

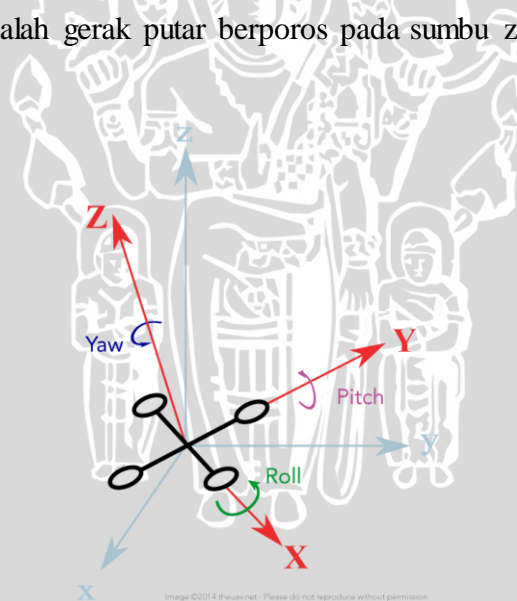
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil dari pengujian sensor MPU 6050, *Electronic Speed Controller* (ESC) dengan Motor *brushless* DC dan pengujian sistem secara keseluruhan dengan parameter pengontrol PID. Analisis ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang pada pembahasan sebelumnya mampu bekerja sesuai perancangan atau tidak dan mengetahui nilai parameter pengontrol PID yang dapat mencapai keadaan *steady state* sesuai *set point*.

#### 4.1 Hasil Pengujian Sensor MPU 6050

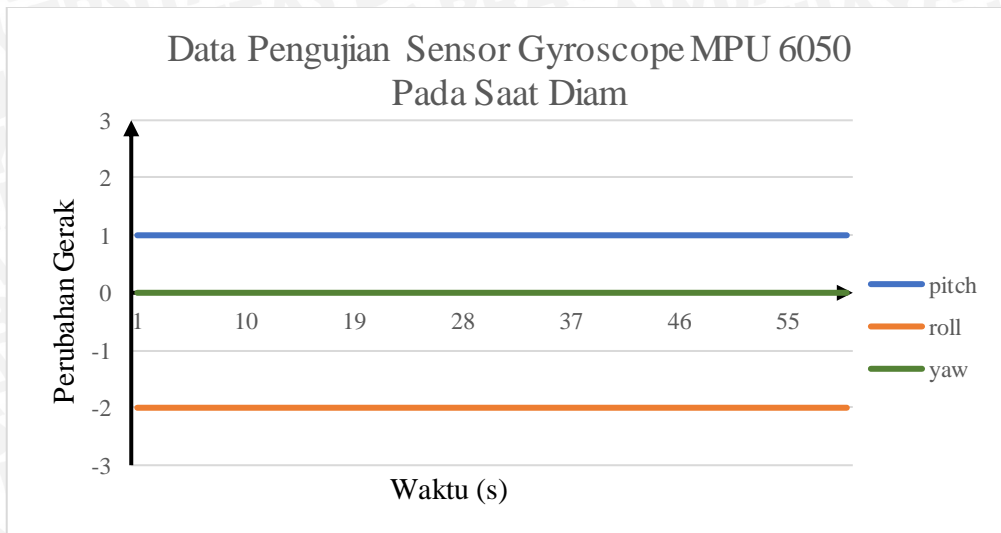
Pengujian ini menghasilkan data mentah sudut yang dibaca oleh sensor *gyroscope* pada 4 kondisi, yaitu saat kondisi diam, saat melakukan gerakan *pitch*, saat pergerakan *roll*, saat pergerakan *yaw*, dan uji sensor akselerometer. Gerak *pitch* adalah gerak putar searah sumbu *y* (arah mendongkak keatas), gerak *roll* adalah gerak putar berporos sumbu *x* (arah mendongkak ke samping), dan gerak *yaw* adalah gerak putar berporos pada sumbu *z* (arah berputar ke kiri dan ke kanan).



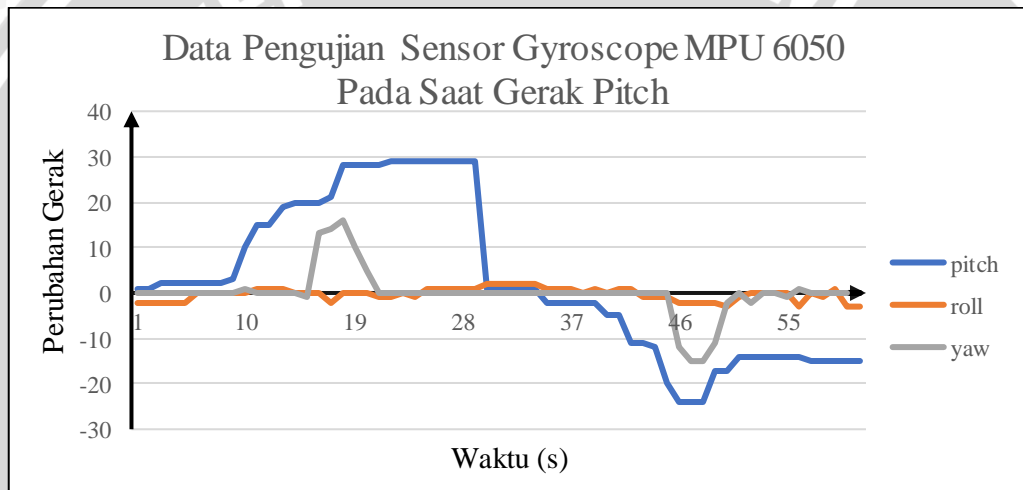
Gambar 4.1 Orientasi pergerakan quadcopter

Sumber : [www.theuav.net](http://www.theuav.net)

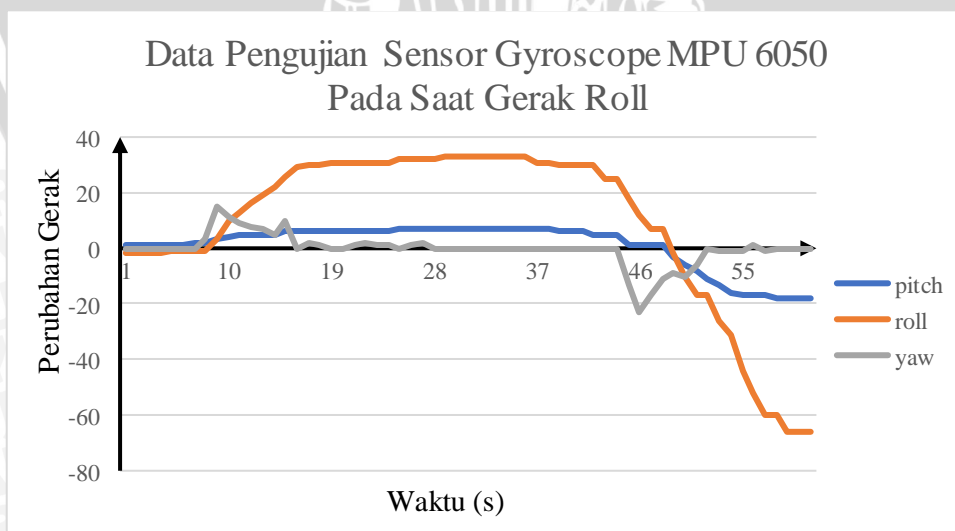
Hasil pengujian data mentah dari sensor GY-521 MPU 6050 pada saat diam ditunjukkan pada gambar 4.2, data mentah sensor pada saat quadcopter melakukan gerakan *pitch*, *roll* dan *yaw* berturut-turut ditunjukkan pada gambar 4.3, gambar 4.4 dan gambar 4.5.



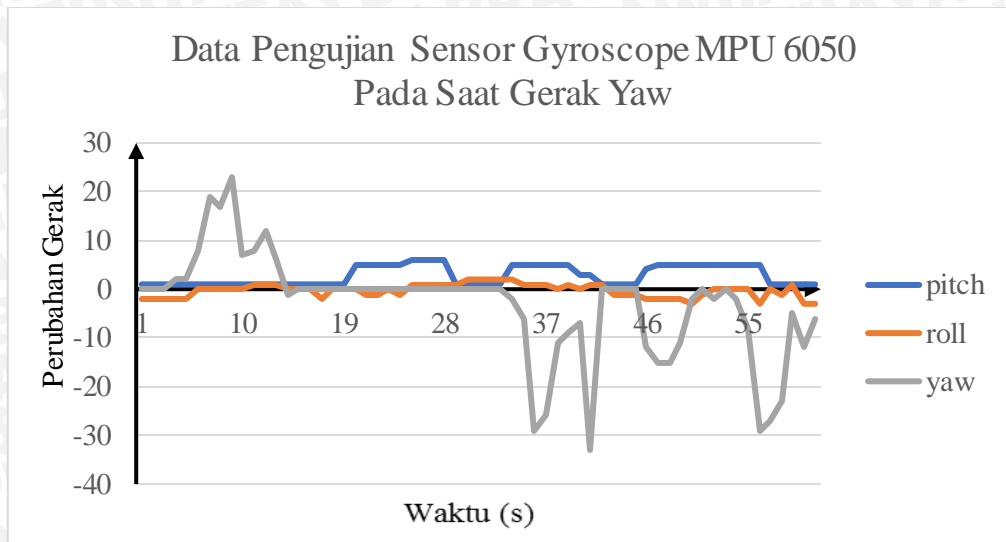
Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian sensor gyroscope pada saat diam



Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian sensor gyroscope saat melakukan gerak pitch



Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian sensor gyroscope saat melakukan gerak roll



**Gambar 4.5** Grafik hasil pengujian sensor gyroscope saat melakukan gerak yaw

Data mentah yang dibaca oleh sensor GY-521 MPU 6050 adalah data kecepatan sudut dalam bilangan bulat yang setiap perubahan  $1^\circ/\text{sekon}$  bernilai 65,5, jadi apabila perubahan nilai yang terbaca oleh *software* Arduino IDE bernilai dari 0 ke 6 maka gerakan yang terjadi adalah  $65,5 \times 6 = 393$  yang berarti sensor MPU 6050 bergerak  $6^\circ/\text{sekon}$ . Nilai dari pembacaan kecepatan sudut sensor untuk setiap sumbu *pitch* (sumbu y), *yaw* (sumbu z) dan *roll* (sumbu x) ketika keadaan diam idealnya adalah nol. Pada saat dalam keadaan diam pembacaan sensor *gyroscope* MPU 6050 cenderung konstan, akan tetapi hasil pembacaan dari *serial monitor* Arduino IDE menunjukkan nilai *pitch* = 1, *roll* = -2 dan *yaw* = 0 (gambar 4.2). Hal ini disebabkan adanya *noise* dari sensor MPU 6050 dan ini merupakan nilai awal sensor *gyroscope* dalam keadaan diam.

Meninjau dari grafik hasil percobaan sensor *gyroscope* yang ditunjukkan pada gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.5, sensor MPU 6050 menunjukkan nilai perubahan pada setiap gerakan tidak memiliki perubahan secara konstan. Ketika salah satu gerakan dilakukan, terdapat gangguan-gangguan yang dihasilkan oleh gerak dari sumbu lain seperti yang dapat dilihat dari grafik. Contohnya pada grafik gerak *pitch* (gambar 4.3), dapat dicermati ketika gerakan *pitch* dilakukan sumbu gerakan *yaw* dan gerakan *roll* tidak berada pada nilai awalnya, akan tetapi mengalami gangguan karena menerima pengaruh dari gerakan dasar yang dilakukan (gerakan *pitch*).

#### 4.2 Hasil Pengujian *Electronic Speed Controller* (ESC) & Motor *Brushless DC* (BLDC)

Data hasil pengujian ESC dan motor BLDC ditunjukkan dalam tabel 4.1 :

**Tabel 4 1** Hasil Pengujian ESC dan motor BLDC

| Duty Cycle (%) | Sinyal Input<br>PWM ke ESC | I <sub>out</sub> ESC<br>(Ampere) | Tachometer<br>(rpm) |
|----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 0              | 1000                       | 0                                | 0                   |
| 5              | 1050                       | 0.25                             | 0                   |
| 10             | 1100                       | 0.58                             | 4300                |
| 15             | 1150                       | 0.77                             | 5900                |
| 20             | 1200                       | 1.03                             | 7102                |
| 25             | 1250                       | 1.32                             | 7934                |
| 30             | 1300                       | 1.49                             | 8707                |
| 35             | 1350                       | 1.82                             | 9070                |
| 40             | 1400                       | 2.1                              | 9409                |
| 45             | 1450                       | 2.27                             | 9690                |
| 50             | 1500                       | 2.5                              | 9835                |
| 55             | 1550                       | 2.86                             | 10011               |
| 60             | 1600                       | 3.53                             | 10200               |
| 65             | 1650                       | 4.1                              | 10305               |
| 70             | 1700                       | 6.38                             | 10392               |
| 75             | 1750                       | 7.14                             | 10461               |
| 80             | 1800                       | 7.59                             | 10523               |
| 85             | 1850                       | 8.6                              | 10594               |
| 90             | 1900                       | 9.81                             | 10633               |
| 95             | 1950                       | 10.53                            | 10792               |
| 10             | 2000                       | 11.6                             | 11000               |

Dari hasil pengujian ESC dan motor BLDC dengan PWM dan tachometer yang ditunjukkan pada tabel 4.1 ditunjukkan bahwa masukan sinyal PWM untuk ESC berbanding lurus dengan I<sub>out</sub> ESC dan RPM motor BLDC, semakin besar masukan sinyal PWM untuk ESC semakin besar pula kecepatan RPM motor BLDC dan I<sub>out</sub> ESC yang dihasilkan.

Kesimpulan dari pengujian ESC didapatkan nilai *gain* dari ESC sebesar :

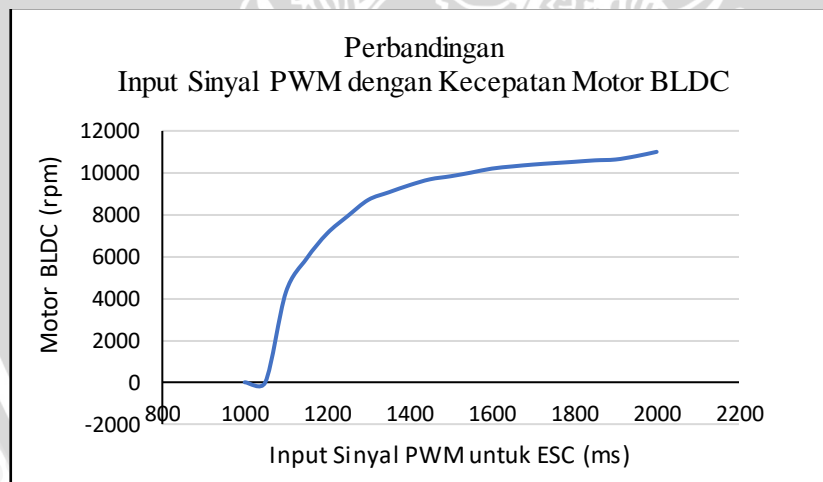
$$m = \frac{I_{out_9} - I_{out_5}}{sinyalPWM_9 - sinyalPWM_5} = \frac{2,1 - 1,03}{1,4 - 1,2} = 5,35 \quad (4.1)$$



Gambar 4.6 Grafik perbandingan sinyal PWM dengan kecepatan motor BLDC

Kesimpulan dari pengujian ini didapatkan *gain* motor sebesar :

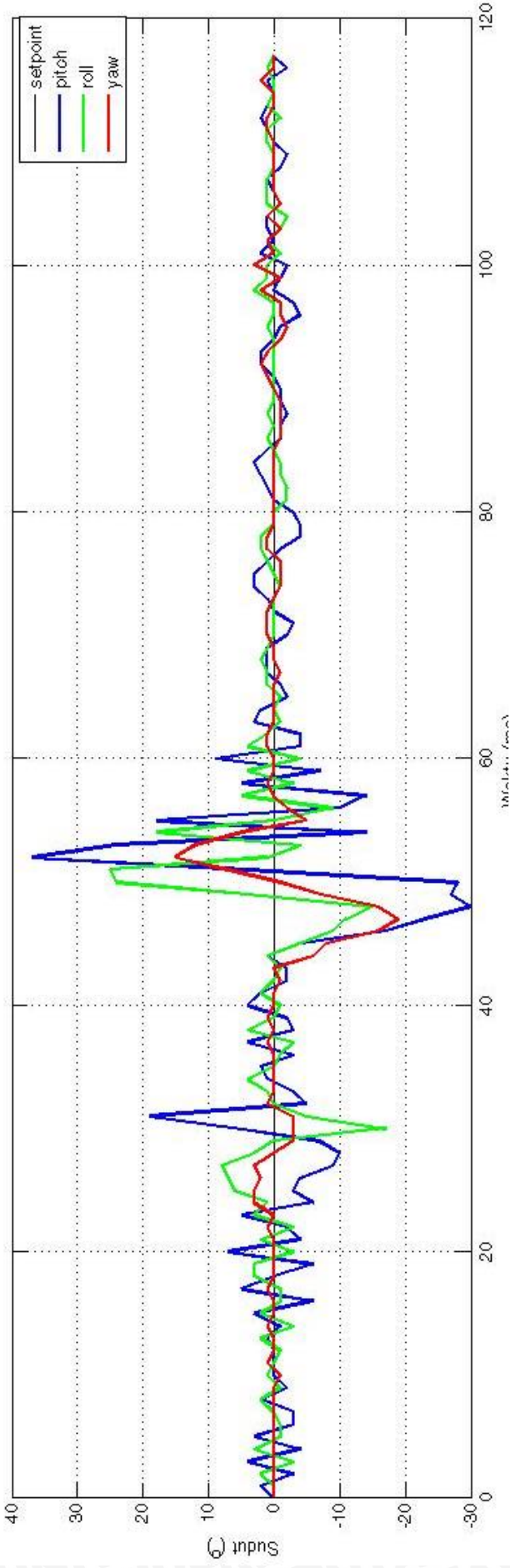
$$m = \frac{rpmMotor_{17} - rpmMotor_{13}}{sinyalPWM_{17} - sinyalPWM_{13}} = \frac{10523 - 10200}{1800 - 1600} = 1,61 \quad (4.2)$$



Gambar 4.7 Grafik perbandingan masukan sinyal PWM dengan I-out ESC

### 4.3 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah respon dapat mencapai keadaan *steady state* sesuai *set point*. Pengujian secara keseluruhan mencakup gerakan dasar horizontal *pitch*, *yaw*, dan *roll* yang dibutuhkan pada saat quadcopter melakukan *hover* di udara dengan *set point* sudut bernilai 0°/s dan nilai  $K_p=1,3$ ,  $K_i=0,03$ , dan  $K_d=15$ .



Gambar 4.8 Grafik respon quadcopter ketika beroperasi



Dari respon yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 disimpulkan bahwa apabila salah satu gerakan dasar terganggu maka akan mempengaruhi gerakan lainnya, sehingga menyebabkan terbang quadcopter tidak stabil. Pada saat quadcopter terbang nilai  $t_s$  (*time settling*) sebesar 60 ms dengan nilai *error steady* 13,94% untuk gerak *pitch*, 10,56 % untuk gerak *roll* dan 13,10 % untuk gerak *yaw*. Dalam grafik hasil pengujian juga menunjukkan *overshoot* sebesar 37,8% pada gerak *pitch*, 39,2 % untuk gerak *roll* dan 19,2 % untuk gerak *yaw*. Selama 60 ms kecepatan sudut respon *pitch*, *roll* dan *yaw* berturut-turut dalam keadaan fluktuatif dari -28°/s sampai dengan 37°/s untuk gerak *pitch*, dari -17°/s sampai dengan 25°/s untuk gerak *roll*, dari -28°/s sampai dengan 37°/s untuk gerak *yaw* namun setelah 60 ms, respon dapat mencapai *set point* dengan kecepatan sudut yang kecil.

