

PERANCANGAN *PROTOTYPE* ROBOT OBSERVASI BAWAH AIR DAN KONTROL *HOVERING* MENGGUNAKAN METODE *PID CONTROL*

Ferdy Irawan¹, Andik Yulianto²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Internasional Batam

Jl. Gajahmada Baloi Sei Ladi Batam 29422

Telp. (0778) 7437111 ext. 130, Faks. (0778) 7437112

E-mail: 1)ferdy.ipep@gmail.com

2) andik@uib.ac.id, andyq_81@yahoo.com

ABSTRAKS

Remotely operated vehicle (ROV) adalah instrumen berupa wahana selam berukuran mini. ROV biasa digunakan untuk eksplorasi objek bawah laut seperti pemotretan bawah air, operasi militer, perbaikan jalur pipa bawah laut dan lain-lain. Karena ukurannya yang relatif kecil dan berat rangka ringan, ROV ini umumnya lebih rentan terhadap gangguan. Dengan demikian, mengontrol keseimbangan dengan posisi stabil di depan obyek yang menarik dapat menjadi tugas yang menantang untuk pilot ROV.

Pada penelitian ini, untuk mengontrol keseimbangan ROV digunakan sebuah metode PID (Proporsional Intergral dan Derivatif). Metode PID adalah salah satu metode pengontrolan yang mengolah suatu sinyal kesalahan atau *error*, nilai *error* tersebut diolah dengan *formula* PID untuk dijadikan suatu sinyal kendali atau sinyal kontrol yang akan diteruskan ke aktuator.

Implementasi kontrol keseimbangan (*hovering*) pada ROV dengan metode PID yang optimal dari pengujian *trial and error* didapat nilai konstanta $K_p=1.00$, $K_i=0.7$, dan $K_d=0.05$. Dari hasil pengujian didapat hasil *hovering* yang maksimal pada saat ROV diberi gangguan sebesar 32° , ROV dapat kembali *hovering* dalam 49 iterasi atau 4.9 detik.

Kata Kunci: ROV, Kendali *Hovering*, Kendali PID.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia memiliki keterbatasan untuk mampu menahan tekanan yang begitu besar. Selain itu, bersamaan dengan kondisi alam seperti itu maka faktor suhu serta kurangnya pencahayaan di dasar laut menyebabkan jarak pandang berkurang dan topografi dasar laut yang tidak dapat dijangkau oleh manusia seperti gua kecil, dan celah-celah di kapal karam (Ilham, 2008).

Remotely Operated Vehicle (ROV) adalah instrumen berupa wahana selam berukuran mini. ROV biasa digunakan untuk eksplorasi objek bawah laut seperti pemotretan bawah air, operasi militer, perbaikan jalur pipa bawah laut. ROV digunakan untuk kegiatan pada daerah yang tidak dapat dijangkau manusia seperti gua kecil di bawah air. Angkatan Laut Amerika mendanai pembuatan ROV pertama kali pada tahun 1960. ROV dibuat memiliki kemampuan operasi penyelamatan laut dalam dan perbaikan objek dasar laut dari permukaan (Radio Control Submarine, 2006).

Dalam beberapa tahun terakhir jumlah *small class* dan *middle class* kendaraan yang dioperasikan jarak jauh (ROV) telah meningkat secara signifikan. Bidang utama aplikasi mereka adalah pemeriksaan air struktur dan benda-benda lain yang menarik. Karena ukurannya yang relatif kecil dan berat badan ringan, ROV ini umumnya lebih rentan terhadap

gangguan. Dengan demikian, kontrol keseimbangan di depan obyek yang menarik dapat menjadi tugas yang menantang untuk pilot ROV (Jochen, 2014).

Kurangnya informasi dan pengembangan mengenai ROV di Indonesia, maka penulis mencoba untuk membuat ROV sederhana. Pembuatan ROV ini lebih ditekankan pada aspek mekanik dan kontrol keseimbangan (*hovering*). Diharapkan melalui penelitian ini akan semakin bermunculan ide-ide dan inovasi untuk memperkaya kemampuan ROV sehingga dapat membantu kegiatan eksplorasi sumber daya alam (SDA) Laut Indonesia.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan studi dan perancangan *buoyancy* ROV.
- Melakukan studi dan perancangan badan robot yang sederhana serta setimbang didalam air.
- Melakukan implementasi metode *PID control* pada ROV untuk mengendalikan keseimbangan robot (*hovering*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*)

ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) adalah kapal selam mini yang kerap digunakan pada industri minyak dan gas lepas pantai. Kapal selam ini tidak dikendarai oleh manusia, tetapi

dioperasikan dari kapal lain yang terhubung oleh kabel *umbilical* ke ruangan kontrol dan operator di atas permukaan air (kapal, rig dan barge).

Melalui kabel *umbilical*, tenaga listrik dan juga perintah-perintah, atau sinyal-sinyal kontrol, disampaikan dari perangkat kontrol ke ROV. ROV sendiri biasanya dilengkapi dengan peralatan atau sensor tertentu seperti kamera video, *transponder*, kompas, odometer, *bathy* (data kedalaman) dan lain-lain tergantung dari keperluan dan tujuan surveinya.

2.2 ROV yang telah ada di Indonesia

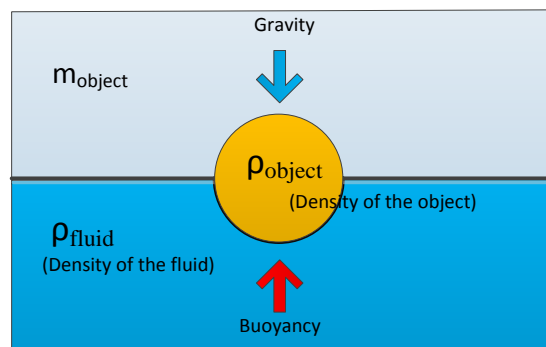
Pengembangan robot bawah laut di Indonesia telah banyak dilakukan, akan tetapi masih jauh dari kesempurnaan. Tiram (Produksi BPPT dan ITB), Sotong (Produksi BPPT dan ITB), Robot Jelajah Bawah Air atau RJ 45 (Produksi IPB), dan Wahana Benam (Produksi ITS) adalah contoh dari pengembangan robot bawah air yang telah diciptakan oleh anak bangsa Indonesia (Ebet, 2009).

ROV tipe RJ-45 yang dikembangkan pada tahun 2009 oleh Laboratorium Akustik dan Instrumentasi Kelautan, Departemen ITK, FPIK, IPB memiliki salah satu tujuan, yaitu adanya kemandirian teknologi. RJ-45 sendiri memiliki kemampuan untuk memantau keadaan bawah laut, akan tetapi prototipe ROV RJ-45 masih jauh dari sempurna dan harapan. Berat beban RJ-45 di dalam air sebesar 8 Kg sehingga mengurangi kinerja motor penggerak serta perancangan pada buoyancy yang digunakan belum dapat membuat ROV berada dalam keadaan setimbang ($\rho_a = \rho_b$).

Pada penelitian ini penulis akan melakukan pengembangan ROV yang diberi nama Ipep22. Ipep22 adalah ROV yang termasuk kedalam klasifikasi jenis Mini-ROV, penelitian ini akan melanjutkan dari penelitian RJ-45, dimana Aspek mekanik dari Ipep22 akan dibuat berdasarkan hasil dari penelitian RJ-45 sebagai acuan untuk kesempurnaan ROV Ipep22 namun bentuk dan *design* berbeda dari RJ-45. Ipep22 diimplementasikan metode PID untuk kontrol *Hovering* (melayang) di dalam air.

2.3 Buoyancy (Gaya Apung)

Buoyancy atau biasa disebut gaya apung adalah gaya keatas yang dikerjakan oleh *fluida* yang melawan berat dari benda yang direndam. Besarnya gaya apung sebanding dengan besarnya beda tekanan antara permukaan dan dasar kolom, dan setara dengan berat *fluida* yang terpindahkan (*displacement*) yang seharusnya mengisi ruang yang ditempati oleh benda. Sehingga benda yang memiliki massa jenis (ρ_{object}) lebih besar dari masa jenis *fluida* (ρ_{fluid}) maka objek akan tenggelam, dan benda yang memiliki massa jenis lebih rendah dari *fluida* akan mengapung.

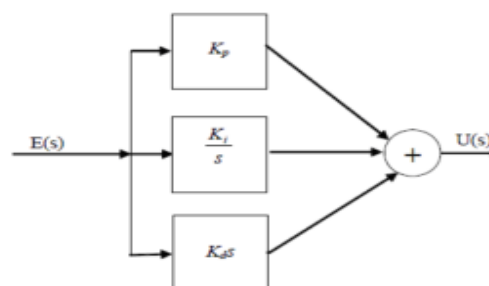


Gambar 1. Prinsip Archimedes

Gambar 1 adalah prinsip Archimedes yang membuktikan bahwa gaya apung yang diterima oleh benda sama dengan berat air yang dipindahkan. Pada penelitian robot wahana bawah air, *buoyancy* adalah salah satu hal yang harus diprioritaskan dalam melakukan perancangan konstruksi mekanik ROV. Agar ROV dapat bermanuever dengan baik di dalam air maka ROV harus berada pada posisi netral atau mendekati netral (ROV berada pada setimbang).

2.4 Proportional Integral and Derivative (PID) Controller

PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan sebuah mekanisme umpan balik (*feedback*) untuk mengontrol kepresisian suatu sistem instrumentasi. Mekanisme ini menghasilkan nilai error atau kesalahan pada suatu sistem dengan membandingkan set point yang telah ditentukan dengan variabel proses yang terukur. Secara umum, berikut blok kontroler PID yang terlihat pada Gambar 2:



Gambar 2. Blok Diagram PID (Kambiz Arab dan Mpanda, 2012)

Pada kontroler PID memiliki tiga parameter yaitu Proporsional, Integral, dan Derivatif. Kombinasi ketiga parameter tersebut menghasilkan keluaran sinyal kontrol $u(t)$. Sesuai dengan persamaan, yaitu hubungan antara sinyal error dan sinyal kontrol dinyatakan sebagai berikut:

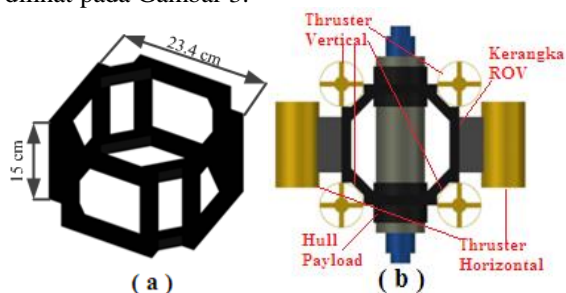
$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Nilai parameter proporsional tergantung pada *present error*, integral diakumulasikan dari error sebelumnya (*past error*) dan derivatif di prediksi dari *future error* (Kambiz Arab dan Mpanda, 2012).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Perancangan Mekanik

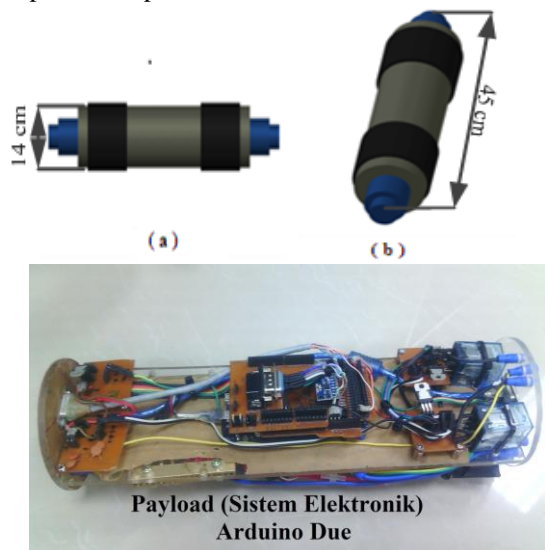
Alumunium adalah bahan yang dipakai untuk kerangka prototype ROV. Penyambungan kerangka menggunakan kombinasi paku *rivets* dan baut. Kombinasi paku *rivets* dan baut dikarenakan ROV dirancang khusus agar dapat di bongkar pasang tanpa merusak rangka, sehingga paku *rivets* digunakan sebagai penyambungan tulang rangka utama, sedangkan baut digunakan pada penyambungan pada bagian yang sering dibongkar pasang. Desain kerangka ROV yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Design Mekanik ROV, a). Kerangka ROV, b). Rancangan Peletakan Thruster

3.1.1 Perancangan Hull dan Payload (Sistem Elektronik)

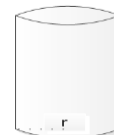
Hull (Lambung Robot) dibuat menggunakan pipa PVC 4 *ichi*, dan ditambahkan penutup yang bisa dibuka pada kedua ujungnya. Dimana hull ini akan dirancang kedap air agar *payload* terlindungi dari air. Berikut *design* dari hull ROV pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Design Hull ROV, a). Tampak Samping, b). Tampak Depan, c). Sistem Elektronik

3.1.2 Perancangan Buoyancy System

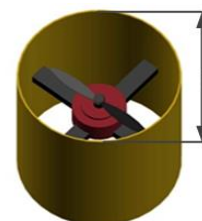
Dalam pembuatan ROV ini digunakan suatu bahan yang disebut dengan *stainless*, mengapa *stainless* ini digunakan sebagai bahan dari pembuatan *buoyancy* ROV ini, seperti yang dijelaskan diatas bahwa material *stainless* memiliki *massa* yang tidak terlalu berat dan memiliki masa jenis yang lebih besar dari *massa* jenis zat cair, sehingga pemilihan material ini cukup tepat pada penerapan *buoyancy* ROV ini. Dimana tinggi *buoyancy* 12 cm dengan jari-jari 5 cm.



Gambar 5 Desain Buoyancy

3.1.3 Perancangan Thruster ROV

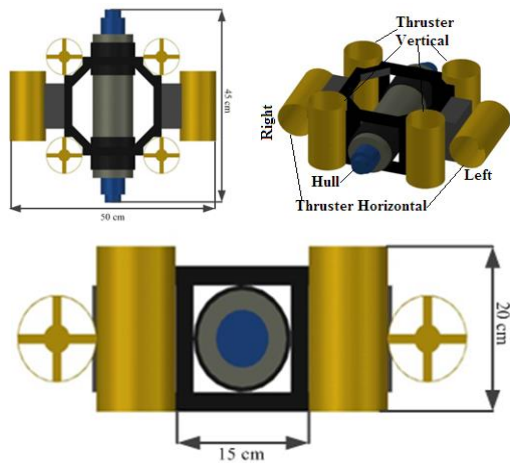
Thruster adalah motor pendorong yang digunakan pada ROV untuk melakukan pergerakan. Baik itu gerak maju-mundur, atas-bawah maupun untuk ber-*maneuver* di dalam air. Thruster pada penelitian ini akan dibuat menggunakan motor DC *brushless*, motor *brushless* ini akan menggunakan *propeller* air *blade 2*, dan akan diletakkan di dalam pipa pvc yang diharapkan dapat menambah tekanan daya dorong pada saat motor berputar. Gambar 6 adalah *design* dari motor *thruster* yang akan digunakan.



Gambar 6 Desain Motor Thruster

3.1.4 Perancangan Design Keseluruhan

Pemasangan alat-alat pada perakitan ROV tidak memiliki aturan tertentu. Tetapi pada perakitan ROV ini ada beberapa komponen yang harus memperhatikan urutan pemasangan sesuai dengan posisi. Gambar *design* teknis ROV secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 7.



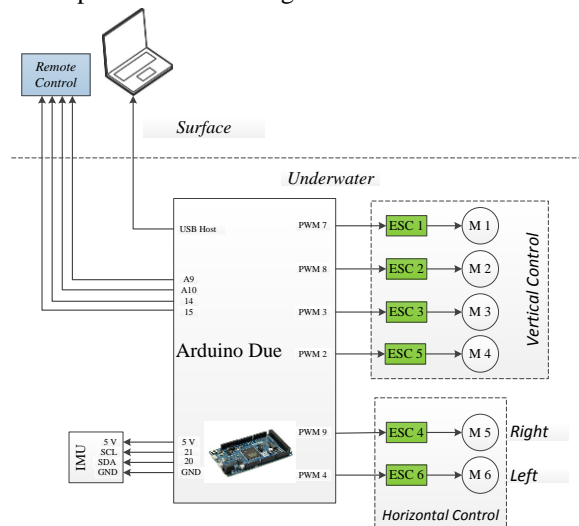
Gambar 7. Rancangan Mekanik ROV Keseluruhan



Gambar 9 Perancangan Kabel *Tether*, a). Kabel Listrik, b) Kabel USB, c). Kabel UTP, d). Pipa *Flexible*

3.2 Arsitektur Kendali *Hovering* ROV

Arsitektur sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 8. Pada unit robot wahana bawah air, untuk pemrosesan data digunakan Arduino due.



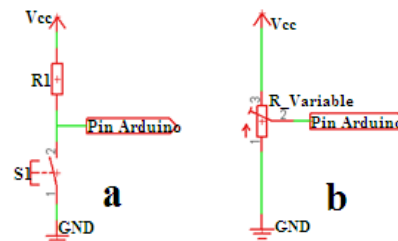
Gambar 8. Arsitektur Sistem Wahana Bawah Air

3.2.1 Perancangan Kabel *Tether*

Tether adalah suatu kumpulan kabel yang tersusun, dimana kebel tersebut terdiri dari kabel daya listrik, maupun sinyal data untuk komunikasi antara operator dan wahana bawah air. *Tether* menjadi sangat penting dalam dunia robot ROV dan menjadi kunci kesuksesan pengembangan ROV. Pada penelitian ini kabel *tether* akan dibuat menggunakan kabel USB *extender* dengan panjang 5 meter dan kabel power yang digunakan adalah kabel tembaga serabut dengan diameter 2.5 mm dengan panjang 5 meter.

3.2.2 Perancangan Remote Control

ROV adalah robot wahana bawah air yang dioperasikan melalui sinyal perintah dari *remote control*. Dimana pada penelitian ini, *remote control* akan dibuat dengan rangkaian elektronik sederhana, diantaranya menggunakan potensiometer, *push button* dan resistor.

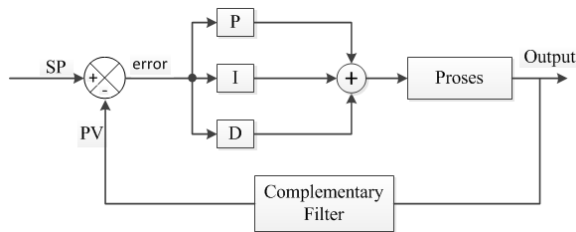


Gambar 10. Skematik Remote Control a. Rangkaian *Button Remote* (Pull-Up), b. Rangkaian *Throttle Remote*

3.2.3 Sistem Kendali *Hovering* dengan PID Control

Prototype robot ROV akan diproses oleh sebuah mikrokontroler Arduino Due. Pada Mikrokontroler inilah implementasi metode PID akan di masukan sebagai kontrol keseimbangan (*hovering*). Mikrokontroler ini akan menerima *input* berupa sinyal *analog* dan mengeluarkan *output* berupa sinyal PWM sebagai *trigger* untuk *electronic speed control* (ESC). Dimana ESC ini merupakan *driver* motor untuk menggerakkan motor *brushless*.

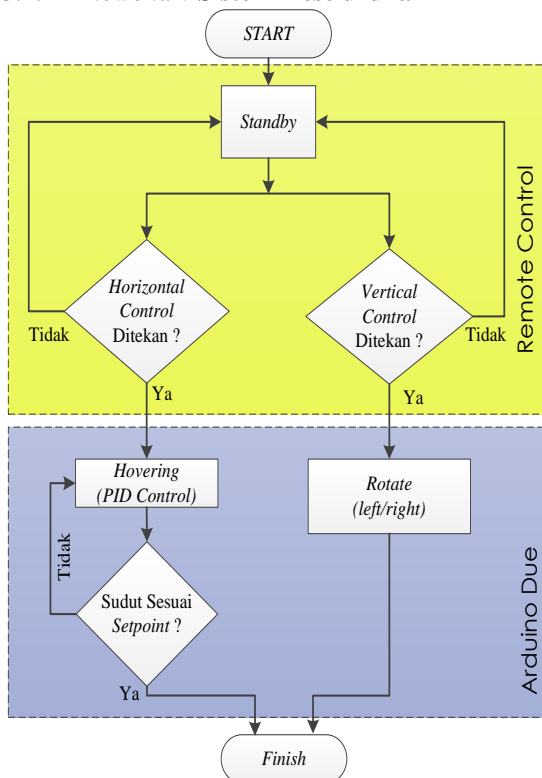
Rancangan blok *diagram software* ini adalah rancangan kendali dari *prototype* robot ROV, yang dimana kendali yang digunakan adalah kendali dengan sistem *close loop*. Kendali ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Blok Diagram Sistem Kendali ROV

Secara umum sistem ini dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu, *input*, proses dan *output*. Di mana *input* sistem adalah sensor dan *remotecontrol*. Pada mikrokontroler terdapat beberapa bagian penting yang mempengaruhi kestabilan sistem di mana terdapat metode PID Control yang akan mengontrol sistem dengan input sudut yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer* dan *gyroscope*.

3.2.4 Flowchart Sistem Keseluruhan



Gambar 12 Flow chart Sistem Keseluruhan

Pada *flow chart* sistem keseluruhan diatas, dapat dilihat garis besar dari proses sistem tersebut. *Remote control* sebagai masukan yang akan memberikan sinyal-sinyal perintah, jika *horizontal control* ditekan maka sinyal perintah akan masuk ke mikrokontroler (Arduino due) dan jika tidak ditekan maka mikrokontroler akan menunggu sinyal perintah tersebut. Sama halnya pada *vertical control*, jika *vertical control* ditekan maka sinyal perintah akan masuk ke mikrokontroler dan jika tidak ditekan maka mikrokontroler akan menunggu sinyal perintah tersebut.

Mikrokontroler merupakan sebuah wadah atau tempat untuk memproses data. Dimana pada mikrokontroler inilah sinyal-sinyal perintah akan dikelola atau dikontrol. Jika *vertical control* ditekan maka mikrokontroler akan memproses sinyal tersebut dan mikrokontroler akan mengontrol pergerakan dari *plant*, apakah sudut sesuai dengan setpoint atau tidak, jika sudut tidak sesuai maka mikrokontroler akan memproses ulang dan akan mengontrol sampai sudut sesuai dengan setpoint.

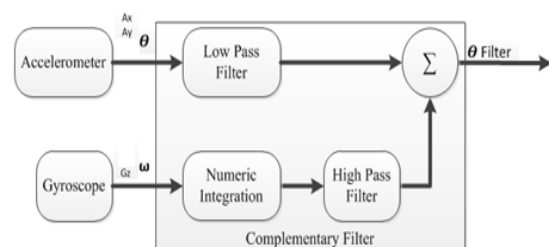
Horizontal control berbeda dengan *vertical control*, dimana pada saat *horizontal control* ditekan, mikrokontroler akan memproses sinyal perintah tersebut dan akan langsung menggerakkan *actuator*, karena *horizontal control* adalah sistem *open loop*. Berbeda pada *vertical control* dimana sistem kontrol menggunakan sistem *closed loop*.

Saat *remote control* memberikan masukan maka mikrokontroler akan mengeksekusi perintah tersebut. Saat *vertical control* ditekan maka motor 1,2,3 dan 4 yang akan beroperasi dan jika tidak ditekan, maka proses kembali lagi dan menunggu perintah dari *remote control*, saat *control vertical* ditekan, mikrokontroler akan memproses pergerakan *hovering* serta mengontrol pergerakan *hovering* berdasarkan *setpoint* yang telah ditentukan.

Control pergerakan terhubung *parallel*, sehingga setiap *control* dapat bergerak sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Sesuai dengan sinyal perintah yang diberikan dari *remote control* ROV.

3.2.5 Perancangan Complementary Filter

Complementary Filter dirancang menggunakan 3 sumbu sensor *accelerometer* untuk mendapatkan nilai kemiringan sudut (θ), yaitu sumbu X, Y dan Z. Kemudian sudut kemiringan dari *accelerometer* ini akan diproses ke *low-pass filter* untuk menghilangkan *noise*. Sedangkan keluaran sensor *Gyroscope* yang berupa kecepatan sudut (ω) harus diintegrasikan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai perpindahan sudut atau sudut kemiringan. Kemudian diumpankan ke *high-pass filter* untuk menghilangkan efek bias pada *gyroscope*.



Gambar 13. Blok Diagram Complementary Filter

4. HASIL DAN ANALISA

4.3 Pengujian Daya Dorong Thruster ROV

Untuk mengetahui daya dorong dari motor *thruster* pada penelitian ini, maka dilakukan pengujian *thrust* (daya dorong) didalam air pada

tempat yang telah dirancang khusus. Berikut adalah dokumentasi tempat pengujian *thruster* ROV pada penelitian ini.



Gambar 14 Pengujian *Thruster* ROV

Pengujian dilakukan pada bak kolam dengan panjang 40 cm, lebar 32 cm dan tinggi 25 cm, berikut data hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 1 Pengujian *Thruster* ROV

PWM	Arus (A)		Thrust (Kg)	
	Forward	Reverse	Forward	Reverse
30	0	0	0	0
37	-	9.2	-	0.31
46	-	9	-	0.275
50	-	8.2	-	0.245
90	0.1	0.1	0	0
120	4.1	-	0.135	-
130	5.5	-	0.24	-
141	7.8	-	0.34	-

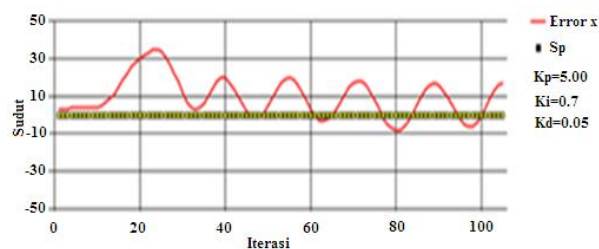
4.4 Pengujian Kontrol PID Untuk *Roll* & *Pitch*

Pada pengujian ini, akan dilihat hasil respon kontrol sudut *roll* dan sudut *pitch* yang telah diimplementasikan dengan menggunakan metode PID dan serta melihat perbedaan dari penentuan nilai konstantan berdasarkan *trial* dan *error*.

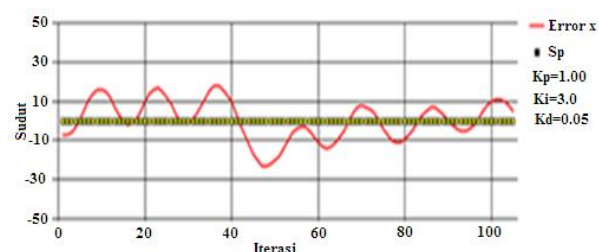
Tabel 2 Konstanta PID Konvensional

Konstanta	Uji I	Uji II	Uji III	Uji IV
Kp	5	1	1	1
Ki	0.7	3	0.7	0.7
Kd	0.05	0.05	0.9	0.05
Max. Error	2	1	2	1

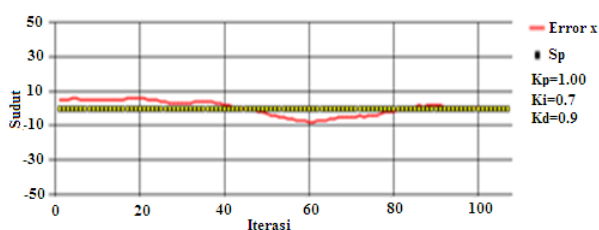
Berikut adalah sinyal keluaran dari respon kontrol sudut dari beberapa kali pengujian:



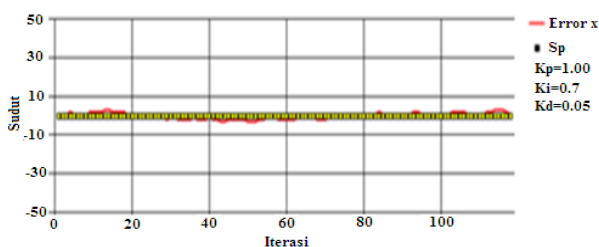
Gambar 15. Respon Kontrol di Sudut *Roll* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=5.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$)



Gambar 16. Respon Kontrol di Sudut *Roll* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=1.00$, $K_i=3.0$, $K_d=0.05$)



Gambar 17. Respon Kontrol di Sudut *Roll* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.9$)

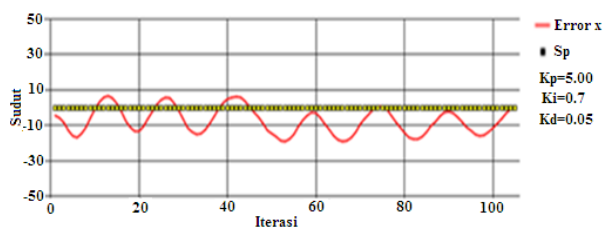


Gambar 18. Respon Kontrol di Sudut *Roll* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$)

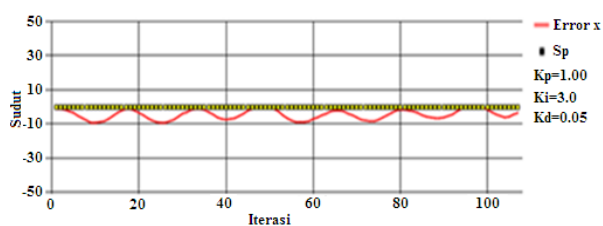
Hasil pengujian respon yang dilakukan secara *trial and error* akan kita analisa untuk mendapatkan hasil konstanta nilai Kp, Ki, dan Kd yang terbaik. Gambar 15 sampai Gambar 18 adalah respon pengujian pada sumbu x (*Roll*) dimana pengujian terhadap sumbu x didapatkan hasil respon yang berbeda.

Pada Gambar 15 ($K_p=5.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$) saat nilai K_p dinaikkan, robot mengalami osilasi dengan nilai *error* sudut yang besar sehingga robot tidak mampu kembali pada kondisi yang seimbang. Pada Gambar 16 ($K_p=1.00$, $K_i=3.0$, $K_d=0.05$) saat nilai K_i dibesarkan robot beresilasi dengan *error* yang lebih kecil dibandingkan pada Gambar 15, tetapi robot mengalami osilasi yang tinggi sehingga untuk keadaan *steady state* membutuhkan waktu yang lama.

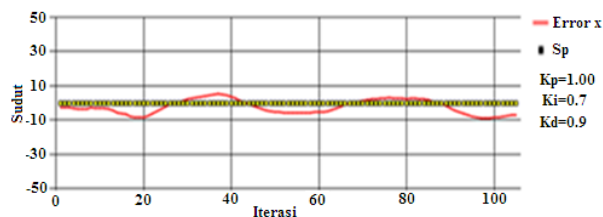
Pada saat K_d dibesarkan seperti terlihat pada Gambar 17 ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.9$), *error* yang dihasilkan semakin meredam, tetapi robot menjadi lebih lambat untuk mencapai kondisi *steady state*. Pada Gambar 18 ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$), dimana semua nilai parameter adalah nilai optimum, sehingga respon yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dari Gambar 15 sampai Gambar 17. Nilai optimum pada Gambar 18 akan dijadikan nilai konstanta terbaik dan akan dilakukan pengujian lanjutan dengan memberikan gangguan untuk diketahui hasil responnya.



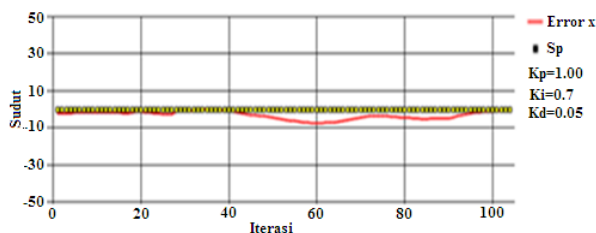
Gambar 19. Respon Kontrol di Sudut *Pitch* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=5.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$)



Gambar 20. Respon Kontrol di Sudut *Pitch* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=1.00$, $K_i=3.0$, $K_d=0.05$)



Gambar 21. Respon Kontrol di Sudut *Pitch* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.9$)



Gambar 22 Respon Kontrol di Sudut *Pitch* dengan Menggunakan Kontrol PID ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$)

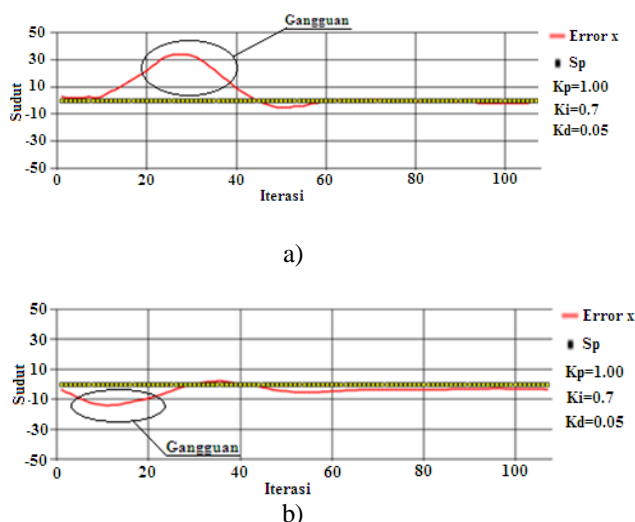
Hasil pengujian respon yang dilakukan secara *trial and error* dianalisa untuk mendapatkan hasil konstanta nilai K_p , K_i , dan K_d yang terbaik. Gambar 19 sampai Gambar 22 adalah respon pengujian pada sumbu y (*Pitch*) dimana pengujian terhadap sumbu y didapatkan hasil respon yang berbeda berdasarkan nilai Konstanta yang diberikan. Namun pada pengujian terhadap sumbu y tidak jauh berbeda dari hasil respon pada sumbu x (*Roll*).

Pada Gambar 19 ($K_p=5.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$) saat nilai K_p dinaikkan, robot mengalami osilasi dengan nilai *error* sudut yang besar sehingga robot tidak mampu kembali pada kondisi yang seimbang. Pada Gambar 20 ($K_p=1.00$, $K_i=3.0$, $K_d=0.05$) saat nilai K_i dibesarkan robot beresilasi dengan *error* yang lebih kecil dibandingkan pada Gambar 19, tetapi robot mengalami osilasi yang tinggi sehingga keadaan *steady state* tidak tercapai.

Pada saat K_d dibesarkan seperti terlihat pada Gambar 21 ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.9$), *error* yang dihasilkan semakin meredam, tetapi robot menjadi lebih lambat untuk mencapai kondisi *steady state*. Pada Gambar 22 ($K_p=1.00$, $K_i=0.7$, $K_d=0.05$), dimana semua nilai parameter adalah nilai optimum, sehingga respon yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dari Gambar 19 sampai Gambar 21. Nilai optimum pada Gambar 22 akan dijadikan nilai konstanta terbaik dan akan dilakukan pengujian lanjutan dengan memberikan gangguan untuk diketahui hasil responnya.

4.5 Pengujian Kontrol PID Untuk *Roll* & *Pitch* dengan Gangguan

Nilai konstanta PID yang telah didapat pada pengujian sebelumnya diujikan kembali dengan sebuah gangguan. Nilai konstanta PID yang digunakan dalam gangguan ini adalah nilai konstanta PID pada pengujian IV. Gangguan akan diberikan disaat *hovering* sedang terjadi.



Gambar 23. Respon Kontrol Menggunakan Kontrol PID dengan Gangguan, a). Respon pada Sudut Roll, b). Respon pada Sudut Pitch

Gambar 23a menunjukkan gangguan di iterasi ke-11 sebesar 32° dan ROV berusaha untuk kembali ke *set point* awal yaitu 0° . Pada saat iterasi ke-60, ROV berhasil untuk *hovering* dengan sangat stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat ROV diberi gangguan sebesar 32° , ROV dapat kembali *hovering* dalam 49 iterasi atau 4.9 detik.

Pengujian ini juga dilakukan dalam sudut *pitch*, ROV juga diberi gangguan sebesar -15° pada saat iterasi ke-1. Lihat gambar 23b. ROV mampu untuk kembali *hovering* pada saat iterasi ke-85. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada saat ROV diberi gangguan sebesar -15° di sudut *pitch*, ROV dapat kembali *hovering* dalam 84 iterasi atau 8.4 detik.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan bahwa sistem kendali elektronik robot observasi bawah air dapat dibuat menggunakan bantuan mikrokontroler Arduino due.

Untuk membuat sistem *bouyancy*, hal pertama yang harus dilakukan adalah memastikan massa ROV secara keseluruhan kemudian memperhitungkan volume *buoyancy* yang diperlukan untuk membuat ROV setimbang dalam air. Pemilihan material *buoyancy* pada perancangan sangat penting, pilih material yang massa jenisnya lebih besar dari air, agar thruster tidak terbebani saat melakukan penyelaman di dalam air. Dari hasil perancangan didapatkan bahwa ROV berada setimbang di dalam air dengan massa 0.115 kg (dalam air).

Metode PID dapat diimplementasikan psebagai kontrol keseimbangan pada ROV. Metode PID yang dirancang digunakan untuk mengatur kecepatan masing-masing keempat motor *thruster* vertikal ROV agar ROV tetap pada keadaan seimbang. Dengan menggunakan nilai parameter $K_p=1.00$,

$K_i=0.7$, $K_d=0.05$, hasil percobaan menunjukkan bahwa ROV dapat menyeimbangkan diri dari gangguan sebesar 32° di sudut *pitch* dalam 4.9 detik, dan -15° di sudut *pitch* dalam 8.4 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Rizki, Ilham. 2008. "Pengembangan Prototipe Remotely Operated Vehicle (Rov) : Aspek Mekanis". Skripsi, Institut Pertanian Bogor, 29 Mei 2008, Bogor.
- Wikipedia, 12 Desember 2007. Radio control submarine. GNU Free Documentation License. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=radio-controlled submarine&diff=3558922&ol=35589786> diakses tanggal 27 Desember 2014.
- Kerdels, jochen. 2014. "A Robust Vision-Based Hover Control for ROV". Underwater Robotics Department DFKI-Lab Bremen, Bremen.
- Ebet. 2009. "Robot Penjelajah Laut". Media Indonesia, 4 November 2009.
- Tehrani, Kambiz Arab dan Mpanda, Augustin. 2012 "PID Control Theory", University of Nancy, Teaching and Research at the University of Picardie.
- Fyson, J. 1985. Design of Small Fishing Vessels. Fisheries Industries Officer (Vessels). Fisheries Industries Division. FAO. Italy. 320 hal.
- Gitakarma, Santo Made, dkk. 2014. "Alat Bantu Survey Bawah Air Menggunakan Amoba, Robot Berbasis Rov". Fakultas Teknik dan Kejuruan Undiksha, Oktober 2014, Singaraja.
- Sukaridhoto, Sritrusta, dkk. 2013. "Smart Cyber Physical System (Scyphy) Pada ROV Untuk Mendukung Alutsista Di Kapal Selam". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Desember 2014, Surabaya.
- Sutisna, Sobar. 2014. "Kemungkinan Luas Laut Sebagai Bagian Dari Luas Wilayah Dalam Perhitungan Dau". Badan Koordinasi Survy dan Pemetaan Nasional, 2014.