena pulsa PWM selalu berbentuk kotak. Gelombang *sinus* ini akan dihasilkan dari variasi perubahan PWM yang salah satu caranya adalah melalui pemrograman. Pada *Arduino*, resolusi PWM yang digunakan adalah 8 bit, sehingga nilai PWM yang bisa kita berikan adalah 0-255, dimana 0 = 0% *duty cycle* dan 255 = 100% *duty cycle*. Rumus untuk menghasilkan gelombang *sinus* dari variasi PWM ini adalah:

$$pwmSin[i] = maxPWM : 2 + sin(2.0 \times i : N_SIN \times 3.14159265) \times maxPWM : 2 \quad (6)$$

dimana,

i = urutan komutasi (0-255)

$maxPWM$ = nilai PWM maksimal yang kita inginkan (0-255)

N_SIN = Resolusi PWM 8 bit, yaitu sebesar 256

L. Low Pass Filter

Low Pass Filter digunakan untuk mengurangi *noise* saat pembacaan data dari sensor dan meningkatkan kestabilan sistem. Hal ini karena *low pass filter* dapat menyaring perubahan pembacaan sensor yang pendek yang dapat menyebabkan *noise*. Pada aplikasi pembacaan posisi kemiringan oleh sensor, *low pass filter* ini dirumuskan:

$$sudut = (a \times sudut) + (b \times pembacaan sudut) \quad (7)$$

dimana,

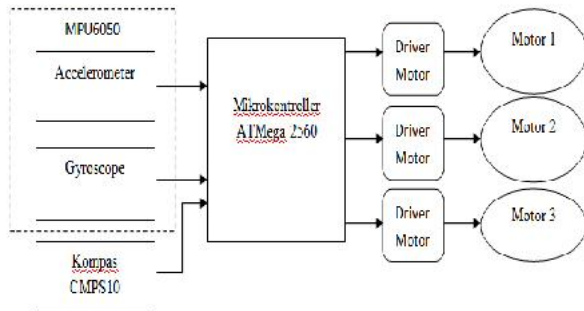
$sudut$ = Pembacaan sudut hasil *low pass filter*
 $pembacaan sudut$ = pembacaan sudut aktual oleh sensor

a dan b = koefisien *filter* (0 - 0,99), koefisien a harus jauh lebih besar dari koefisien b , misalnya $a=0,98$ dan $b=0,02$.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Blok Diagram Sistem

Berikut adalah blok diagram rangkain dari sistem yang akan dibuat:

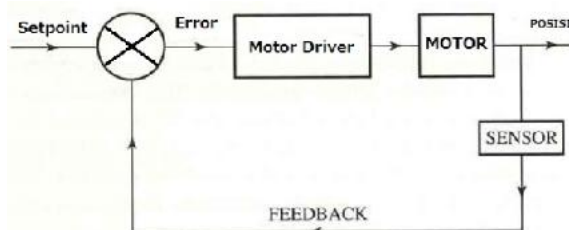


Gbr. 8 Blok diagram sistem

Dari blok diagram dapat kita lihat bahwa pergerakan ketiga buah motor akan dikontrol oleh 2 buah sensor, yaitu MPU6050 yang terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope* serta CMPS10 yang merupakan kompas digital. Perubahan posisi dan kemiringan yang terdeteksi oleh kedua buah sensor ini akan diolah oleh mikrokontroler untuk selanjutnya menjadi parameter untuk menggerakkan 3 buah motor ke posisi tertentu, sehingga posisi kamera akan tetap stabil.

B. Cara Kerja Sistem

Secara umum, cara kerja sistem penstabil kamera ini akan menggunakan sistem kendali *close loop*. Ilustrasi sistem dapat dilihat pada gambar 9.



Gbr. 9 Skema *close loop* sistem

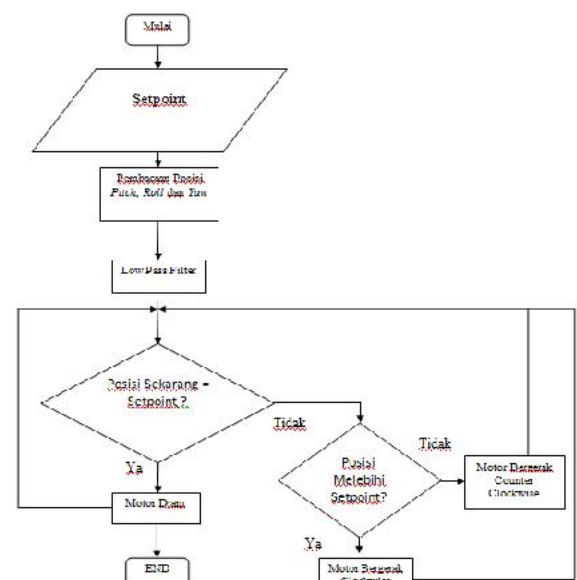
Output yang diharapkan dari sistem ini adalah kestabilan posisi dalam 3 *axis*. Kestabilan posisi didapat dari pembacaan posisi oleh sensor-sensor MPU6050 dan

CMPS10. *Setpoint* merupakan inialisasi posisi awal yang akan distabilkan untuk masing-masing *axis*, posisi ini selanjutnya akan dipertahankan oleh sistem. Motor *driver* berfungsi sebagai antarmuka antara pengendali mikrokontroler dengan motor yang akan dikendalikan, motor *driver* yang digunakan sendiri adalah IC L6234. Sedangkan motor merupakan komponen penggerak yang akan bergerak dan bertahan di posisi *setpoint* yang ditentukan. Motor yang digunakan disini adalah *brushless DC motor*.

Jika *setpoint* sudah ditentukan, sensor-sensor setiap saat akan mendeteksi apakah posisi sesuai dengan nilai *setpoint*. Jika sesuai, maka *feedback* yang dikirimkan tidak akan memiliki *error* dan mikrokontroler akan menahan motor pada posisi tersebut. Jika terjadi ketidaksesuaian, sensor akan mendeteksi dan mengirimkan *feedback* yang berisi besar *error* yang terjadi. *Feedback* ini akan masuk dan diproses oleh Mikrokontroler. Lalu, Mikrokontroler ini akan memerintahkan motor bergerak sesuai dengan kalkulasi *feedback* yang dikirimkan hingga posisi *setpoint* kembali tercapai.

C. Diagram Alir Sistem

Pada sistem penstabil kamera ini, diagram alir sistemnya adalah sebagai berikut:

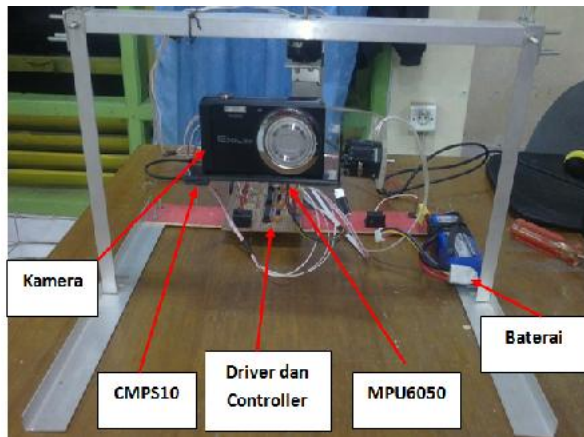


Gbr. 10 Diagram alir sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tampilan Fisik Sistem Keseluruhan

Berikut adalah tampilan fisik sistem keseluruhan:



Gbr 11 Tampilan Fisik Sistem Keseluruhan

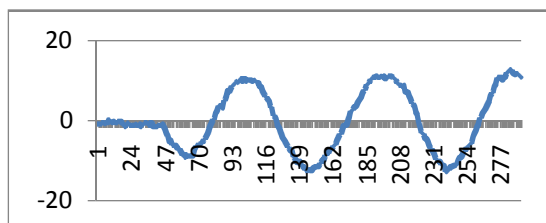
B. Perilaku Respon Sistem

Pada bagian ini akan dilihat mengenai perilaku respon sistem saat mendapat pergerakan, baik pada *pitch axis*, *roll axis*, maupun *yaw axis*. Dari sini, akan diketahui seberapa baik sistem dapat menstabilkan posisi. Penulis menggunakan beban berupa balok kayu sebagai representasi beban kamera dengan berat beban 41,1 gram. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

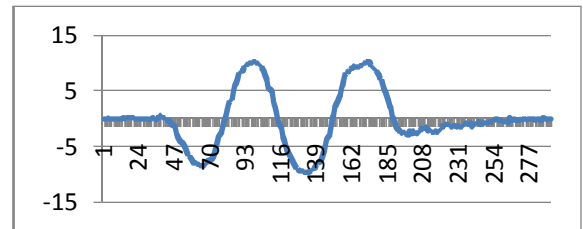
Tabel 3. Data simpangan saat sistem digerakkan pada masing-masing *axis*

No.	Simpangan	Nilai Simpangan		
		Pitch (°)	Roll (°)	Yaw (°)
1	Max	12,72	10,35	13,84
2	Min	-12,82	-9,75	-11,99
3	Rata-rata	6,35	3,587	0,789

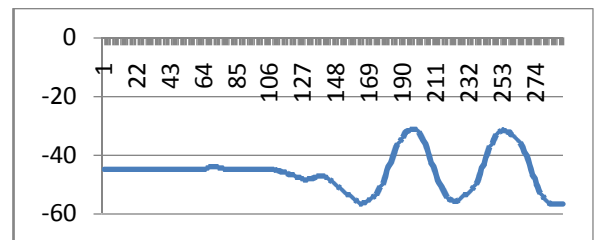
Sedangkan untuk grafik perilaku respon sistemnya dapat dilihat pada gambar 12, 13 dan 14 berikut.



Gbr. 12 Grafik perilaku respon sistem pada *pitch axis*



Gbr. 13 Grafik perilaku respon sistem pada *roll axis*



Gbr. 14 Grafik perilaku respon sistem pada *yaw axis*

Untuk grafik perilaku respon sistem pada masing-masing *axis*, bentuknya sendiri tidaklah datar, melainkan bergelombang seperti grafik *sinus*. Ini menunjukkan bahwa motor mampu mengoreksi posisi kembali pada *setpoint*, namun respon motor sedikit terlambat. Dengan kata lain, motor mampu merespon *error* yang terbaca sensor, namun ada sedikit keterlambatan pada koreksi posisi. Ini disebabkan karena motor baru akan bergerak jika ada nilai *error* dari *setpoint* yang terdeteksi. Sementara nilai *error* yang terdeteksi ini akan terlebih dahulu dikirim dan diolah di mikrokontroler, sehingga membutuhkan waktu. Sehingga ada waktu jeda antara terdeteksinya *error* dari *setpoint* hingga motor bergerak. Motor pun akhirnya tertinggal beberapa derajat dari *setpoint* yang ditentukan. Besarnya ketertinggalan masing-masing motor pun berbeda-beda untuk setiap *axis*nya. Pada *pitch axis*, motor tertinggal $-12,82^\circ$ hingga $12,72^\circ$, pada *roll axis*, motor tertinggal $-9,75^\circ$ hingga $10,35^\circ$, dan pada *yaw axis*, motor tertinggal $-11,9^\circ$ hingga $13,84^\circ$ dari *setpoint* yang telah ditentukan.

C. Pengujian Pengambilan Foto dan Video

Kamera yang digunakan untuk melakukan pengujian pengambilan foto adalah Casio Exilim EX-ZS10. Sedangkan

untuk pengujian pengambilan video, ada dua buah kamera yang digunakan, yaitu Casio Exilim EX-ZS10 dan Nikon Collpix AW120. Karena suatu kondisi yang mengakibatkan pengujian belum dapat menggunakan *quadcopter*, maka pengujian dilakukan dengan cara menggerakkan sistem dengan tangan. Kemudian hasil foto dan video yang diambil menggunakan sistem penstabil kamera dengan yang tidak dibandingkan hasilnya satu sama lain.

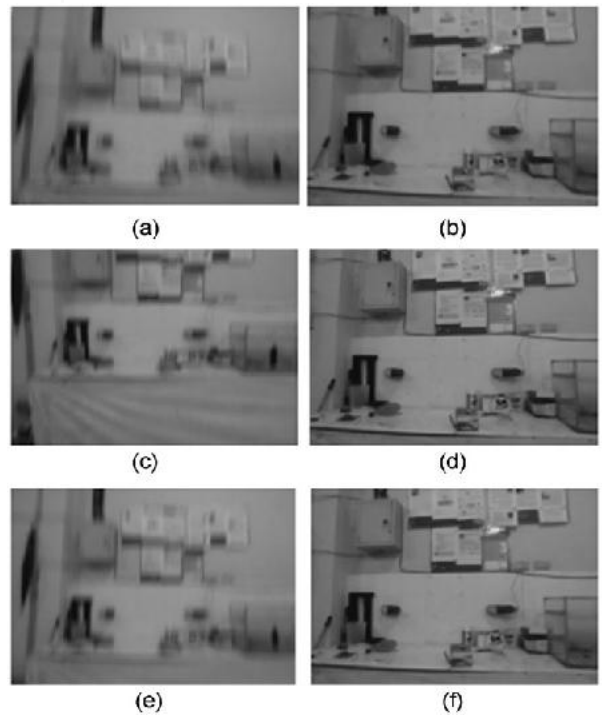
Pada pengujian hasil pengambilan foto dan video, baik yang menggunakan sistem penstabil kamera maupun yang tidak, terdiri dari tahapan-tahapan berikut:

- a. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu Y (*Pitch axis*)
- b. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu X (*Roll axis*)
- c. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu Z (*Yaw axis*)
- d. Pengujian pengambilan foto dan video saat sistem digerakkan pada sumbu X, Y dan Z (semua *axis*)

D. Hasil Pengujian Pengambilan Foto

1) Pitch Axis

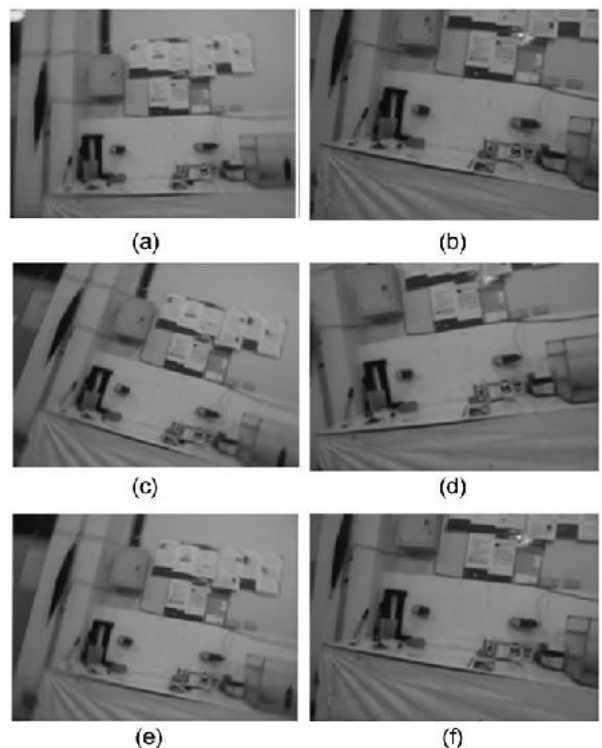
Hasil foto-foto berikut diambil saat sistem digerakkan pada sumbu Y (*pitch axis*).



Gbr. 15 Pengujian pengambilan foto saat sistem digerakkan pada sumbu Y. (a), (c), (e), tidak menggunakan sistem penstabil kamera. (b), (d), (f), menggunakan sistem penstabil kamera

2) Roll Axis

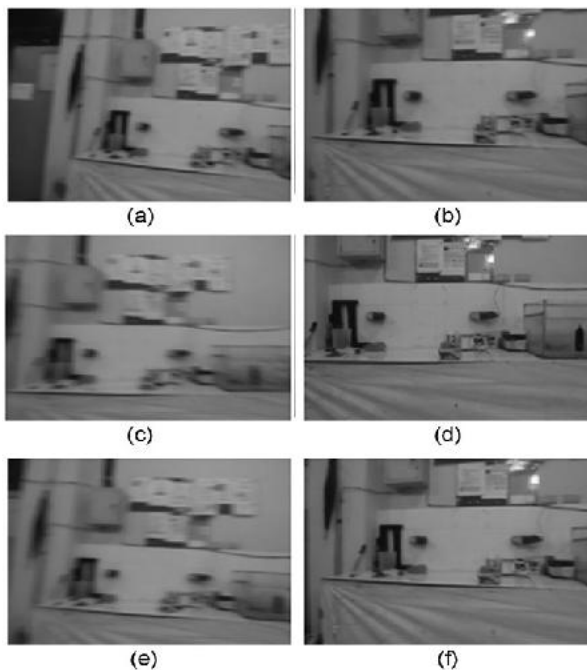
Hasil foto-foto berikut diambil saat sistem digerakkan pada sumbu X (*roll axis*).



Gbr. 16 Pengujian pengambilan foto saat sistem digerakkan pada sumbu X. (a), (c), (e), tidak menggunakan sistem penstabil kamera. (b), (d), (f), menggunakan sistem penstabil kamera

3) Yaw Axis

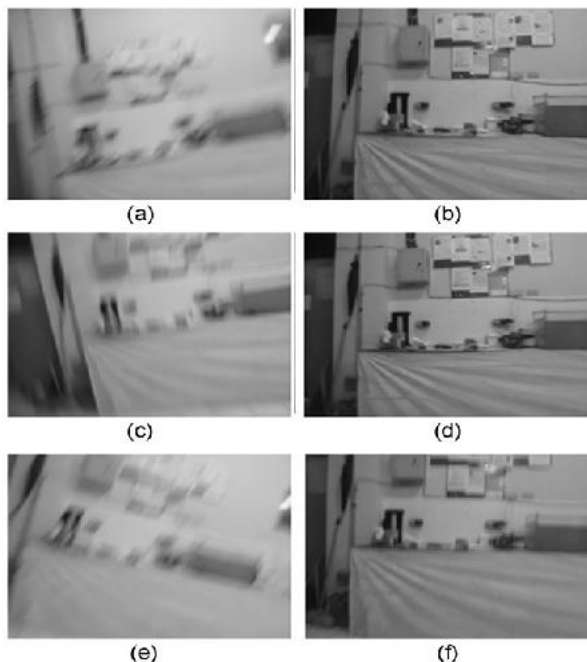
Hasil foto-foto berikut diambil saat sistem digerakkan pada sumbu Z (*yaw axis*).



Gbr. 17 Pengujian pengambilan foto saat sistem digerakkan pada sumbu Z. (a), (c), (e), tidak menggunakan sistem penstabil kamera. (b), (d), (f), menggunakan sistem penstabil kamera

4) Semua Axis

Hasil foto-foto berikut diambil saat sistem digerakkan pada sumbu Y, X dan Z (*pitch, roll dan yaw*).



Gbr. 18. Pengujian pengambilan foto saat sistem digerakkan pada sumbu X, Y dan Z. (a), (c), (e), tidak menggunakan sistem penstabil kamera. (b), (d), (f), menggunakan sistem penstabil kamera

Dari hasil pengujian pengambilan foto, terlihat bahwa sistem penstabil kamera mampu meningkatkan kualitas foto yang dihasilkan. Meski foto yang dihasilkan masih kurang tajam dan ada beberapa sampel foto yang mengalami sedikit *blur*, namun terlihat peningkatan kualitas yang signifikan dibanding dengan tidak menggunakan sistem penstabil kamera. Penyebab masih adanya sedikit efek blur dan kurang tajam pada beberapa hasil foto yang menggunakan sistem penstabil kamera adalah karena tingkat kestabilan sistem yang belum maksimal. Seperti yang dibahas pada perilaku respon sistem, dimana gerakan motor untuk mengoreksi posisi masih sedikit terlambat, sehingga kestabilan sistem kurang sempurna.

E. Hasil Pengujian Pengambilan Video

1) Pitch Axis

Berikut adalah *screenshot* hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu Y (*pitch axis*).



Gbr. 19 *Screenshot* hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu Y (*pitch axis*)

2) Roll Axis

Berikut adalah *screenshot* hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu X (*roll axis*).



Gbr. 20 Screenshot hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu X (*roll axis*)

3) Yaw Axis

Berikut adalah *screenshot* hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu Z (*yaw axis*).



Gbr. 21 Screenshot hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu Z (*yaw axis*)

4) Semua Axis

Berikut adalah *screenshot* hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu X, Y, Z (Semua axis).



Gbr. 22 Screenshot hasil pengujian pengambilan video saat sistem digerakkan pada sumbu X, Y, Z (Semua axis)

Dari hasil pengujian pengambilan video yang dilakukan, terlihat hasil yang sama, baik saat sistem digerakkan pada *pitch axis*, *roll axis*, *yaw axis* maupun semua *axis*. Pada video dari kamera yang tidak menggunakan sistem penstabil kamera, video akan bergerak mengikuti gerakan tangan yang menggerakkan sistem. Jika sistem digerakkan pada *pitch axis*, maka video juga akan bergerak naik dan turun mengikuti gerakan yang diberikan. Jika sistem digerakkan pada *roll axis*, maka video akan bergerak miring kekiri dan ke kanan. Begitu pula saat sistem digerakkan pada *yaw axis*, maka video akan bergerak menghadap ke kanan dan ke kiri. Dan saat sistem digerakkan pada semua *axis*, maka video akan bergerak berputar-putar.

Namun, pada hasil video dari kamera yang menggunakan sistem penstabil kamera, video yang dihasilkan jauh lebih stabil. Saat sistem digerakkan pada *pitch*, *roll*, *yaw* maupun semua *axis*, sistem penstabil kamera mampu menahan posisi kamera berdasarkan *setpoint* yang ditentukan, sehingga goyangan yang terjadi pada video yang dihasilkan dapat diminimalisir. Meski pun terlihat pula dari video yang dihasilkan, masih sedikit mengalami goyangan. Hal ini berhubungan dengan perilaku respon sistem, dimana motor mampu mengoreksi posisi kembali pada *setpoint*, namun respon motor sedikit terlambat. Dengan kata lain, motor mampu merespon *error* yang terbaca sensor, namun ada sedikit keterlambatan pada koreksi posisi. Meskipun masih mengalami sedikit goyangan, namun penggunaan sistem penstabil kamera pada proses pengambilan video mampu meningkatkan kestabilan hasil video secara signifikan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Dari serangkaian penelitian, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan pada sistem penstabil kamera untuk foto udara berbasis

wahana udara quadcopter ini, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Sistem penstabil kamera untuk foto udara berbasis wahana udara *quadcopter* berhasil dibuat menggunakan modul *Arduino Mega 2560*, *brushless DC motor* tiga phasa, Sensor *accelerometer*, *gyroscope* dan kompas digital, dan pemrogramannya menggunakan software *Arduino IDE*
- 2) Penggunaan *low pass filter* dapat mengurangi *noise* dari pembacaan sensor dan meningkatkan kestabilan sistem
- 3) Respon *brushless DC motor* masih sedikit terlambat dalam melakukan koreksi posisi
- 4) Sistem penstabil kamera mampu meningkatkan kualitas pengambilan foto dibanding dengan tidak menggunakannya
- 5) Sistem penstabil kamera mampu meningkatkan kestabilan hasil pengambilan video dibanding dengan tidak menggunakannya.
- 6) Sistem penstabil kamera ini masih belum dapat diterapkan ke wahana *Quadcopter* karena masih berupa *prototype*. Perlu penyempurnaan dari segi desain *frame* dan penyusunan rangkaian elektronik yang lebih ringkas.

B. Saran

Untuk memberikan masukan dan memudahkan dalam penelitian selanjutnya, berikut ini merupakan saran-saran yang perlu diperhatikan:

- 1) Membuat sistem penstabil kamera dengan *brushless DC motor* yang memiliki torsi lebih besar, sehingga dapat menangani kamera hingga kelas DSLR
- 2) Membuat desain *frame* yang lebih ringan dan dapat langsung dipasang ke wahana *Quadcopter*
- 3) Membuat *filter* yang lebih baik lagi untuk *output* sensor agar *noise* dapat dihilangkan
- 4) Membuat GUI (*Graphic User Interface*) sebagai antarmuka user dan sistem untuk keperluan *setting* dan pengamatan variabel-variabel tertentu

- 5) Mengembangkan sistem agar selain dapat menstabilkan otomatis, juga dapat dikendalikan secara manual
- 6) Respon *brushless DC motor* harus ditingkatkan lagi agar kestabilan sistem menjadi lebih baik

REFERENSI

- [1] Alma'i, Vidi R. Wahyudi. Setiawan, Iwan. [t.th]. *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Antono, Djodi. 2012. *Motor DC Brushless Tiga Fasa-Satu Kutub*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- [3] Ali, Muhamad. 2004. *Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Dengan Software Matlab*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- [4] *Accelerometer and Gyro Integration*. <http://www.hobbytronics.co.uk/accelerometer-gyro>. Diakses pada tanggal 2 Juni 2013.
- [5] *Accelerometers*. <http://www.hobbytronics.co.uk/accelerometer-info>. Diakses pada tanggal 2 Juni 2013.
- [6] *Brushless DC Motor Guide*. <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/brushless-dc-motor-guide.php#sthash.XaWcJ2ll.ZaotrxuY.dpbs>. Diakses tanggal 11 Juni 2013
- [7] *Brushless DC (BLDC) motor with Arduino*. 2011. <http://elabz.com/bldc-motor-with-arduino-circuit-and-software/>. Diunggah tanggal 14 November 2011.
- [8] Colton, Shane. 2007. *The Balance Filter*. Chief Delphi White Paper
- [9] *Complementary filter*. <https://sites.google.com/site/myimuestimationexperience/filters/complementary-filter>. Diunggah tanggal 29 Mei 2009.
- [10] *Gyro and Accelerometer Fusion*. <https://sites.google.com/site/controlandelectronics/gyro-and-accelerometer-fusion>. Diakses pada tanggal 4 Juni 2013.
- [11] *PID Control: A brief introduction and guide, using Arduino*. 2011. <http://www.maelabs.ucsd.edu/mae156alib/control/PID-Control-Arduino.pdf>. Diunggah tanggal 26 September 2011.

- [12] Setyono, Arif. Wahyudi. Setiawan, Iwan. [t.th]. *Perancangan Perangkat Lunak Pendeteksi Posisi Benda Dalam 6 Derajat Kebebasan*. Semarang: Universitas Diponegoro
- [13] *Stable Orientation – Digital IMU 6DOF + Arduino*. 2012. <http://bildr.org/2012/03/stable-orientation-digital-imu-6dof-arduino/>. Diunggah tanggal 14 Maret 2013.
- [14] Tandil, Dhanny. Manuel, Ivander S. Wilyanto, Yansen Susanto, Rudi. [t.th]. *Pengaplikasian Kalman Filter Dan Kendali Pid Sebagai Penyeimbang Robot Roda Dua*. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.
- [15] Utama, Rizky Wiguna. [2012]. *Sistem Kendali Holding Position Pada Quadcopter Berbasis Mikrokontroler Atmega 328p*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- [16] Wicaksono, Felix E.W. 2009. *Apa itu Foto Udara?*. Yogyakarta: Badan Perpustakaan dan Arsip Daerah Provinsi DIY.