

PERANCANGAN STABILISASI SUDUT ORIENTASI *PITCH* PADA *REMOTELY OPERATED VEHICLE (ROV)* DENGAN METODE KONTROL PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF

Agung Imam Rahmanto^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jalan Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : ir.agung00@gmail.com

Abstrak

Remotely Operated Vehicle (ROV) merupakan jenis robot bawah air yang menyerupai kapal selam. ROV banyak diaplikasikan untuk melakukan suatu kegiatan di bawah laut, *surveillance*, maupun untuk sistem pertahanan dan keamanan. Aplikasi dari ROV yang beragam tersebut membutuhkan sistem yang stabil dan dapat diandalkan untuk menunjang aktivitasnya. Tugas akhir ini merancang suatu ROV yang memiliki sistem kestabilan terhadap pengaruh gangguan pada sudut orientasi *pitch*. Gangguan ini dipengaruhi oleh beban mekanik yang tidak seimbang dan aliran fluida yang mengalir pada ROV. Metode kontrol PID digunakan untuk mengurangi gangguan dan menstabilkan badan ROV pada kondisi datar. Sensor MPU6050 digunakan untuk membaca sudut orientasi *pitch* pada ROV. ROV dikendalikan dengan menggunakan joystick yang berada di permukaan. Input data joystick, pergerakan ROV dan kontrol PID diproses di dalam mikrokontroler ATmega128.

Kata kunci : kontrol PID, MPU-6050, ROV, sudut *pitch*

Abstract

Remotely Operated Vehicle (ROV) is a type of underwater robot resemble of submarine. ROV has many important applications such as to conduct undersea mission, defense and security system. Stable and reliable ROV system are strictly needed to support its purposes. The purpose of this research is to build a ROV which can handle the disturbance of pitch angle. These disturbances are caused by the unbalance center of gravity from the mechanics and the flow of fluid through the ROV. PID control method can be used for reducing the disturbance and stabilizing the ROV. MPU6050 can be used reading the change of pitch angle. Joystick is used to control the movement of ROV. Input from the joystick and the movement of ROV are processed by ATmega128 microcontroller.

Keywords: PID Control, MPU-6050, ROV, angle *pitch*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim terbesar di dunia dengan 2/3 wilayahnya merupakan lautan. Luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km² atau mendekati 75,32% dari total wilayah Indonesia [1]. Dalam menentukan kondisi perairan di Indonesia diperlukan observasi yang melibatkan beberapa peneliti dan penyelam. Namun tidak semua kondisi perairan Indonesia bisa dilakukan penyelaman. Hal ini disebabkan letak Indonesia yang berada di pertemuan patahan lempeng Asia dan Australia menyebabkan kondisi perairan Indonesia cukup berbahaya serta penyelam memiliki keterbatasan tingkat kedalaman yang dapat dicapai [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan dan penggunaan robot bawah

air untuk melakukan observasi serta memanfaatkan sumber daya alam laut Indonesia.

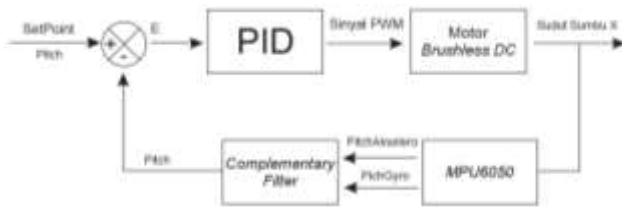
Remotely Operated Vehicles (ROV) adalah kendaraan bawah air yang gerakannya dikendalikan secara langsung oleh manusia melalui *remote control* dari atas permukaan air dan biasanya beroperasi di laut dalam yang dikontrol dari kapal dengan menggunakan *tether*. ROV banyak diaplikasikan baik untuk melakukan suatu misi/kegiatan dibawah laut, *surveillance*, maupun untuk sistem pertahanan dan keamanan. Aplikasi dari ROV yang beragam tersebut membutuhkan sistem yang stabil dan dapat diandalkan untuk menunjang aktivitasnya. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dirancang kestabilan ROV yang dapat mempertahankan posisi tetap datar pada sudut orientasi *pitch* dengan menggunakan metode

kontrol PID serta memanfaatkan sensor MPU6050 untuk membaca perubahan sudut orinetasi *pitch* yang terjadi [3].

2. Metode

2.1. Pengendali PID

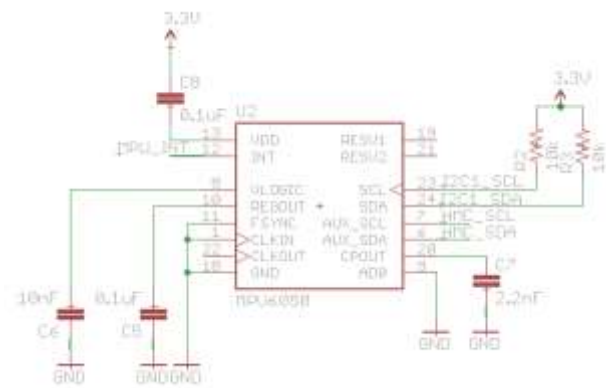
Dalam tugas akhir Stabilisasi ROV dalam Bidang Miring ini menggunakan kontrol PID. Referensi untuk kontrol PID berasal dari sudut kemiringan *Remotely Operated Vehicles (ROV)*. Selisih antara nilai *setting point* dengan sudut kemiringan yang sebenarnya akan dijadikan masukan ke kendali PID. Keluaran dari kontrol PID ini akan digunakan untuk mengatur kecepatan motor *brushless* DC. Penentuan nilai parameter kontrol proporsional (K_p), kontrol integral (K_i), dan kontrol derivatif (K_d) dilakukan dengan cara *trial and error*. Blok diagram pengendalian secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem kontrol *Remotely Operated Vehicles (ROV)*

2.2. Modul MPU 6050 6 DoF IMU

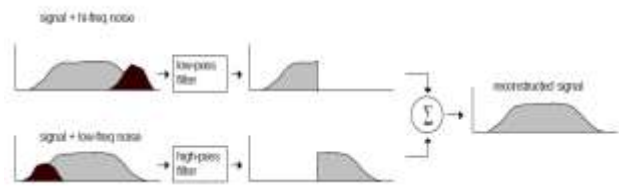
Sensor MPU-6050 merupakan gabungan dari 2 macam sensor yaitu sensor accelerometer dan gyroscope yang diproduksi oleh invensense dengan antarmuka komunikasi I2C. MPU-6050 ini menggabungkan antara accelerometer dan gyroscope di dalam satu board. Sensor ini dapat mendeteksi percepatan dalam 3 axis (x, y, dan z) dan kecepatan sudut dalam 3 axis (x, y, dan z)[4]. Rangkaian MPU-6050 ditunjukkan pada Gambar 2.



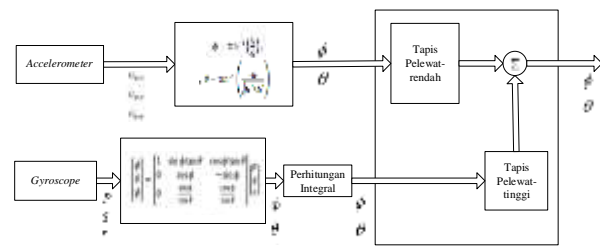
Gambar 2. Rangkaian MPU6050

2.3. Tapis Komplementer

Dua buah masukan yang salah satunya memiliki derau dengan frekuensi tinggi dan dan masukan yang lain memiliki frekuensi derau rendah. Masukan yang memiliki frekuensi derau tinggi ditapis dengan tapis pelewat-rendah, sedangkan masukan yang memiliki frekuensi derau rendah ditapis dengan tapis pelewat-tinggi. Hasil rekonstruksi kedua sinyal yang masing-masing telah ditapis tersebut merupakan variabel yang ingin dibaca tanpa adanya derau yang sebelumnya terasosiasi dengan sensor. Prinsip kerja dan Diagram komplementer ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Prinsip kerja tapis komplementer [5].



Gambar 4. Diagram tapis komplementer pada sudut Orientasi [6].

Perhitungan matematis tapis komplementer ditunjukkan Persamaan 1.

$$\phi = (K_{giroskop}) \times (\phi + \phi_{giroskop} \times dt) + (K_{AksiMag}) \times (\phi_{AksiMag}) \quad (1)$$

2.4. Perancangan Perangkat-Keras

Perancangan perangkat keras pada stabilisasi *Remotely Operated Vehicles (ROV)* meliputi mikrokontroler AVR Atmega128, sensor 9 DoF IMU, *joystick*, *driver* motor ESC-30A, dan rangkaian catu daya menggunakan baterai. Secara umum perancangan perangkat keras sistem kendali dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Perancangan perangkat keras sistem kendali Remotely Operated Vehicles (ROV).

Gambar 5 menunjukkan bahwa data dari joystick akan diproses di komputer dan dikirimkan melalui tether dengan menggunakan komunikasi UART serial (Tx/Rx). Data joystick akan diproses oleh mikrokontroler ATmega128 sebagai input untuk menggerakkan Remotely Operated Vehicles (ROV). Gambar 5 juga menunjukkan komponen-komponen yang digunakan termasuk juga koneksi tiap-tiap komponen kedalam mikrokontroler.

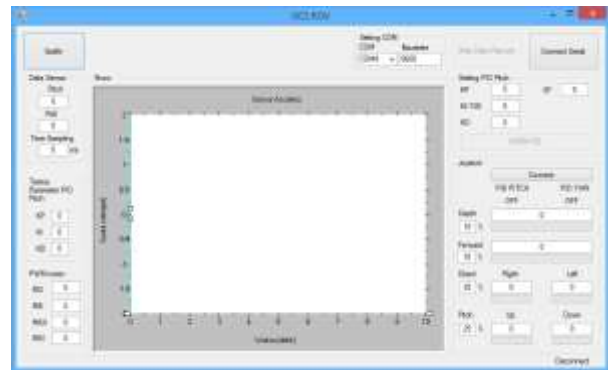
2.5 Perancangan Perangkat-Lunak

Perancangan perangkat-lunak merupakan perancangan algoritma program untuk merealisasikan sistem stabilisasi stabilisasi Remotely Operated Vehicles (ROV) dengan memanfaatkan sensor MPU6050. Perancangan perangkat-lunak pada sistem stabilisasi ROV meliputi dua hal yaitu perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler dan perancangan perangkat lunak pada komputer.

Perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler merupakan perancangan yang dilakukan agar mikrokontroler dapat mengambil, mengolah, mengirim dan menerima data sudut orientasi pitch dari sensor 6 DoF IMU dan Joystick. Data tersebut kemudian di konversi kedalam bentuk PWM motor brushless DC. Perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler dilakukan dengan bahasa C dan menggunakan Integrated Development Environment (IDE) CodeVisionAVR (CVAVR). Perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler meliputi pewaktuan program, perancangan antarmuka dengan sensor, perancangan kecepatan sudut dari sensor giroskop, perancangan pembacaan grafitasi dari sensor akselerometer, perancangan tapis komplementer, perancangan kontrol PID, perancangan pengiriman data serial, dan perancangan motor brushless DC

Perancangan perangkat lunak pada komputer dilakukan agar data orientasi body ROV dari mikrokontroler dapat diterima, diolah dan ditampilkan di komputer. Perancangan perangkat lunak pada komputer dibuat menggunakan IDE Microsoft Visual Studio 2013 dengan bahasa C#. Perancangan perangkat lunak pada komputer terdiri dari perancangan penerimaan data serial, perancangan pengiriman data dari komputer ke Remotely Operated Vehicle (ROV), perancangan pengolahan data

joystick, dan penampilan data joystick dan sudut orientasi. Pengaturan parameter PID juga dilakukan melalui Tampilan GUI. Sudut orientasi ditampilkan menggunakan grafik untuk menganalisis respon sistem yang terjadi pada Remotely Operated Vehicle (ROV). Tampilan GUI ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Tampilan perancangan GU

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Sensor MPU-6050

Sensor MPU-6050 perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik masing – masing sensor. Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan keluaran berupa sudut kemiringan dengan busur derajat secara aktual.

3.3.1. Pengujian Accelerometer

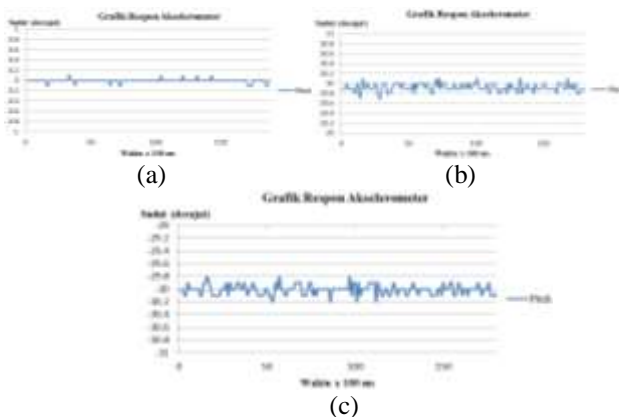
Pengujian terhadap sensor accelerometer dilakukan dengan membandingkan keluaran dari sensor berupa sudut kemiringan yang ditampilkan di grafik dengan busur derajat. Kemampuan sensor ini dalam membaca sudut orintasi pitch mempunyai jangkauan sebesar -90° sampai 90° . Pengujian sudut kemiringan sensor accelerometer dilakukan pada jangkauan 60° sampai -60° dengan kelipatan 10. Data hasil pengukuran yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran sudut kemiringan sensor accelerometer.

Sudut aktual ($^{\circ}$)	Sudut sensor accelerometer ($^{\circ}$)	Error ($^{\circ}$)
60	59,02	0,98
50	49,89	0,11
40	39,86	0,14
30	30,13	-0,13
20	20,04	-0,04
10	10,06	-0,06
0	0,2	-0,2
-10	-10,09	0,09
-20	-20,24	0,24
-30	-29,89	-0,11
-40	-40,25	0,25
-50	-49,69	-0,31
-60	-60,33	0,33

Average Error 0,099

Beberapa nilai sudut kemiringan yang dideteksi oleh sensor *accelerometer* juga ditampilkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan waktu *sampling* 5 ms. Sudut kemiringan yang ditampilkan pada grafik saat bernilai 0°, 30°, dan -30°. Gambar 7 menunjukkan grafik keluaran sensor *accelerometer*.



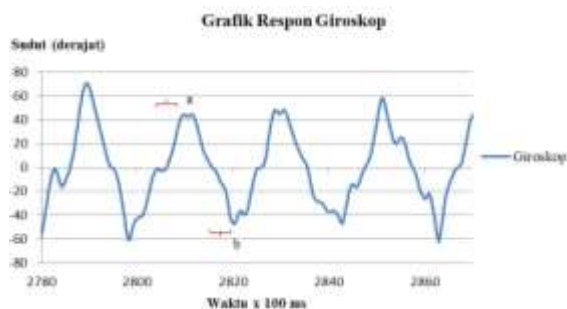
Gambar 7 respon akselero (a) sudut 0° (b) sudut 30° (c) sudut - 30°

3.3.2. Pengujian Gyroscope

Pengujian yang dilakukan untuk sensor *gyroscope* adalah melihat kecepatan sudutnya dalam bentuk grafik. Pengujian sensor *gyroscope* dilakukan saat keadaan diam (tidak berotasi) dan berotasi (searah dan berlawanan arah jarum jam). Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8 Grafik sensor *gyroscope* ketika diam (tidak berotasi).



Gambar 9 Grafik sensor *gyroscope* ketika berotasi.

3.3.3. Pengujian Complementary Filter

Pengujian *Complementary Filter* merupakan pengujian pembacaan sudut orientasi *pitch* yang diperoleh dari sensor MPU6050 dengan menggabungkan keluaran antara sensor akselerometer dan sensor giroskop. Pengujian ini juga membandingkan antara *average error* keluaran sudut orientasi *pitch* dari sensor akselerometer dan keluaran *Complementary Filter*. Data hasil pengujian *Complementary Filter* ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran sudut kemiringan *Complementary Filter*

Sudut aktual (°)	Sudut sensor <i>accelerometer</i> (°)	Error (°)
60	59,12	0,88
50	49,96	0,04
40	39,92	0,08
30	30	0
20	19,98	0,02
10	10	0
0	0,1	-0,1
-10	-10	0
-20	-20,11	0,11
-30	-29,95	-0,05
-40	-40,11	0,11
-50	-49,95	-0,05
-60	-60,2	0,2
<i>average error</i>		0,095

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa hasil keluaran *complementary filter* memiliki nilai *average error* 0,095°. Nilai ini lebih baik dibandingkan nilai keluaran sudut orientasi *pitch* dari sensor akselerometer yang mempunyai nilai *average error* 0,099°.

3.2. Pengujian Sinyal Masukan ESC Terhadap Keluaran Sinyal Joystick

Pengujian sinyal masukan *ESC (Electronic Speed Controller)* terhadap keluaran sinyal joystick dilakukan dengan melakukan pergerakan tuas dan tombol pada joystick sehingga terjadi perubahan sinyal PWM yang masuk pada *ESC (Electronic Speed Controller)*. Gerakan tuas dan tombol pada joystick digunakan sebagai referensi untuk mengatur kecepatan motor *brushless DC*. Pengujian sinyal masukan *ESC* terhadap keluaran sinyal joystick ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian sinyal masukan *ESC* terhadap keluaran sinyal joystick

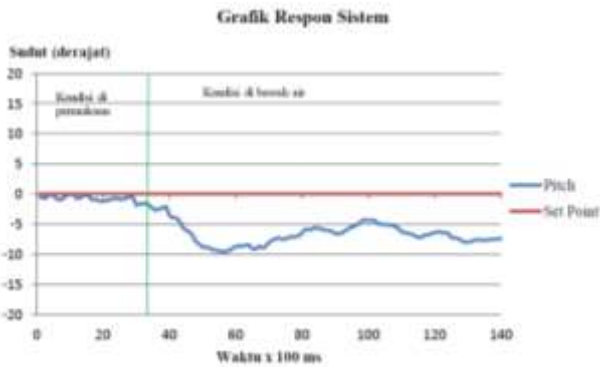
No	Joystick	Out Joystick	Motorkanan	Motorkiri	Motordepan	Motorbekang
1	R2	0	2320	2320	2064	2064
2	R2	6	2320	2320	2112	2112
3	Analog kiri - atas	0	2320	2320	2064	2064
4	Analog kiri - atas	12	2416	2416	2064	2064
5	Analog kiri - kiri	15	2320	2448	2064	2064
6	Analog kiri	14	2440	2320	2064	2064

- kanan

Berdasarkan pengujian pada Tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa motor depan, motor belakang, motor kanan, dan motor kiri memiliki nilai PWM terendah untuk dapat aktif di sekitar nilai 2064, 2064, 2320, dan 2320 serta setiap kenaikan 1 nilai output joystick akan mempengaruhi sinyal PWM yang masuk pada ESC sebesar 8 nilai PWM.

3.3. Pengujian Kontrol *Open Loop*

Pengujian kontrol *open loop* atau tanpa menggunakan umpan balik dilakukan dengan melihat karakteristik respon dari *Remotely Operated Vehicles (ROV)* tanpa adanya pengamatan antara masukan dengan keluaran sistem. Pengujian ini dilakukan untuk melihat karakteristik dasar respon sistem tanpa adanya pengendalian. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 10.

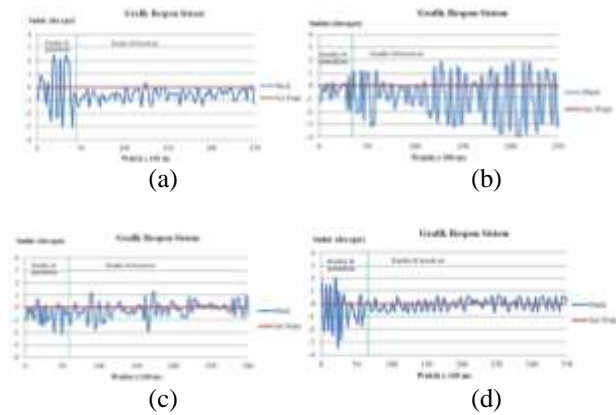


Gambar 10 Grafik respon kontrol *open loop* pada *Remotely Operated Vehicles (ROV)*

Berdasarkan Gambar 10, terlihat jelas bahwa *Remotely Operated Vehicles (ROV)* tidak dapat mempertahankan posisi sudut orientasi *pitch* walaupun tanpa adanya gangguan ketika menyelam. Posisi badan *Remotely Operated Vehicles (ROV)* tidak datar pada 0^0 , hal ini dikarenakan peletakan komponen elektronika yang kurang seimbang antara sisi depan dan sisi belakang sehingga membuat badan *Remotely Operated Vehicles (ROV)* cenderung lebih berat pada salah satu sisi.

3.4. Pengujian Algoritma Kontrol PID

Penentuan nilai parameter kontrol proporsional (K_p), kontrol integral (K_i), dan kontrol derivatif (K_d) dilakukan dengan cara *trial and error* dengan nilai *set point* 0^0 . Pengujian algoritma kontrol PID bertujuan untuk mendapatkan nilai optimal parameter kontrol PID. Pengujian nilai parameter Kontrol PID dan respon sistem *Remotely Operated Vehicles (ROV)* saat menyeimbangkan diri ditunjukkan pada Gambar 1.

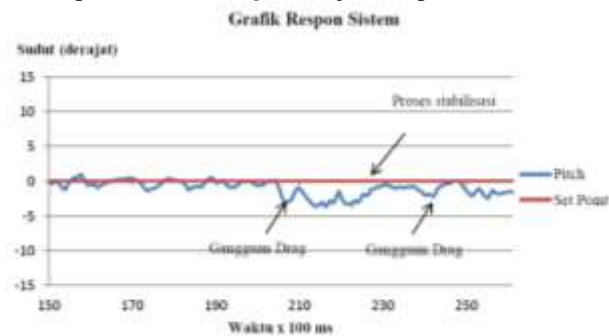


Gambar 11 Respon *Remotely Operated Vehicles (ROV)* dengan nilai parameter (a) $K_p=15$, $K_i=0$, dan $K_d=0$ (b) $K_p=20$, $K_i=0$, dan $K_d=0$ (c) $K_p=15$, $K_i=0,01$, dan $K_d=1$ (d) $K_p=15$, $K_i=0,01$, dan $K_d=5$

Berdasarkan Gambar 11 grafik respon *Remotely Operated Vehicles (ROV)* terhadap perubahan nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d serta pengamatan visual terhadap *Remotely Operated Vehicles (ROV)*, didapat kesimpulan bahwa respon yang terbaik ditunjukkan pada Gambar 4.11 dengan nilai $K_p=15$, $K_i=0,01$, dan $K_d=5$.

3.5. Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* Pada Kondisi *Surge*

Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* pada kondisi *surge* dilakukan dengan pengamatan dan analisa respon sistem keluaran nilai sudut orientasi *pitch* dibandingkan dengan nilai *set point* kondisi datar (0^0) pada saat *Remotely Operated Vehicles (ROV)* digerakkan ke arah depan. Data respon sudut orientasi *pitch* dari sistem pada kondisi *surge* ditunjukkan pada Gambar 12.



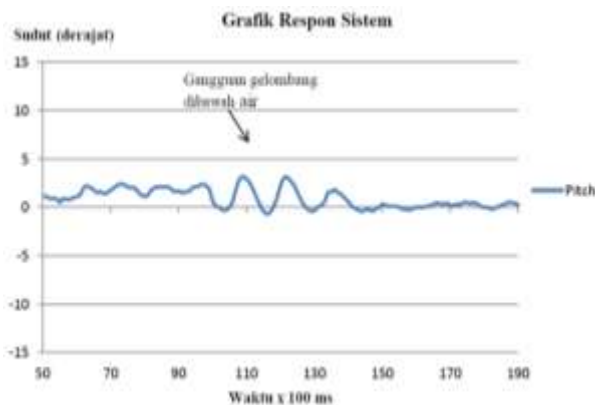
Gambar 12 Grafik respon *Remotely Operated Vehicles (ROV)* pada kondisi *surge*

Berdasarkan Gambar 12 kestabilan sudut orientasi *pitch* *Remotely Operated Vehicles (ROV)* mulai waktu sampling 20 mengalami gangguan pada saat awal pergerakan *surge*, yang awalnya mendekati nilai *set point* 0^0 menjadi sekitar -4^0 . Hal ini terjadi karena pada saat awal pergerakan *surge*

terjadi *drag* pada badan *ROV*. Gangguan tersebut berhasil diredam mulai waktu *sampling* ke 23.

3.6. Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* Pada Kondisi Diam Dengan Gangguan Statis

Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* dengan gangguan statis dilakukan dengan memberi beban sebesar 160 gram pada bagian depan *ROV* untuk melihat respon sistem keluaran nilai sudut orientasi *pitch* dibandingkan dengan nilai *set point* kondisi datar (0^0). Data respon sudut orientasi *pitch* dari sistem pada gangguan statis ditunjukkan pada Gambar 13.

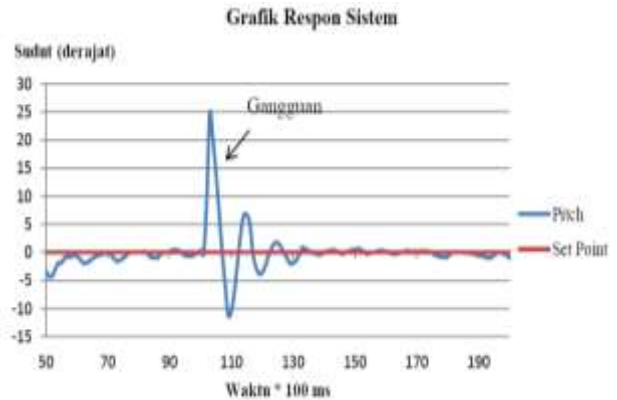


Gambar 13 Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* saat diberi beban.

Berdasarkan Gambar 13 terlihat bahwa pada waktu *sampling* 100 terjadi sedikit gangguan pada sudut orientasi *pitch* hingga mencapai 3^0 . Kemudian mulai berangsur mendekati nilai *set point* pada waktu *sampling* 130.

3.7. Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* Pada Kondisi Diam Dengan Gangguan Dinamis

Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* dengan gangguan dinamis dilakukan dengan memberi gangguan pada sudut orientasi *pitch* untuk melihat respon sistem keluaran nilai sudut orientasi *pitch* dibandingkan dengan nilai *set point* kondisi datar (0^0). Data respon sudut orientasi *pitch* dari sistem pada gangguan dinamis ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Pengujian *Remotely Operated Vehicles (ROV)* saat diberi gangguan

Berdasarkan Gambar 14 kestabilan sudut orientasi *pitch Remotely Operated Vehicles (ROV)* mulai waktu *sampling* 100 mengalami gangguan. Nilai gangguan sudut orientasi *pitch* mencapai 25^0 . Gangguan tersebut berhasil diredam mulai waktu *sampling* ke 130 dengan *rise time*(*Tr*) 1 detik dan *settling time*(*Ts*) 3 detik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa pembacaan sudut orientasi *pitch* oleh MPU6050 dengan menggunakan *complementary filter* menghasilkan nilai *average error* sebesar $0,095^0$ sedangkan tanpa menggunakan *complementary filter* nilai *average error* sebesar $0,099^0$. Nilai parameter kontrol PID yang paling optimal untuk *ROV* ini adalah $K_p = 15$, $K_i = 0,01$ dan $K_d = 5$. Pengujian *ROV* pada kondisi *surge* menghasilkan gangguan kemiringan sudut orientasi *pitch* mencapai -4^0 dan dapat kembali stabil pada setpoint dalam waktu 3 detik. Pengujian juga dilakukan dengan penambahan beban 160 gram pada bagian hidung *ROV*. Pada kondisi ini *ROV* masih dapat menjaga kestabilan pada posisi datar. Sedangkan pada pengujian pemberian gangguan dinamis pada hidung *ROV*, gangguan tersebut menghasilkan kemiringan mencapai 25^0 dan dapat stabil pada kondisi datar dengan *reset time* (*tr*) 1 detik dan *settling time* (*Ts*) 3 detik.

Referensi

- [1].Kkp, "Data Pokok Kelautan dan Perikanan 2009," 2009.
- [2].Anam, Hujjatul, Simulasi dan Analisa Dinamika *Remotely Operated Vehicle (ROV)*, Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang, 2014
- [3].Cahyo, Bambang Nur, *Self-Balancing Scooter* Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral Derivatif, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2013
- [4].-----, MPU-6050 3-axis accelerometer + 3-axis gyroscope Module Data Sheet, <https://www.olimex.com/Products/Modules/Sensors/MOD->

MPU6050/resources/ RM-MPU-60xxA_rev_4.pdf , Agustus 2015.

- [5].P. C. Glasser, "An Introduction to the Use of Complementary Filters for Fusion of Sensor Data," 1997.
- [6].S. Colton, "The Balance Filter," *Chief Delphi white Pap.*, p. 20, 2007.