

LAMPIRAN



LAMPIRAN A
MAKALAH TERKAIT TUGAS AKHIR INI



DESIGN AND REALIZATION OF 2 AXIS GIMBAL USING SENSOR, MOTOR AND BGC BOARD

Aldo Alfandi
00000014189
Teknik Elektro
Universitas Pelita Harapan

Abstrak — Di dalam era teknologi, saat ini media sosial berkembang dengan sangat pesat. Terutama di dalam bidang komersial yang berhubungan dengan video. Penggunaan gimbal menjadi lebih populer di kalangan masyarakat karena banyak perusahaan media maupun brand yang menggunakan gimbal sebagai alat bantu untuk memproduksi video dan gambar yang bagus. Dalam perancangan gimbal menggunakan komponen-komponen seperti sensor MPU6050, brushless motor DC dan Simple BGC board sebagai controller. Penulis ingin mendapatkan output yang minimum dengan angkanya sebesar 0. Pengujian tersebut menggunakan PID control dan pengaturan motor pada GUI Blocks supaya pergerakan motor mulus dan stabil. Gimbal tersebut menggunakan pergerakan 2 axis yaitu sumbu X sebagai *pitch* dan Z sebagai *roll*. Dalam perancangan gimbal ini, penulis menguji 3 kali PID control yang berbeda. Pertama dengan P 3, I 0.1, dan D 8. Kedua adalah dengan P 5, I 0.13, dan D 11. Terakhir adalah dengan P 7, I 0.15 dan D 15. Dalam pengujian ini bisa disimpulkan bahwa tingkat kestabilan yang maximum bisa didapatkan dengan setting PID control yang P 7, I 0.15 dan D 15 dikarenakan setting tersebut mendekati dengan setting default. Maka dengan itu fine tuning PID control harus bergantung dengan spesifikasi motor dan berat kamera supaya mencapai tingkat kestabilan yang maksimal

Kata Kunci — *Gimbal, MPU6050 sensor, servo motor*

I. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat pesat dan berhubungan erat dengan kebutuhan manusia. Dalam hal ini kebutuhan manusia banyak berhubungan dengan barang – barang elektronika, mulai dari kebutuhan rumah tangga sampai dengan alat komunikasi. Seperti yang diketahui bahwa dalam dunia media sosial, sangat diperlukan dengan namanya *advertisement* atau periklanan. Dengan itu digunakan kamera DSLR atau tidak kamera *Mirrorless* dengan bantuan extension Gimbal atau disebutkan sebagai *Stabilizer* dengan tujuan untuk menstabilisasikan pergerakan kamera supaya pergerakan camera dalam

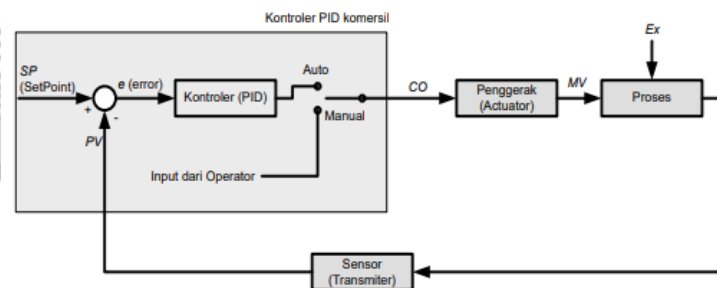
display lebih mulus. Gimbal sudah dipakai dengan berbagai macam iklan – iklan secara international dan digunakan dalam *movie theater* juga. Produksi Gimbal yang terkenal sekarang adalah DJI, Zhiyun dan Moja. Gimbal tersebut menggunakan 3 Axis *Servo* dan *Gyroscope* untuk menstabilisasikan pergerakan motor. Cara kerjanya Gimbal ada tiga pergerakan yaitu yang pertama adalah Panning atau disebut pergerakan melihat secara sumbu X. Kedua adalah Tilting yaitu pergerakan melihat secara sumbu Y. Terakhir adalah *Rotating* yaitu pergerakan yang melihat secara putaran.

II. Landasan teori

Pada bab kedua dijelaskan komponen – komponen yang dipakai dalam Gimbal tersebut. Komponen – komponen yang dipakai adalah sebagai berikut: sensor MPU6050, brushless motor DC, BGC 2.2 MOS 3.2 2 axis board dan baterai LI-PO 2200mAh.

A. Pengukuran PID controller

PID Controller adalah salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan dalam beberapa aplikasi elektronika. Selain itu sistem ini mudah digabungkan dengan metoda pengaturan yang lain seperti Logic Fuzzy dan Robust. Setelah pengaturan terjadi maka suatu sistem bisa menjadi lebih baik yaitu dengan sistem Unity Feedback System. Seperti pada Gambar 2.1 tersebut.



Gambar 2.1 Unity Feedback System

PID controller memiliki transfer function sebagai berikut :

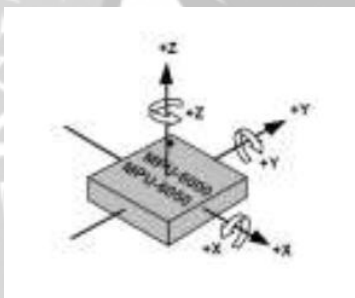
$$u(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_1}{s^3 + K_D s^2 + K_P s + K_1} \dots \dots \dots (1)$$

PID menggunakan 3 jenis cara controller pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P(Proportional) yang bertanggung jawab untuk nilai kesalahan saat ini. D(Derivative) yang bertanggung jawab untuk nilai kesalahan sebelumnya. I(Integral) yang bertanggung jawab untuk kemungkinan nilai kesalahan yang akan datang. Masing-masing controller memiliki parameter tertentu untuk pengaturannya dan masing-masing controller memiliki kelebihan dan kekurangan [2].

B. IMU Sensor

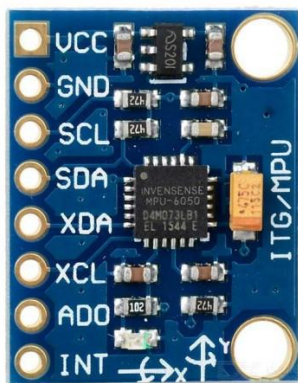
Gimbal 3-axis tersebut terdapat IMU (*Inertial Measurement Unit*) sensor yang mengukur kecepatan, orientasi dan gravitasi melalui *accelerometer* dan *gyroscope*. Sistem IMU sensor biasanya dipakai di dalam sistem pesawat terbang. IMU sensor juga dipakai dalam sistem navigasi seperti platform mobile, *spin-stabilized* pada suara roket, navigasi dalam *automobile* dan *personal navigatog* sebagai komponen utama. [1]

Komponen pertama dalam IMU ini adalah *accelerometer* sensor. Sensor tersebut dipakai untuk mengukur akselerasi sebuah benda dengan mengangkat akselerasi integral pada suatu waktu. Komponen selanjutnya adalah gyro sensor. Sensor tersebut mengukur dan mendeteksi suatu pergerakan melalui gravitasi atau pergerakan user pada projek ini. *Gyroscope* memiliki 3 output *angular velocity* dari pergerakan 3 axis, yang bisa disebut sumbu *yaw* (kanan dan kiri), *pitch* (atas dan bawah) dan *roll* (depan dan belakang) seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Pergerakan six degrees [1]

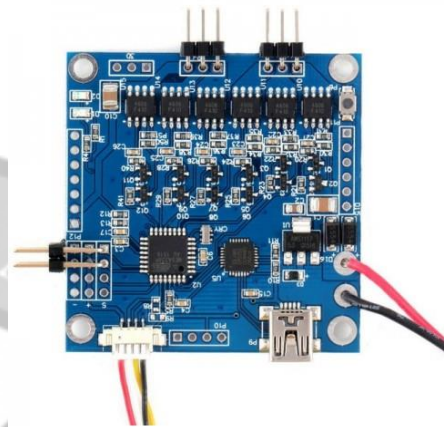
Sensor IMU yang dipakai dalam projek ini adalah sensor MPU6050. Budget untuk sensor tersebut sangat murah dan keunggulan sensor ini memiliki DMP (Digital Motion Processor). Cara kerjanya DMP adalah untuk kalkulasi data lebih akurat dan dapat mengeliminasi error pada sumbu x.



Gambar 2.3 MPU6050

C. BGC 2.2 MOS 3.1 2 Axis Board

BGC board adalah sebuah komponen yang telah terdapat rancangan untuk signal brushless motor dan juga untuk sensor MPU6050. BGC tersebut menggunakan adapter FTDI dan dimulai dengan aplikasi GUI Blocks lewat komputer untuk fine tuning kepada rancangan gimbal yang dibuat.



Gambar 2.4 BGC 2.2 MOS 3.1 2 Axis board

Khusus board BGC tersebut hanya terdapat 2 Axis signal yaitu pitch dan roll. Pada BGC juga terdapat driver CP2102 untuk menggerakkan motor melalui sensor MPU6050.

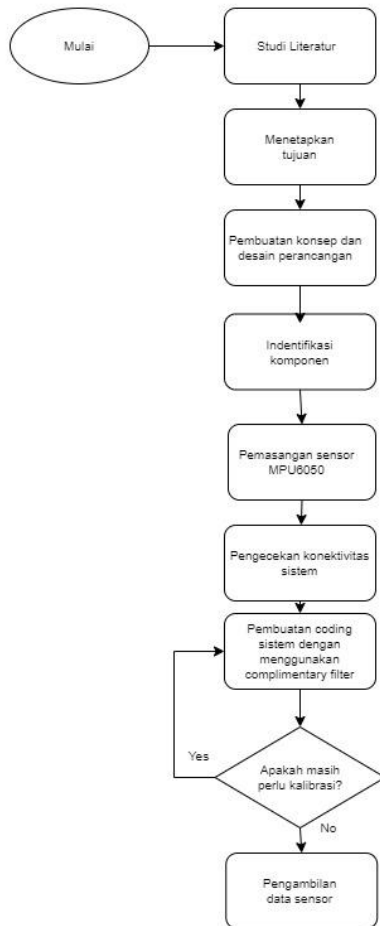
D. Brushless DC Motor

Brushless DC motor termasuk ke dalam jenis motor sinkron. Artinya medan magnet yang dihasilkan oleh strator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Motor tersebut tidak mengalami gangguan yang terjadi pada motor induksi biasanya. Motor tersebut memiliki magnet permanen pada bagian rotor dan elektromagnet pada bagian strator. Dikarenakan motor tersebut bisa dirubah arus elektromagnetnya maka digunakan sebuah rangkaian yang sederhana.

E. Complementary Filter

Dalam Filter tersebut terdapatnya *accelerometer* dan *gyroscope*. *Accelerometer* berkerja dengan memberikan pengukuran sudut yang akurat pada *state* statis. Ketika sistem bergerak maka *accelerometer* dipengaruhi dengan pergerakan gravitasi bumi. Dengan begitu terdapatnya *noise*. Maka dengan itu *gyroscope* membantu dengan pergerakan yang dinamis atau pergerakan yang dipengaruhi dengan gravitasi bumi. Tetapi mendapatkan sudutnya tidak akurat. Dengan itu diperlukan *complementary filter* untuk menghilangkan efek dari kekurangan sensor tersebut.

III. Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart riset

Penelitian ini terdiri dari beberapa langkah seperti studi pustaka, perancangan sistem, pengujian serta pengukuran kemampuan komponen yang akan digunakan.

Setelah melakukan studi literatur dilakukan juga pengujian dan pengukuran pada komponen yang akan digunakan untuk mendapatkan data dan hasil yang mendukung untuk perancangan sistem, seperti pengukuran reaktifitas *Accelerometer* dan *Gyroscope* pada sensor MPU6050.

Penyambungan sensor ke microcontroller sangat penting dikarenakan sensor tidak bisa bekerja hanya sendiri. Setelah menyambungkan sensor dengan Arduino, maka langkah selanjutnya adalah mencoba untuk merancang program yang cocok untuk sensor dan microcontroller tersebut untuk bekerja.

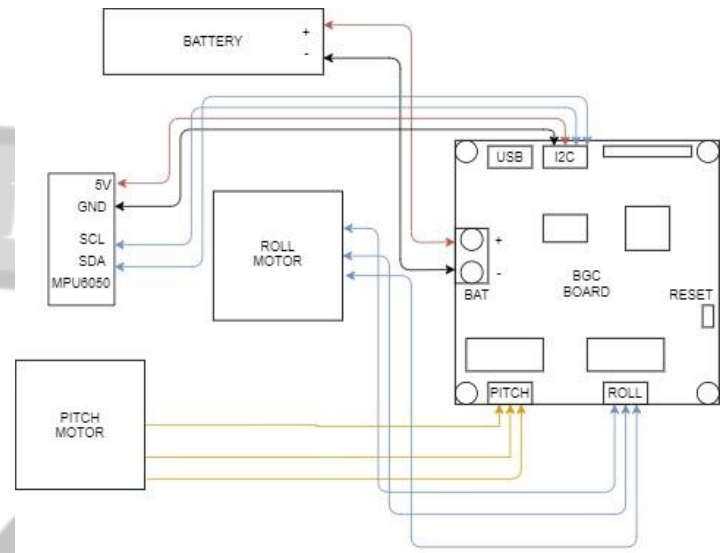
Setelah mencocokkan suatu program yang bisa dijalankan untuk sensor MPU6050, maka tahap selanjutnya adalah untuk mengabungkan servo motor untuk menjalankan atau mempergerakan suatu *set-point* atau suatu posisi. Pergerakan servo motor menggunakan 3 dimensi axis. Dengan itu sensor dan servo motor akan menentukan nilai dari posisi axis x, y dan z.

Menintegrasikan *complimentary filter* kedalam sistem. Dengan menggunakan *complimentary filter*, maka sensor

MPU6050 bisa digunakan secara maksimal. Penggunaan *filter* tersebut menggabungkan cara kerjanya *gyroscope* dan *accelerometer* dalam sensor tersebut. Maka dengan itu, *complimentary filter* perlu digunakan dalam riset ini untuk menggerakan sensor MPU6050.

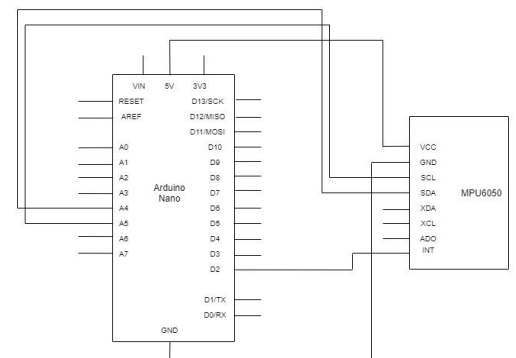
IV. Perancangan Sistem Gimbal 2 Axis

Pada bab ini dijelaskan perancangan sistem gimbal dengan menggunakan sensor MPU6050, brushless motor dan simpleBGC board terhadap pergerakan pengguna. Skema perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Skema sistem gimbal

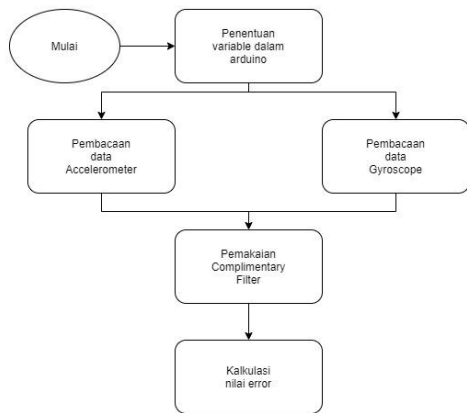
Pada perancangan tersebut sensor MPU6050 adalah sensor yang tidak bisa bekerja sendiri. Karena itu diperlukan Arduino Nano untuk bekerja sebagai microcontroller. Dalam perancangan tersebut tidak diperlukan PCB (Printed Circuit Board) yang khusus menggunakan PCB yang biasa saja. Pada Gambar 4.2 memperlihatkan perancangan sistem tersebut.



Gambar 4.2 Desain konektivitas sensor dengan microcontroller

Untuk sensor MPU6050 sudah cukup dan bisa berjalan sendiri dengan coding dan setting rangkaian gimbal pada Gambar 4.1. Tetapi khusus Gambar 4.2

diperlihatkan dan diperlukan untuk akuisisi data untuk pengukuran pada sistem rangkaian Gambar 4.1. Kunci pada pengukuran alat gimbal tersebut adalah sensor MPU6050 dengan pengambilan data output *accelerometer* dan *gyroscope*.



Gambar 4.3 Flowchart coding sistem

Pertama – tama ditentukan dulu variable dalam coding yaitu variable untuk data accelerometer dan data gyroscope. Seperti pada datasheet MPU6050, telah ditentukan bahwa sensitivitas yang terefektif untuk dipakai dalam sensor tersebut adalah sensitivitas LSB 16384.0 dengan jangkauan skala plus minus 2g yang bisa dilihat pada datasheet MPU6050. setelah itu ditentukanlah nilai axis x, y dan z. Setelah itu maka langkah selanjutnya adalah kalkulasi Roll dan Pitch data data accelerometer.

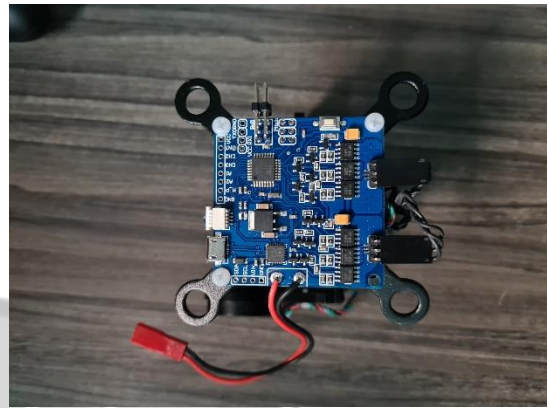
Dilakukan coding yang sama untuk Gyroscope data. Tetapi perbedaannya adalah angka sensitivitasnya Gyroscope terpakai sebesar 131.0. Bisa dilihat pada datasheet sensor MPU6050 bahwa skala jangkauan yang dipakai adalah 250 deg/s. Setelah itu maka output tersebut masih menjadi satuan degrees/s. Maka dengan itu untuk mendapatkan satuan derajat, dikalikanlah dengan waktu untuk mendapatkan satuan derajat.

Disini memakai 96% Gyro sensornya dikarenakan persentase sebesar itu sudah akurat dan tidak terganggu oleh tekanan eksternal yang lain. Tetapi Gyro sensor tersebut memiliki error, maka dengan itu data Accelerometer bisa membantu sebesar 4% untuk mengeliminasi error Gyroscope.

Ada rumus yang ditentukan dipakai pembacaan sebesar 200 kali dan setelah terbaca maka dibagi lagi nilai sebesar 200. Sensor tersebut harus diletakkan secara datar supaya pembacaan bisa lebih akurat dan diekspetasikan output pada coding tersebut adalah nol. Setelah itu maka telah terdapat error rata – ratanya berapa dengan begitu bisa diimplementasikan dengan kalkulasi untuk membaca data Gyroscope dan Accelerometer lebih akurat dengan rumusnya.

Dengan sistem sensor MPU6050 pada Gambar 4.2, maka bisa diimplementasikan cara kerja dan pergerakan *accelerometer*, *gyroscope* dengan *complementary filter* kepada alat gimbal yang ada pada skema Gambar 4.1. Board BGC tersebut akan ditempatkan

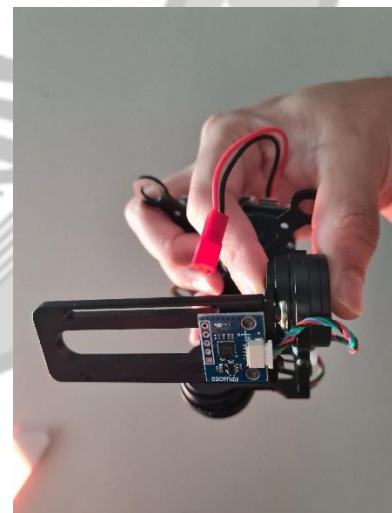
pada badan besi yang sudah dibuatkan, seperti pada Gambar 4.11. Untuk brushless motor dipasangkan kepada tangkai besi yang sudah dihubungkan pada bada besi seperti pada Gambar 4.12 dan untuk sensor MPU6050 dipasangkan pada bawah besi dudukan untuk camera yang bisa dilihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.11 Pemasangan BGC board pada badan



Gambar 4.12 Pemasangan brushless motor pada badan

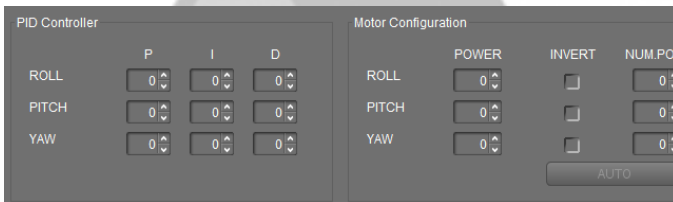


Gambar 4.13 Pemasangan sensor MPU6050 pada badan

V. Analisa Hasil Pengukuran

Pada Bab V dibahas tentang hasil pengukuran dari kestabilan sistem gimbal. Hasil data yang didapatkan ada terdapat pada realtime data aplikasi simpleBGC GUI dan data tersebut dibandingkan untuk mendapatkan tingkat kestabilan yang maksimal

Di dalam rancangan sensor tersebut, terdapatnya 2 sumbu yaitu sumbu x dan z. Pengguna menggerakkan sumbu tersebut pada beberapa derajat tertentu. Variasi derajat tersebut berkisar dari -45 sampai +45 derajat. Kondisi pergerakan motor tersebut adalah ketika sumbu x digerakkan maka sumbu z diam pada 0 derajat dan sebaliknya. Hasil tersebut menunjukkan seberapa reaktif sistem gimbal dan seberapa akurat sensor ketika diberi beban kamera sebesar 118g dengan spesifikasi motor 1800kV. Pada eksperimen tersebut digunakan beberapa tipe konfigurasi motor driver dan beberapa konfigurasi PID controller. Kekuatan motor driver tersebut jika angkanya terlalu kecil maka tidak bisa memberi cukup tenaga untuk motor dan tingkat kestabilan gimbal tidak bisa maksimum. Motor driver tersebut akan diatur 50 dan 100 persen ketika dipasang kepada brushless motor gimbal. Standar setting PID yang telah ditempatkan adalah P 7, I 0,15, dan D 25. Maka dalam eksperimen ini akan diuji apakah settingan PID yang minimal, motor akan tetap stabil atau tidak.



Gambar 5.1 Menu PID Controller dan Motor Configuration

Seperti yang dilihat pada Gambar 5.1, setiap brushless motor *roll* dan *pitch* akan menerima tenaga dari baterai dan data output tingkat kestabilan gimbal bisa didapatkan dari menu realtime data. Pada Gambar 5.2 terdapatnya beberapa tampilan grafik yaitu ACC_X, ACC_Z, GYRO_X dan GYRO_Z. ACC disingkat sebagai accelerometer dan GYRO disingkat sebagai gyroscope. Tampilan tersebut memperlihatkan signal angka reaksi sensor dan motor. Angka ideal yang mau dicapai adalah 0 yaitu kestabilan yang ideal.



Gambar 5.2 Realtime data system gimbal

Angka yang didapatkan pada pengukuran tersebut tidak memiliki satuan. Pada aplikasi GUI Blocks hanya memperlihatkan angka supaya memperlihatkan reaksi sensor dan motor kepada controller BGC dan telah memiliki coding tersendiri. Khusus untuk ACC_Z

ditempatkan pembacaan angka pada angka 500, maka dengan itu pembacaan angkanya melebihi 500 angka. Dengan pengukuran kestabilan motor roll bisa didapatkan beberapa data pada output ACC_Z dan GYRO_Z bahwa rata - rata yang didapatkan bisa dilihat pada Tabel 5.1.

Derajat	ACC_Z	GYRO_Z
0	487 – 500	-2
30	504 – 500	-32
45	477 – 500	-44
-30	505 – 500	37
-45	509 – 500	17
TOTAL RATA - RATA	-3.6	-4.8

Tabel 5.1 Pengukuran ACC_Z dan GYRO_Z pada driver 50%

Derajat	ACC_Z	GYRO_Z
0	509 – 500	4
30	522 – 500	5
45	506 – 500	-2
-30	524 – 500	-12
-45	531 – 500	1
TOTAL RATA - RATA	18.4	-0.8

Tabel 5.2 Pengukuran ACC_Z dan GYRO_Z pada driver 100%

Perbandingan antara dengan output pada ACC_X dan GYRO_X dengan menggunakan motor driver 50% dan 100% bisa dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4. Output tersebut memperlihatkan bahwa dengan motor menggunakan driver 100% mendapatkan angka yang mendekati 0. Maka dengan itu gimbal bisa lebih stabil dengan menggunakan driver 100%.

Derajat	ACC_X	GYRO_X
0	52	3
30	67	1

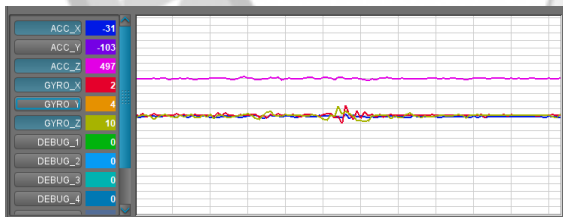
45	57	-15
-30	59	8
-45	55	-3
TOTAL RATA - RATA	58	-1.2

Tabel 5.3 Pengukuran ACC_X dan GYRO_X pada driver 50%

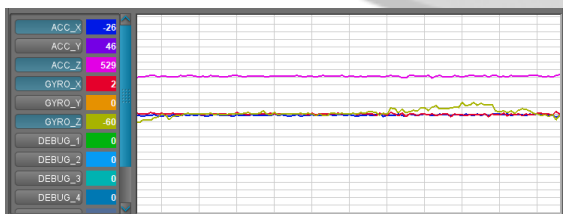
Derajat	ACC_X	GYRO_X
0	-17	12
30	-2	4
45	-14	4
-30	-2	8
-45	1	14
TOTAL RATA - RATA	-6.8	8.4

Tabel 5.4 Pengukuran ACC_X dan GYRO_X pada driver 100%

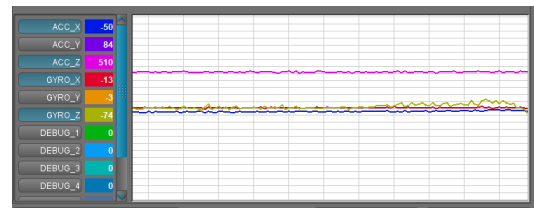
Pada pengukuran tersebut digantikan angka pada setting PID Controller untuk menguji bahwa dengan PID yang minimal bisa mencapai tingkat kestabilan yang minimal supaya tidak mengeluarkan tenaga pada baterai yang lebih dan pergerakan motor tidak *overheat*. P adalah respon terhadap daya, maka dengan itu lebih tinggi angka P maka respon terhadap daya lebih kuat. D berfungsi untuk mengurangi reaksi kecepatan dimana ini membantu untuk tidak mendapatkan frekuensi yang tinggi. I membantu untuk menggerakkan gimbal menjadi netral.



Gambar 5.25 Pengujian P 3, I 0.1 dan D 8 serta driver 75%



Gambar 5.26 Pengujian P 5, I 0.13 dan D 11 serta driver 75%



Gambar 5.27 Pengujian P 7, I 0.15 dan D 15 serta driver 75%

Pada pengujian ini bisa didapatkan konklusi bahwa dengan angka setting PID controller yang minimal, masih terdapat tingkat kestabilan yang baik. Pembacaan accelerometer dan gyroscope tidak memiliki spike yang besar. Tetapi khusus untuk tipe brushless motor tersebut bisa mencapai tingkat kestabilan yang bagus jika setting P 7, I 0.15 dan D 15 serta driver pada 75%.

VI. Kesimpulan

Pada Bab VI dijelaskan secara keseluruhan tugas akhir yang dibuat oleh penulis. Dalam tugas akhir ini, terdapat berbagai macam data output yaitu ACC_X, ACC_Z, GYRO_X dan GYRO_Z. Dalam riset tersebut, data output bisa disimpulkan bahwa dengan menggunakan motor driver 100%, output pada realtime data lebih mendekati angka 0 yaitu titik stabil gimbal yang menggunakan setting PID yang default. Untuk kestabilan alat gimbal memiliki data yang sangat puas untuk diperlihatkan dengan setting P = 7, I = 0.15, D = 15 serta motor driver 75%. Dikarenakan signal yang diberikan oleh sensor MPU6050 dan motor ke BGC board tidak memerlukan daya yang lebih dan dengan bantuin aplikasi SimpleBGC GUI, maka PID dari gimbal bisa mencapai kestabilan yang minimum.

Tugas akhir ini masih bisa dikembangkan lagi dengan dimodifikasi struktur badan gimbal dan menggunakan brushless motor yang lebih kuat lagi untuk bisa menampung bobot beratnya kamera profesional seperti kamera DSLR. Salah satu contoh yang bisa diikuti adalah dari referensi [4], [5] dan [6].

Daftar Pustaka

- [1] A. D. Vamiko, A. Triwiyatno, and B. Setyono, "Sistem Stabilisator Shooting Point Kamera Pada Gimbal 3 Axis Dengan Metoda Fuzzy," *Transient*, vol. 2, no. 2, pp. 225-233, Jun. 2013.
- [2] I. Setiawan, "Kontrol PID untuk Proses Industri" PT Elex Media Komputindo, 2008, pp. 4.
- [3] Datasheet MPU-6050, "MPU-6000 and MPU-6050 product specification revision 3.3," InvenSense Inc, USA, 2018.
- [4] K. Timus, & K. Tamre, "Camera Gimbal Control System for Unmanned Platforms," 7th international DAAAM Baltic Conference, Tallinn, Estonia, Apr. 22-24, 2010, pp. 2-5.

- [5] M. Lewis, "Stabilization, Steering, and Gimbal Technology as it relates to Cinematography," PV-Labs Inc, Toronto, 2012
- [6] D. Rodríguez-Martín, A. Carlos Pérez, López, J. C. Samà, and A. Català, "A *Wearable Inertial Measurement Unit for Long-Term Monitoring in the Dependency Care Area*," *Sensors*, vol. 13, no. 12, 2013.



LAMPIRAN B
PROGRAM ARDUINO



```
#include <Wire.h>

const int MPU = 0x68; // MPU6050 I2C address

float AccX, AccY, AccZ;
float GyroX, GyroY, GyroZ;
float accAngleX, accAngleY, gyroAngleX, gyroAngleY, gyroAngleZ;
float roll, pitch, yaw;
float AccErrorX, AccErrorY, GyroErrorX, GyroErrorY, GyroErrorZ;
float elapsedTime, currentTime, previousTime;
int c = 0;

void setup() {
  Serial.begin(19200);
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0x00);
  Wire.endTransmission(true);
  calculate_IMU_error();
  delay(2000);
}

void loop() {
  //read accelerometer data//
```

```

Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x3B);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU, 6, true);

AccX = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 16384.0; // X axis value
AccY = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 16384.0; // Y axis value
AccZ = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 16384.0; // Z axis value
//Calculate Roll and Pitch from the accelerometer data
accAngleX = (atan(AccY / sqrt(pow(AccX, 2) + pow(AccZ, 2))) *
180 / PI) - 0.58;
accAngleY = (atan(-1 * AccX / sqrt(pow(AccY, 2) + pow(AccZ,2)))
* 180 / PI) + 1.58;

//read gyroscope data//
previousTime = currentTime;
currentTime = millis();
elapsedTime = (currentTime - previousTime) / 1000;
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x43); //gyro data 1st register address 0x43
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU, 6, true);

GyroX = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 131.0; // for a 250
degree/s range
GyroY = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 131.0;
GyroZ = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 131.0;

```

```

// correct the outputs with the calculated error values
GyroX = GyroX + 0.56;
GyroY = GyroY - 2;
GyroZ = GyroZ + 0.79;

// currently the raw values are in deg/s so we need to make it just a
deg value
gyroAngleX = gyroAngleX + GyroX * elapsedTime; // deg/s * s =
deg
gyroAngleY = gyroAngleY + GyroY * elapsedTime;
yaw = yaw + GyroZ * elapsedTime;

//complementary Filter = combine accelerometer and gyro angle
values
roll = 0.96 * gyroAngleX + 0.04 * accAngleX;
pitch = 0.96 * gyroAngleY + 0.04 * accAngleY;

//Print the values on the serial monitor
Serial.print(roll);
Serial.print("/");
Serial.print(pitch);
Serial.print("/");
Serial.println(yaw);

}

```

```

void calculate_IMU_error(){
    // a function to calculate the accelerometer and gyro
    // to read the values the IMU needs to be in a flat surface

    // Read accelerometer 200 times
    while(c < 200) {
        Wire.beginTransmission(MPU);
        Wire.write(0x3B);
        Wire.endTransmission(false);
        Wire.requestFrom(MPU, 6, true);
        AccX = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 16384.0;
        AccY = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 16384.0;
        AccZ = (Wire.read() << 8 | Wire.read()) / 16384.0;
        // sum all readings
        AccErrorX = AccErrorX + ((atan((AccY) / sqrt(pow((AccX), 2) +
        pow((AccZ), 2))) * 180 / PI) - 0.58);
        AccErrorY = AccErrorY + ((atan(-1 * (AccX) / sqrt(pow((AccY),
        2) + pow((AccZ), 2))) * 180 / PI) + 1.58);
        c++;
    }

    // Divide the sum by 200 to get the error value
    AccErrorX = AccErrorX / 200;
    AccErrorY = AccErrorY / 200;
    c = 0;
}

```

```
//read gyro values by 200 times
while(c < 200){
    Wire.beginTransaction(MPU);
    Wire.write(0x43);
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(MPU, 6, true);
    GyroX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
    GyroY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
    GyroZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();
    //sum all readings
    GyroErrorX = GyroErrorX + (GyroX / 131.0);
    GyroErrorY = GyroErrorY + (GyroY / 131.0);
    GyroErrorZ = GyroErrorZ + (GyroZ / 131.0);
    c++;
}
// Divide the sum by 200 to get the error value
GyroErrorX = GyroErrorX / 200;
GyroErrorY = GyroErrorY / 200;
GyroErrorZ = GyroErrorZ / 200;

// Print the error values on the serial monitor
Serial.print(" AccErrorX: ");
Serial.println(AccErrorX);
Serial.print(" AccErrorY: ");
```

```
Serial.println(AccErrorY);  
Serial.print("GyroErrorX: ");  
Serial.println(GyroErrorX);  
Serial.print("GyroErrorY: ");  
Serial.println(GyroErrorY);  
Serial.print("GyroErrorZ: ");  
Serial.println(GyroErrorZ);  
}
```



LAMPIRAN C
SIMILARITY CHECK





UNIVERSITAS PELITA HARAPAN
FAKULTAS SAINS dan TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FORM SIMILARITY CHECK CLEARANCE
UNTUK TUGAS AKHIR

No. Dok. :

Revisi :

Tanggal :

Halaman : 1 dari 1

No.06/TA2-TE/VI/2019/REV-00

Nama mahasiswa : Aldo Alfandi
NIM : 00000014189
Judul Skripsi : Perancangan dan Realisasi Gimbal 2 Axis Dengan Menggunakan *Sensor, Motor Dan BGC Board*

Tahapan Skripsi : TA1 TA2 (centang salah satu)
Dosen pembimbing I : Herman Kanalebe, Ph. D
Dosen pembimbing II : Mario Gracio A. Rizma, MT

Hasil Pengecekan Similaritas

Nama Bab (misal Bab 1, Bab 2, dst.)	Derajat similaritas hasil check dengan Turnitin (%)
Bab 1	8 %
Bab 2	19 %
Bab 3	7 %
Bab 4	13 %
Bab 5	0 %
Bab 6	0 %
Bab 1 – Bab 6	8 %

Catatan:

- Halaman-halaman pengesahan, Daftar Pustaka, Lampiran tidak perlu di-check.
- Print-out resume hasil check Turnitin harap dilampirkan.

Derajat similaritas tertinggi dari tulisan ini: 19 %

Yang bertanda-tangan di bawah ini menyatakan, bahwa terhadap tugas akhir di atas sudah dilakukan pengecekan similaritas dengan menggunakan perangkat lunak Turnitin dengan hasil seperti tertera di atas.

Tangerang, 2 Februari 2021

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Ko-pembimbing,

19Feb 2021

(Herman Kanelebe, Ph. D)

(Mario Gracio A. Rizma, MT)

BAB I PENDAHULUAN.docx

ORIGINALITY REPORT

8%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia Student Paper	4%
2	docjax.com Internet Source	2%
3	ar.scribd.com Internet Source	2%

Exclude quotes On

Exclude matches < 10 words

Exclude bibliography On



BAB II LANDASAN TEORI.docx

ORIGINALITY REPORT

19%	20%	0%	14%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.coursehero.com Internet Source	8%
2	pt.scribd.com Internet Source	8%
3	Submitted to Syiah Kuala University Student Paper	3%

Exclude quotes On

Exclude matches < 10 words

Exclude bibliography On



BAB III RANCANGAN PENELITIAN.docx

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

karil.uui.ac.id

Internet Source

4%

2

repository.usd.ac.id

Internet Source

3%

Exclude quotes On

Exclude matches < 10 words

Exclude bibliography On



BAB IV PERANCANGAN SISTEM GIMBAL2-AXIS.docx

ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

eprints.akakom.ac.id

Internet Source

7%

2

www.slideshare.net

Internet Source

2%

3

repository.its.ac.id

Internet Source

2%

4

lampung-programer.blogspot.com

Internet Source

2%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 10 words



BAB V PENGUKURAN DAN HASIL ANALISIS.docx

ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX

0%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes On

Exclude matches < 10 words

Exclude bibliography On



BAB VI KESIMPULAN.docx

ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX

0%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes On

Exclude matches < 10 words

Exclude bibliography On



LAMPIRAN D
FORM BIMBINGAN





**UNIVERSITAS PELITA HARAPAN SISTEM
PENJAMINAN MUTU INTERNAL**

No. Dok.	FOR03/PRO07/STA05/SPMI-UPH
Revisi	: 02
Tanggal	: 22 Agustus 2016
Halaman	: 1 dari 1

FORM LEMBAR MONITORING BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Aldo Alfandi.....

Nama Dosen Pembimbing/Co-Pembimbing : Herman Kanelebe, Ph.D.
M. Gracio A.R., MT

NPM : 00000014189.....

Program Studi : Teknik Elektro.....

Fakultas : FaST.....

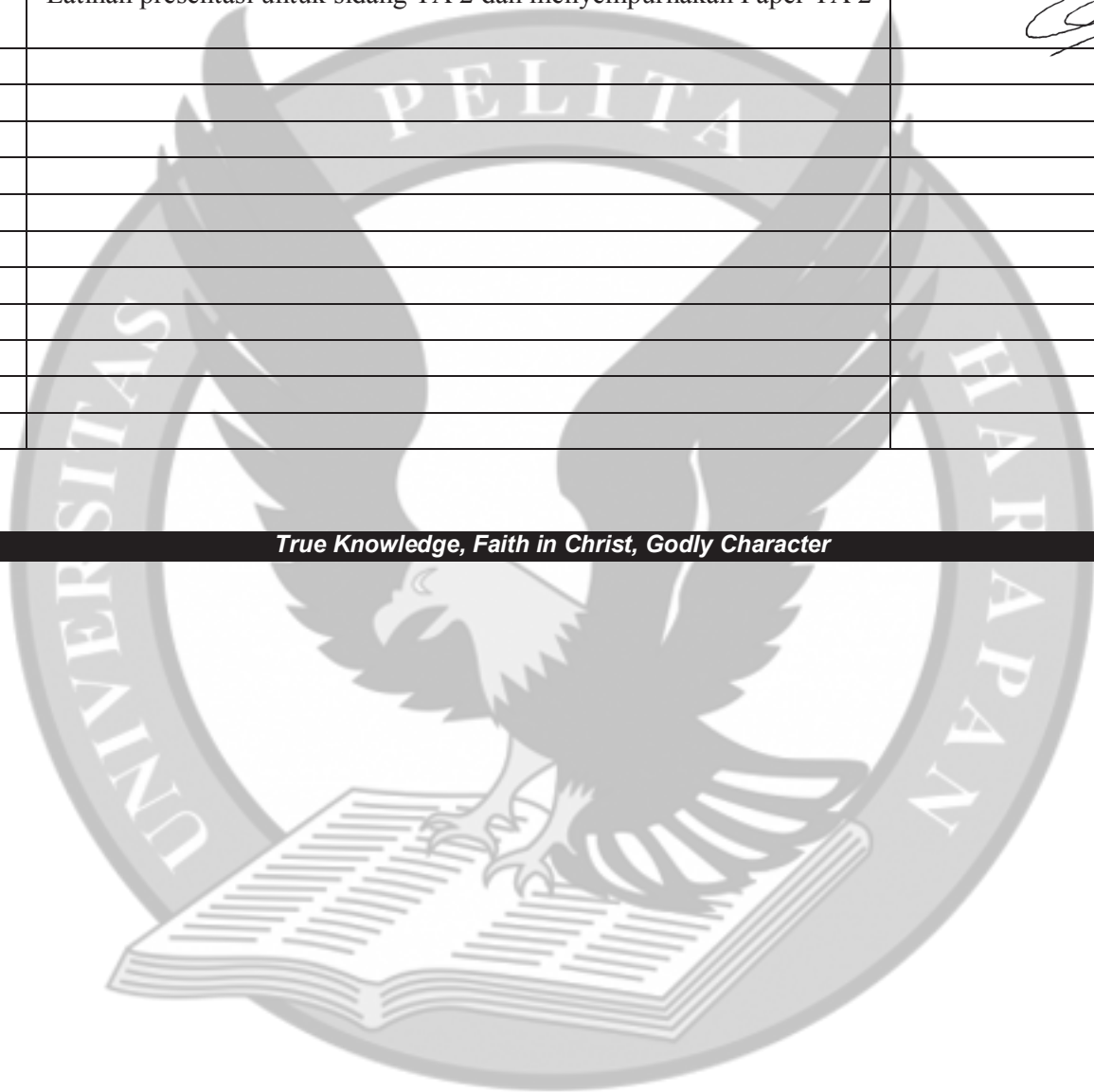
Semester : 13.....

Minggu Ke-	Hari	Tanggal	Materi yang didiskusikan	Tanda tangan Dosen Pembimbing / Co-Pembimbing *)	Catatan
1	Jumat	02-10-20	Update perancangan sensor MPU6050 dan motor brushless		
2	Sabtu	31-10-20	Update perancangan sensor MPU6050 dan motor brushless		
3	Rabu	18-11-20	Update perancangan badan gimbal		
4	Kamis	26-11-20	Update Paper TA 2		} 19Feb 21
5	Kamis	10-12-20	Update Paper TA 2 (Bab I, II, III)		
6	Kamis	07-01-21	Update Paper TA 2 (Bab I, II, III)		
7	Selasa	19-01-21	Update pengambilan data gimbal dan Paper TA 2 (Bab IV, V, VI)		
8	Senin	25-01-21	Update pengambilan data gimbal dan Paper TA 2 (Bab IV, V, VI)		

9	Jumat	29-01-21	Latihan presentasi untuk sidang TA 2 dan menyempurnakan Paper TA 2	<i>Coret</i>	
10	Senin	01-02-21	Latihan presentasi untuk sidang TA 2 dan menyempurnakan Paper TA 2	<i>Coret</i>	

*) Coret yang tidak perlu

True Knowledge, Faith in Christ, Godly Character



LAMPIRAN E

SPESIFIKASI BRUSHLESS MOTOR DC



Description

Description:

- 100% brand new and high quality 1800KV brushless motor
- 14 Pole 12 slot hi- motor design
- High purity copper windings maximizes efficiency
- High RPM ABEC5 oversized bearings
- Stator-super 0.2mm thin laminations
- Precision engineered for maximum energy conversion
- Material: Aluminium alloy

Specification:

- KV(RPM/Volt): 1800KV
- Watt: 250W
- Voltage range: 7-12V
- Max amps: 27A
- IO: 0.8A
- Resistance: 0.097
- Motor size: 28 x 26mm/ 1.10 x 1.02inch
- Staror size: 2208
- Recommended propeller: 8 x 3.8/8 x 4/7 x 5
- Connector: 3.5mm golden banana connector
- Weight: 40.6g

Package Includes:

1 Piece 1800KV Brushless Motor