

PENGONTROLAN KESTABILAN SISTEM KONTROL SUDUT ORIENTASI YAW MENGGUNAKAN METODE KONTROL PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF (PID) PADA REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE (ROV)

Azka Hariri^{*)}, Iwan Setiawan dan Sudjadi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

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

Abstrak

Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) merupakan robot bawah air yang memiliki bentuk seperti kapal selam yang dioperasikan dengan menggunakan remote control. ROV memiliki fitur seperti sumber tegangan, sistem kontrol, sistem navigasi dan sistem penggerak. Permasalahan yang dihadapi terkait pemanfaatan ROV adalah kestabilan ROV terhadap gangguan dinamis. ROV memiliki persamaan kinematika dan dinamis yang multivariable dan tidak linear dipengaruhi oleh gangguan gaya hidrostatis dan hidrodinamis yang tidak diketahui pada ROV, sehingga sulit dimodelkan. Maka dari itu, ROV diberikan sistem kontrol PID untuk mengurangi gangguan dan menstabilkan ROV. Sensor MPU6050 dan HMC5883L digunakan untuk membaca sudut orientasi *yaw* pada ROV. Parameter PID diberikan dengan metode trial and error sedangkan keluarannya sinyal PWM yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor BLDC. Berdasarkan hasil pengujian didapat bahwa kontrol PID dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 5$ mampu mempertahankan posisi ROV dalam kondisi *yaw* 0° . Saat hidung ROV diberi gangguan dinamis dengan kemiringan mencapai 25° , sistem mampu mengembalikan pada kondisi datar dengan rise time (T_r) 1 detik dan setting time (T_s) 3 detik. Pada pengujian kondisi surge kemiringan mencapai -4° dan ROV dapat mengembalikan pada kondisi datar dalam waktu 3 detik.

Kata kunci: Remotely Operated Underwater Vehicle, PID, Sensor IMU MPU-6050, HMC5883L, Yaw

Abstract

Remotely operated underwater vehicle (ROV) is underwater robot that looks like a submarine operated by remote control. ROV has feature such as power supply, control system, navigation system, and propulsion. The problem encountered related to the use ROV is stability from dynamic disturbance. ROV has kinematic equation and multivariable dynamic non-linear influenced by disturbance generated by unknown hydrostatic force and hydrodynamic force to ROV, hence it is difficult to model. So, PID method used to reduce disturbance and stabilize ROV. MPU6050 and HMC5883L can be used reading the change of yaw angle. PID parameters are error and Δ error while the output is PWM signal that used to control speed of BLDC motor. Results showed that PID control with parameter value of $K_p = 15$, $K_i = 0.01$, and $K_d = 5$ has successfully the ROV in flat position. When the nose of ROV got a dynamic disturbance with 25° slope, the system returned to flat condition with rise time (T_r) 1 second and settling time (T_s) 3 seconds. When the surge test was given up to -40° slope, the ROV was able to return to the flat condition in 3 seconds.

Keywords: Remotely Operated Underwater Vehicle, PID, Sensor IMU MPU-6050, HMC5883L, Yaw

1. Pendahuluan

Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) adalah sebuah robot bawah air yang memiliki bentuk menyerupai sebuah kapal selam dan dioperasikan dengan menggunakan *remote control* dari jarak jauh. ROV sangat berguna dalam melaksanakan tugas-tugas bawah air [1] terutama perairan yang sangat dalam dan berbahaya bahkan tidak mungkin dilakukan oleh manusia [2-4]

seperti eksplorasi sumber hidrotermal, pengawasan dan maintenance pipa bawah laut, konstruksi dan instalasi *marine platform*, eksplorasi dan studi habitat laut serta operasi militer seperti pengintaian dan penyelidikan. ROV memiliki rancangan mekanika yang tidak beraturan serta memiliki persamaan kinematika dan dinamis yang multi variabel dan sangat tidak linier [5]. Ditambah dengan beberapa faktor lain seperti gangguan yang dihasilkan dari gaya hidrostatis dan hidrodinamis terhadap ROV,

sehingga sangat sulit untuk dimodelkan [6] dan diperlukan usaha lebih untuk menentukan suatu metode kontrol yang cocok [7]. Simulasi dan aplikasi kontrol pada ROV yang sedang dikembangkan diantaranya untuk mengontrol kestabilan saat *cruising*, kontrol kedalaman, mengatur sudut arah gerakan dan sebagainya [8][9]. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya [10] tidak dilengkapi dengan kontrol sudut orientasi *yaw* sehingga *body* ROV tidak stabil. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini lebih difokuskan kepada pengontrolan sudut orientasi *yaw* ROV dengan menggunakan metode PID. Pengujian dilakukan terhadap *prototype* ROV secara langsung dengan diuji berdasarkan sudut kestabilan ROV pada 0° dan uji terhadap gangguan. Hasil dan analisis percobaan akan dibahas dalam bagian tertentu makalah ini.

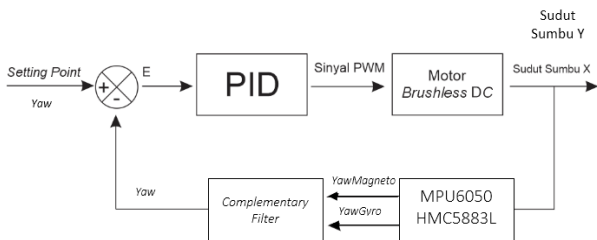


Gambar 1. *Prototype* ROV

2. Metode

2.1. Pengendali PID

Dalam Penelitian 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 *proportional* (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 2.



Gambar 2. 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.



Gambar 3. MPU-6050

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).

2.3. Modul HMC5883L

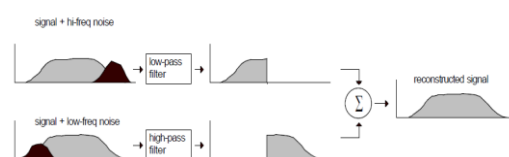
HMC5883L adalah sensor magnet terkemas dalam *surface mount 3.0x3.0x0.9 mm 16-pin leadless chip carrier (LCC)*. HMC5883L tersusun atas sensor resistif magnet beresolusi tinggi, penghilang *offset* dan ADC 12-bit untuk pengukuran medan magnet bumi dengan resolusi tinggi. Menggunakan teknologi *anisotropic magneto-resistive (AMR)* Honeywell, HMC5883L menyediakan kepresisian lebih pada sensitifitas dan linieritas sumbu dan dirancang untuk mengukur kedua arah dan medan magnet bumi [11].



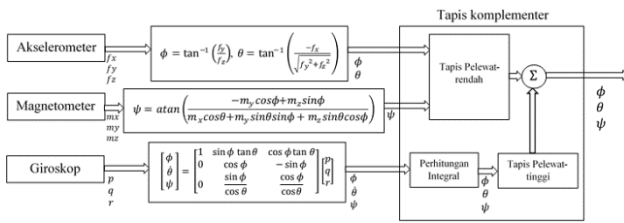
Gambar 4. HMC5883L

2.4. 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 [12]. Prinsip kerja dan Diagram komplementer ditunjukkan pada Gambar 5. dan Gambar 6..



Gambar 5. Prinsip kerja tapis komplementer [12].



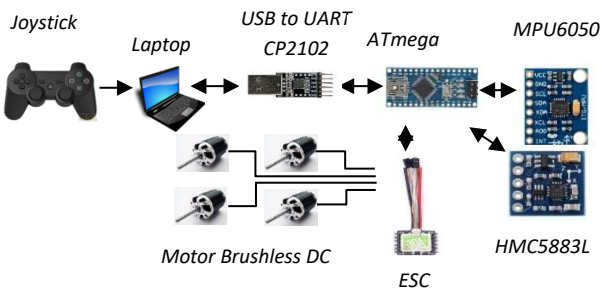
Gambar 6. Diagram tapis komplementer pada sudut Orientasi [12].

Perhitungan matematis tapis komplementer ditunjukkan Persamaan 2.

$$\phi = (K_{giroskop}) \times (\phi + \dot{\phi}_{Giroskop} \times dt) + (K_{AkslMag}) \times (\phi_{AkslMag})$$

2.4. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan Elektronika pada stabilisasi ROV meliputi mikrokontroler ATmega328P, sensor MPU6050, joystick, driver motor ESC 30A, dan rangkaian catu daya menggunakan baterai. Secara umum perancangan perangkat keras sistem kendali dapat dilihat pada Gambar 7.



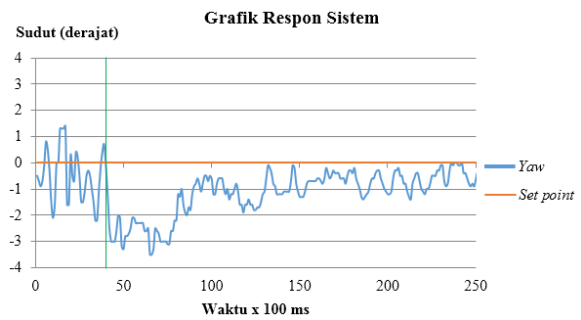
Gambar 7. Ilustrasi perancangan komponen penyusun perangkat keras sistem kendali ROV

Data dari joystick akan diproses di komputer dan dikirimkan melalui tether (kabel) dengan menggunakan komunikasi UART serial (Tx/Rx). Data joystick akan diproses oleh mikrokontroler ATmega328P sebagai input untuk menggerakkan ROV. Gambar 7. juga menunjukkan komponen-komponen yang digunakan termasuk juga koneksi tiap-tiap komponen ke dalam mikrokontroler.

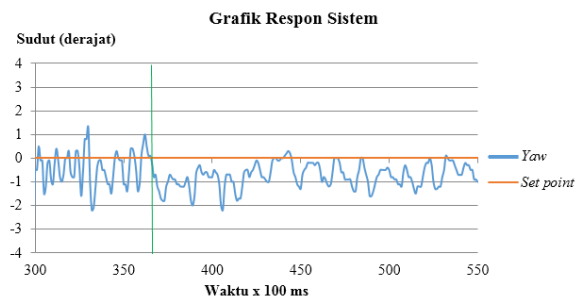
2.5. Perancangan PID

2.5.1. Pemberian nilai Kp

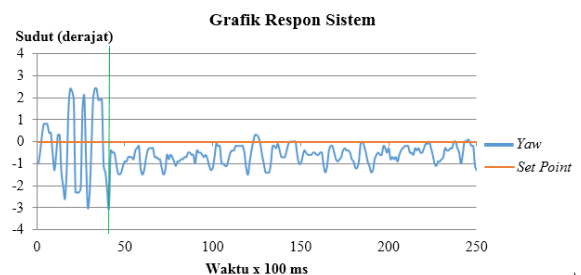
Parameter Kp berfungsi untuk mempercepat rise time (tr). Rise time (tr) merupakan waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 0 sampai 100% harga naik atau dalam sistem ini merupakan waktu yang diperlukan respon untuk mencapai sudut 0°. Parameter Kp yang diuji dalam sistem ROV ditunjukkan pada Gambar 8 hingga Gambar 11.



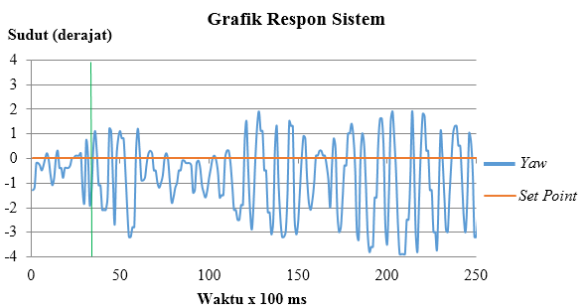
Gambar 8. Grafik respon ROV dengan nilai Kp = 5, Ki = 0, Kd = 0



Gambar 9. Grafik respon ROV dengan nilai Kp = 10, Ki = 0, dan Kd = 0



Gambar 10. Grafik respon ROV dengan nilai Kp = 15, Ki = 0, dan Kd = 0.



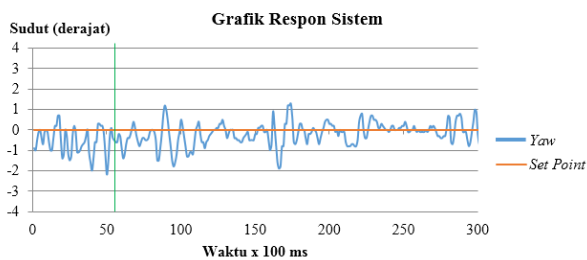
Gambar 11. Grafik respon ROV dengan nilai Kp = 20, Ki = 0, dan Kd = 0

Berdasarkan Gambar 8. hingga Gambar 11. grafik respon ROV dengan nilai parameter Kp = 5 dan Kp = 10 mengalami osilasi dan sulit mencapai nilai setting point. Gambar 3.13 dengan parameter Kp = 15 grafik respon ROV

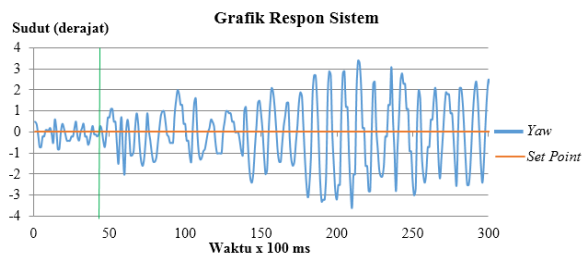
mengalami osilasi dan mulai mendekati nilai *setting point*. Gambar 3.14 dengan parameter $K_p = 20$ grafik respon *ROV* mengalami osilasi yang sangat besar. Parameter $K_p = 15$ dipilih sebagai nilai parameter PID yang digunakan pada pengujian parameter PID selanjutnya dikarenakan grafik respon *ROV* mulai mendekati nilai *setting point*.

2.5.2. Pemberian nilai K_i

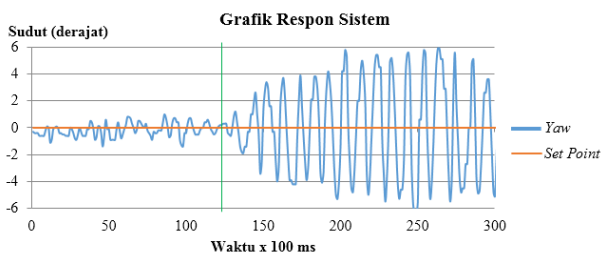
Pemberian nilai K_i berfungsi untuk mengurangi *steady state error*. Parameter K_p dan K_i yang diuji dalam sistem *ROV* ditunjukkan pada Gambar 12. hingga Gambar 14.



Gambar 12. Grafik respon *ROV* dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 0$.



Gambar 13. Grafik respon *ROV* dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,05$, dan $K_d = 0$.



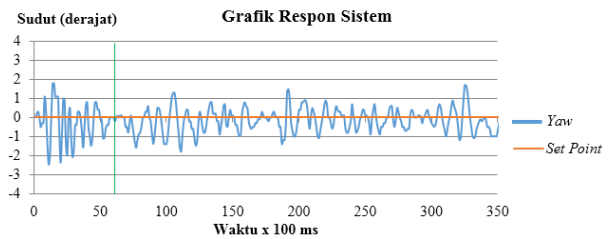
Gambar 14. Grafik respon *ROV* dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,1$, dan $K_d = 0$.

Berdasarkan Gambar 12. grafik respon *ROV* dengan nilai parameter $K_p = 15$ dan $K_i = 0,01$ mengalami sedikit osilasi dan sudah mencapai nilai *setting point*. Pada Gambar 13. dan Gambar 14. grafik respon *ROV* mengalami osilasi yang sangat besar dan sulit mempertahankan pada nilai *setting point*. Parameter $K_p = 15$ dan $K_i = 0,01$ dipilih sebagai nilai parameter PID yang digunakan pada pengujian parameter

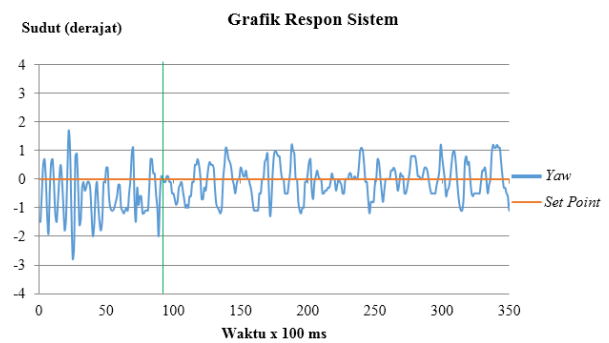
PID selanjutnya dikarenakan grafik respon *ROV* mulai mampu mempertahankan pada nilai *setting point*.

2.5.3. Pemberian nilai K_d

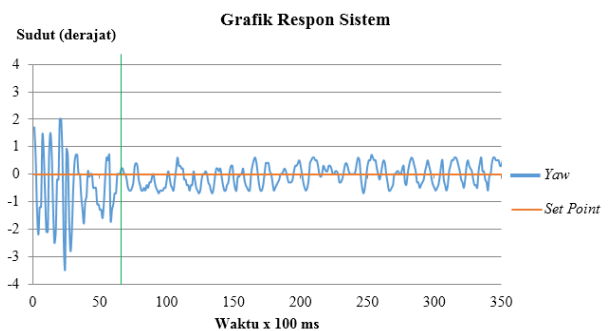
Pemberian nilai K_d ini berfungsi untuk mengurangi nilai *overshoot* dan osilasi yang terjadi pada *ROV*. Parameter K_p , K_i , dan K_d yang diuji dalam sistem *ROV* ditunjukkan pada Gambar 15. hingga Gambar 17.



Gambar 15. Grafik respon *ROV* dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 1$



Gambar 16. Grafik respon *ROV* dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 3$



Gambar 17. Grafik respon *ROV* dengan nilai $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 5$.

Berdasarkan Gambar 15. dan Gambar 17. grafik respon *ROV* mengalami osilasi yang cukup besar. Pada Gambar 3.20 grafik respon *ROV* mengalami sedikit osilasi dan dapat mempertahankan mendekati nilai *setting point*. Parameter $K_p = 15$, $K_i = 0,01$ dan $K_d = 5$ dipilih sebagai nilai parameter PID yang digunakan pada sistem *ROV*

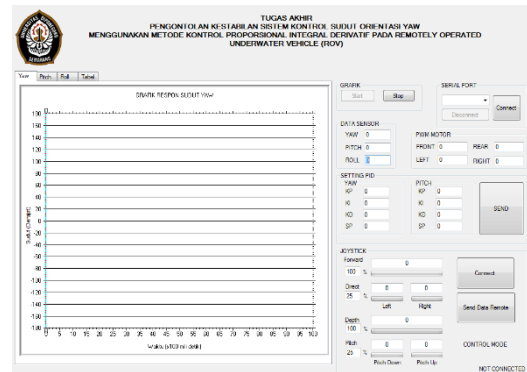
dikarenakan grafik respon *ROV* mengalami sedikit osilasi dan mampu mempertahankan pada nilai *setting point*.

2.6. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan Perancangan perangkat-lunak merupakan perancangan algoritma program untuk merealisasikan sistem stabilisasi stabilisasi *Remotely Operated Vehicles (ROV)* dengan memanfaatkan sensor MPU6050 dan HMC5883L. 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 *yaw* dari sensor MPU6050, sensor HMC5883L 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, prancangan 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 18.

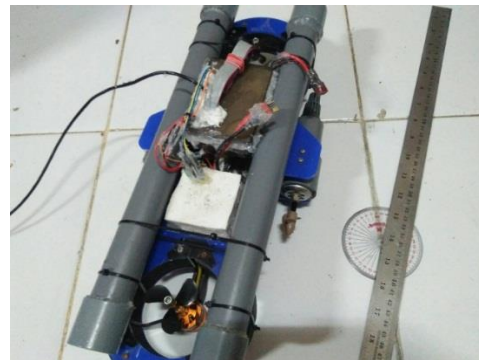


Gambar 18. Tampilan perancangan *GU*

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian pada Sudut *Yaw*

Pengujian sudut *yaw* dilakukan dengan membandingkan sudut kemiringan perhitungan data sensor dengan busur derajat secara aktual. Objek diletakkan pada permukaan datar kemudian disampingnya diletakkan busur derajat dan penggaris. Gambar 19. merupakan gambar pengujian sudut *yaw*.



Gambar 19. Pengujian sudut *yaw* terhadap sumbu *z*.

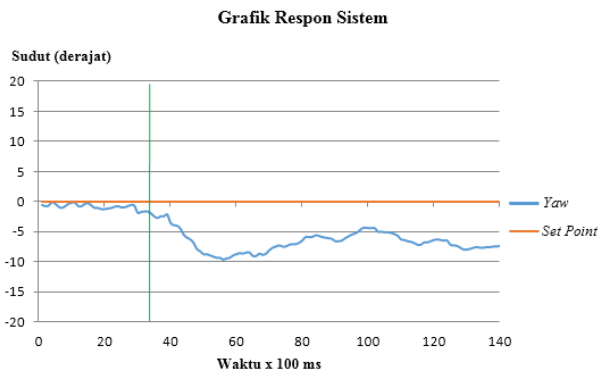
Pengujian sudut *yaw* dilakukan pada jangkauan sudut -90° sampai 90° terhadap sumbu *z* dengan kelipatan 10. Nilai toleransi hasil pengujian didapatkan dengan memutlakkan pengurangan nilai sudut referensi dengan sudut objek. Hasil pengujian dan hasil perhitungan nilai toleransi pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran sudut yaw

Sudut aktual (°)	Sudut sensor accelerometer (°)	Error (°)	Error(°)
90	101,5	-11,5	11,5
80	90	-10	10
70	78,8	-8,8	8,8
60	67,1	-7,1	7,1
50	56,3	-6,3	6,3
40	44	-4	4
30	33,6	-3,6	3,6
20	21,9	-1,9	1,9
10	10,8	-0,8	0,8
0	0,1	-0,1	0,1
-10	-10,9	0,9	0,9
-20	-21,5	1,5	1,5
-30	-33,7	3,7	3,7
-40	-44,1	4,1	4,1
-50	-55,3	5,3	5,3
-60	-67,9	7,9	7,9
-70	-79,2	9,2	9,2
-80	-90	10	10
-90	-101,4	11,4	11,4
Average error			2,17

3.2. Pengujian ROV Kontrol Open Loop

Pengujian kontrol *open loop* atau tanpa menggunakan umpan balik dilakukan dengan melihat karakteristik respon dari *Remotely Operated Vehicles (ROV)* tanpa adanya kontroler antara masukan dengan keluaran sistem. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Tanggapan sistem kontrol *open loop* pada ROV

Berdasarkan Berdasarkan Gambar 20. terlihat bahwa ROV bergerak condong ke kanan dan tidak dapat mempertahankan posisi sudut orientasi yaw pada posisi datar 0° walaupun tanpa pemberian gangguan. Hal ini dikarenakan peletakan komponen elektronika yang kurang seimbang antara sisi kanan dan sisi kiri sehingga membuat badan ROV cenderung lebih berat pada salah satu sisi.

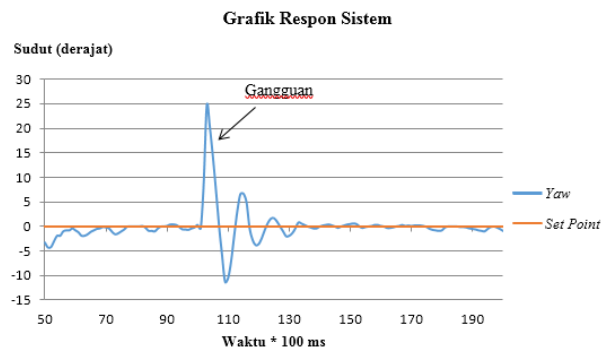
3.3. Pengujian ROV Terhadap Gangguan

Pengujian ini bertujuan untuk menguji sistem kontrol PID yang diterapkan dalam sistem kontrol kestabilan ROV. Pengujian ini dilakukan dengan pengamatan dan analisa tanggapan sistem kontrol PID terhadap keluaran nilai sudut

orientasi yaw dibandingkan dengan nilai setting point kondisi datar (00) pada saat ROV menyelam. Nilai parameter kontrol PID yang digunakan dalam pengujian ini adalah nilai optimal dari perancangan kontrol PID sebelumnya yaitu $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 5$. Variasi gangguan yang diberikan dalam pengujian ini berupa pemberian gaya dorong pada bagian depan ROV, gelombang air, dan gaya dorong ke depan.

3.3.1. Gangguan Didorong

Pengujian sistem kestabilan ROV dengan gangguan didorong pada bagian depan ROV secara horizontal. Pengujian ini dilakukan dengan pengamatan dan analisa tanggapan sistem keluaran nilai sudut orientasi yaw dibandingkan dengan nilai setting point kondisi 0° pada saat pemberian gangguan. Pemberian gangguan ini mempengaruhi kestabilan sudut orientasi yaw.

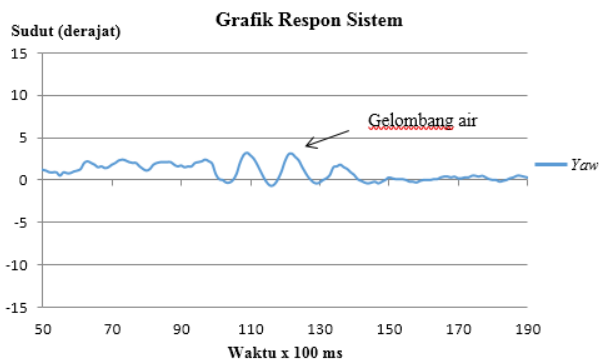


Gambar 21. Tanggapan sistem terhadap gangguan gaya dorong

Berdasarkan Gambar 21. kestabilan sudut orientasi pitch ROV mulai waktu sampling 100 mengalami gangguan. Nilai gangguan sudut orientasi pitch mencapai 25°. Gangguan tersebut berhasil diredam mulai waktu sampling ke 130 dengan rise time (T_r) 1 detik dan settling time (T_s) 3 detik.

3.3.2. Gangguan Gelombang Air

Pengujian sistem kestabilan ROV dengan gangguan pemberian gangguan gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan pengamatan dan analisa tanggapan sistem keluaran nilai sudut orientasi yaw dibandingkan dengan nilai setting point 0° pada saat pemberian gangguan. Pemberian gangguan ini mempengaruhi kestabilan sudut orientasi yaw. Hal ini terjadi karena pada saat ROV mengalami gangguan terdapat penambahan gaya dari luar berupa dorongan gelombang air pada badan ROV yang mempengaruhi sudut orientasi yaw. Data respon sudut orientasi yaw dari sistem pada gangguan gelombang air ditunjukkan pada Gambar 22.

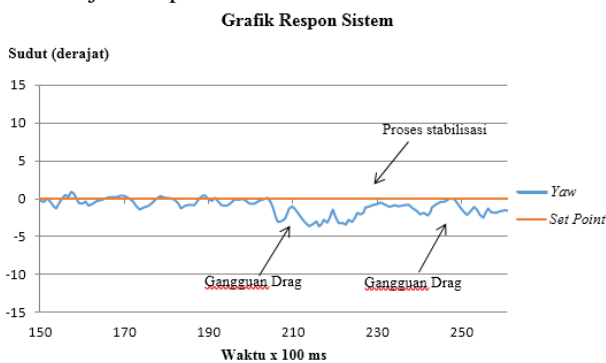


Gambar 22. tanggapan sistem terhadap gangguan gelombang air

Berdasarkan Gambar 22. terlihat bahwa pada waktu sampling 105 terjadi gangguan pada sudut orientasi pitch hingga mencapai 3° . Gangguan tersebut berhasil diredam mulai waktu sampling ke 115 dengan rise time (T_r) 1 detik dan settling time (T_s) 3 detik. Sudut orientasi pitch mulai berangsur mendekati nilai setting point pada waktu sampling 142.

3.3.3. Gangguan Kondisi Heave

Pengujian sistem kestabilan ROV dengan gangguan heave. Pengujian heave dilakukan dengan pengamatan dan analisa respon sistem keluaran nilai sudut orientasi yaw dibandingkan dengan nilai setting point kondisi 0° pada saat ROV digerakkan ke arah bawah-atas. ROV pada kondisi heave menyebabkan terjadinya drag sehingga mempengaruhi kestabilan sudut orientasi yaw. ROV perlu melakukan gaya yang berlawanan terhadap gaya gangguan yang ditimbulkan pada saat kondisi heave. Data respon sudut orientasi yaw dari sistem pada gangguan gelombang air ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Tanggapan sistem ROV Kondisi Heave

Berdasarkan Gambar 23. kestabilan sudut orientasi yaw ROV mulai waktu sampling 200 mengalami gangguan pada saat awal pergerakan heave, yang awalnya mendekati nilai setting point 0° menjadi sekitar -4° . Hal ini terjadi karena pada saat awal pergerakan heave terjadi drag pada

badan ROV. Gangguan tersebut berhasil diredam mendekati nilai setting point pada waktu sampling ke 230.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa nilai parameter kontrol PID $K_p = 15$, $K_i = 0,01$, dan $K_d = 5$ merupakan parameter terbaik yang digunakan dalam pengujian kestabilan ROV. Hasil tanggapan sistem dari perancangan kontrol PID pada sistem kestabilan sudut orientasi yaw dapat mempertahankan badan ROV pada sudut orientasi yaw 0° terhadap pemberian variasi gangguan berupa dorongan, gelombang air, dan kondisi heave. 3. Pengujian dengan memberi gangguan dorongan pada bagian depan ROV menghasilkan gangguan yang menyebabkan kemiringan mencapai 25° dan dapat mengembalikan pada setting point dengan rise time (T_r) 1 detik dan settling time (T_s) 3 detik, pengujian dengan memberi gangguan gelombang air menghasilkan gangguan yang menyebabkan kemiringan mencapai 3° dan dapat mengembalikan pada setting point dengan rise time (T_r) 1 detik dan settling time (T_s) 3 detik, dan pengujian ROV pada kondisi heave menghasilkan gangguan kemiringan sudut orientasi yaw mencapai -4° dan dapat mengembalikan sudut orientasi yaw pada setting point dalam waktu 3 detik.

Referensi

- [1] "Remotely Operated Vehicle," *Marine Technology Society*. [Online]. Available: http://www.rov.org/rov_overview.cfm. [Accessed: 03-Feb-2017].
- [2] T. I. Fossen, *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. 2011.
- [3] A. Gianluca, *Underwater Robots: Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems*, vol. 2. 2001.
- [4] S. M. Zanolli and G. Conte, "Remotely Operated Vehicle Depth Control," *Control Eng. Pract.*, vol. 11, no. 4, pp. 453–459, 2003.
- [5] K. Young-Shik, L. Jihong, P. Sung-Kook, J. Bong-Hwan, and L. Pan-Mook, "Path tracking Control for Underactuated AUVs Based on Resolved Motion Acceleration Control," *ICARA 2009 - Proc. 4th Int. Conf. Auton. Robot. Agents*, vol. 4, pp. 342–346, 2009.
- [6] C. S. CHIN, "Systematic Modeling and Model-Based Simulation of a Remotely Operated Vehicle Using Matlab and Simulink," *Int. J. Model. Simulation, Sci. Comput.*, vol. 2, no. 4, pp. 481–511, 2011.
- [7] A. Bagheri and J. J. Moghaddam, "Simulation and tracking control based on neural-network strategy and sliding-mode control for underwater remotely operated vehicle," *Neurocomputing*, vol. 72, pp. 1934–1950, 2009.
- [8] B.-J. Choi, S.-W. Kwak, and H. Wang, "Stability Analysis of a Simple-Structured Fuzzy Logic Controller," *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 42, pp. 169–178, 2005.
- [9] I. S. Akkizidis, G. N. Roberts, P. Ridao, and J. Batlle, "Designing a Fuzzy-like PD Controller for an Underwater Robot," *Control Eng. Pract.*, vol. 11, no. 4, pp. 471–480, 2003.

- [10] A. I. Rahmanto, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Perancangan Stabilisasi Sudut Orientasi Pitch Pada Remotely Operated Vehicle (Rov) Dengan Metode Kontrol Proporsional Integral Derivatif," vol. 4, p. 7, 2015.
- [11] *HMC 5883 3 axis compas and magnetometer Module Data.*
- [12] S. Rönnbäck, "Development of a INS / GPS navigation loop for an UAV MASTER ' S THESIS Development of a INS / GPS navigation loop," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, 2000.