

Implementasi Kendali PID untuk Kestabilan Penyelaman pada *Robot Underwater ROV (Remotely Operated Vehicle)*

Anggi Roppon, Vecky C. Poekoel, Feisy D. Kambey

Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

anggiroppon@gmail.com, vecky.poekoel@unsrat.ac.id, feisykambey@unsrat.ac.id

Abstract — *Remotely Operated Vehicle (ROV) is an underwater vehicle whose motion can be directly controlled by humans via remote control from above the water surface. ROV is commonly used for exploration, observation and monitoring of underwater objects. Applications from the ROV are diverse and require a stable and reliable system to support its activities, especially during the dive. In this research, robots are designed to maintain the stability of the dive by using PID controllers. Based on the design and testing that has been done, then got the value of the appropriate PID constant for dive stability on Underwater ROV Robot that is $P = 2.2$, $I = 0.5$, and $D = 0.01$. Robot performance testing in swimming pools with a maximum depth of 1.5 meters.*

Keywords : *PID, Remote Control, ROV, Stability of diving*

Abstrak — *Remotely operated vehicle (ROV) adalah kendaraan bawah air yang gerakannya dapat dikendalikan secara langsung oleh manusia melalui remote control dari atas permukaan air. ROV biasa digunakan untuk eksplorasi, observasi dan monitoring objek bawah laut. Aplikasi dari ROV yang beragam tersebut membutuhkan sistem yang stabil dan dapat diandalkan untuk menunjang aktivitasnya, khususnya pada saat melakukan penyelaman. Pada penelitian ini, robot dirancang untuk menjaga kestabilan penyelaman dengan menggunakan pengendali PID. Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai konstanta PID yang tepat untuk kestabilan penyelaman pada Robot Underwater ROV yaitu $P= 2.2$, $I=0.5$, dan $D= 0.01$. Pengujian kinerja robot dilakukan di kolam renang dengan kedalaman maksimal 1.5 meter.*

Kata kunci : *Kestabilan Penyelaman, PID, Remote Control, ROV*

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini teknologi robot mengalami perkembangan yang sangat pesat mengimbangi kemajuan teknologi yang ada. Banyak sekali teknologi robot yang bermunculan saat ini, mulai dari yang sederhana sampai paling rumit. Salah satu tujuan robot diciptakan untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan berbagai pekerjaan. Jika dahulu berbagai alat bantu manusia masih menggunakan tenaga manusia, saat sekarang manusia hanya membutuhkan sedikit tenaga dan bahkan tidak membutuhkan tenaga sama sekali.

Wilayah kerja robot mencakup darat, air dan udara. Namun untuk perkembangan teknologi robot bawah air kurang mendapat perhatian dari masyarakat. Masih banyak kegiatan bawah air yang dilakukan dengan cara konvensional seperti

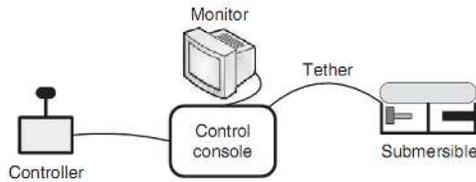
pengamatan di bawah air, survey terhadap sumber daya alam bawah air. Pengamatan di bawah air tersebut memiliki beberapa resiko yaitu area-area yang sulit dijangkau manusia, terbatasnya oksigen, terjadinya tekanan hidrostatis pada tubuh penyelam, serta perubahan suhu.

Oleh karena itu, robot yang mampu bergerak bebas di dalam air sangat dibutuhkan untuk membantu pekerjaan manusia. Robot yang biasa digunakan saat ini adalah robot bawah air berbasis ROV (*Remotely Operated Vehicle*). ROV adalah kendaraan bawah air yang gerakannya dapat dikendalikan secara langsung oleh manusia melalui *remote control* dari atas permukaan air. Robot ini umumnya sudah digunakan oleh berbagai negara maju untuk eksplorasi, observasi, serta monitoring objek bawah air. Aplikasi dari ROV yang beragam tersebut tentu membutuhkan sistem yang stabil dan dapat diandalkan untuk menunjang aktivitasnya di dalam air. Gangguan gelombang air menjadi salah satu faktor yang menghambat pergerakan robot khususnya pada saat robot akan melakukan penyelaman. Tentu diperlukan suatu metode kendali yang handal untuk membuat robot berjalan stabil.

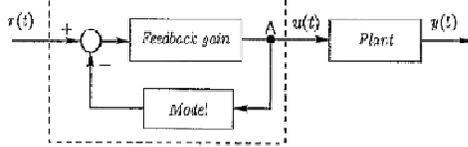
Maka dari itu pada tugas akhir ini, penulis akan merancang dan membangun robot bawah air untuk penyelaman menggunakan metode kendali PID. Metode kendali PID adalah salah satu metode pengendalian yang mengolah sinyal kesalahan atau error, nilai error tersebut diolah untuk dijadikan suatu sinyal kendali yang akan diteruskan ke aktuator.

A. ROV (*Remotely Operated Vehicle*)

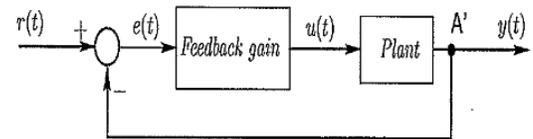
Secara umum, wahana bawah air dibedakan menjadi dua kategori yaitu wahana berawak (*Manned Underwater Vehicle*) dan wahana tidak berawak (*Unmanned Underwater Vehicle – UUV*). ROV adalah wahana bawah air yang bertenaga listrik dan dikontrol melalui pusat, dapat bermanuver sesuai perintah manusia dengan pendorong (*thruster*) hidrolik atau elektrik [3]. Definisi lain disampaikan oleh Christ dan Wernli, dimana ROV adalah kamera yang dipasang dalam wadah tahan air, dengan pendorong untuk bermanuver, yang melekat pada kabel ke permukaan dimana sinyal video yang dikirim [11]. Dari panel kontrol, operator dapat merencanakan pekerjaan atau menggunakan satu joystick untuk manuver wahana secara langsung. Sebuah ROV menerima energi dan informasi perubahan dengan panel kontrol yang terletak di permukaan melalui kabel pusat. Seperti yang terlihat pada gambar 1.



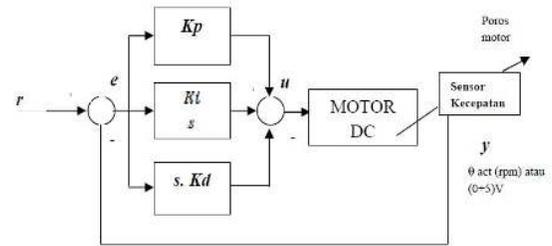
Gambar 1. Komponen dasar sistem ROV
(Sumber: Christ dan Wernli, 2007)



Gambar 2 Sistem kendali kalang terbuka
(Sumber : Goodwin et al., 2000)



Gambar 3 Sistem kendali kalang tertutup
(Sumber : Goodwin et al., 2000)



Gambar 4. Kontrol PID pada DC motor
(sumber : Pitowarno, 2006)

B. ROV yang 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 [6].

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 bouyancy yang digunakan belum dapat membuat ROV berada dalam keadaan setimbang ($\rho_a = \rho_b$).

C. Sistem Kendali

Sistem kendali adalah suatu alat atau serangkaian alat untuk mengatur, memberi perintah, mengarahkan atau membatasi kerja dari alat atau sistem [4]. Menurut Goodwin et al. secara umum ada tiga macam sistem kendali yaitu: (1) *logic* atau *sequential*, (2) *feedback* atau linear kontrol, dan variasi kombinasinya (3), *fuzzy logic* yang menggabungkan sistem logik dengan fungsi kendali linier [10].

Tujuan utama dari suatu sistem kontrol adalah untuk mendapatkan optimasi, dalam hal ini dapat diperoleh berdasarkan fungsi dari sistem kendali itu sendiri, yaitu pengukuran, membandingkan, pencatatan dan perhitungan dan perbaikan.[12]

Ditinjau dari ada tidaknya umpan balik terhadap sistem, sistem kendali terbagi menjadi dua, yaitu sistem kendali kalang terbuka seperti terlihat pada Gambar 2 dan sistem kendali kalang tertutup seperti terlihat pada Gambar 3. Perbedaan utama kedua sistem ini adalah pada kalang terbuka segalanya terjadi di dalam sistem pengendali seperti di dalam komputer

dan koneksi perangkat keras *eksternal* lainnya sedangkan pada sistem kalang tertutup sinyal *feedback* merupakan variabel dari proses yang terjadi pada keluaran [6]. Proses pengendalian melibatkan tiga aspek yaitu model yang digunakan untuk mendekati dan mengendalikan proses, *plant* yaitu suatu proses di luar sistem yang ingin dikendalikan dan *feedback gain* yaitu umpan balik yang diberikan kepada sinyal masukan untuk melakukan suatu perintah tertentu. Ilustrasi proses pengendalian kalang terbuka dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3 untuk pengendalian kalang tertutup.

Pada ROV sistem kendali berperan untuk memberikan kontrol yang diumpankan pada empat motor DC pada *thruster motor* secara konstan hingga kecepatan tertentu putaran motor dapat tercapai. Sistem kalang terbuka berguna bagi sistem yang telah diketahui hubungan antara masukan dan resultan keluarannya dan dapat dimodelkan melalui formula matematis sehingga sistem kendali ROV ini termasuk dalam sistem kendali kalang terbuka karena pengendali menetapkan besar masukan tertentu untuk sistem sesuai arus dan model sistem.

D. Sistem Kendali PID

PID merupakan sebuah mekanisme umpan balik (feedback) untuk mengontrol kepresisian suatu system instrumentasi. Mekanisme ini menghasilkan nilai error atau kesalahan pada suatu system dengan membandingkan *set point* yang telah ditentukan dengan variabel proses yang terukur [13]. Pada pengendali 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 pada persamaan (1):

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

Dalam perancangan sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I, atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. Secara umum, berikut blok kontroler PID pada *DC motor* yang terlihat pada Gambar 4.

E. Arduino Mega 2560

Arduino adalah *platform* pembuatan *prototipe* elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para seniman, desainer, dan siapapun yang tertarik dalam menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif [2].

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560. Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega2560 kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega.

F. Brushless DC Motor (BLDC)

BLDC motor atau dapat disebut juga dengan BLAC motor merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa. Dibandingkan dengan motor DC, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya *brush*. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena rotor dan torsi awal yang lebih tinggi karena rotor terbuat dari magnet permanen. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor DC dan induksi, pengendalian BLDC jauh lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan karena tidak adanya *brush* yang menunjang proses komutasi. Walaupun merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa [4].

G. Electronic Speed Control (ESC)

ESC adalah *driver* penggerak untuk jenis motor *brushless*, biasanya digunakan pada bidang *aeronautical* atau RC. Untuk kecepatan putarnya diatur oleh sinyal yang diterima dari pengontrol. Satu modul ESC digunakan untuk mengendalikan satu motor *brushless* saja. ESC dapat dilihat pada Gambar 6.

H. Radio Kontrol TX-RX

Radio kontrol flysky fs-i6 sebagai *transmitter* gelombang radio yang memiliki kecepatan 2.405-2.475GHz dengan teknologi telemetri AFHDS atau *Automatic Frequency Hopping System Digital*. Dan flysky fs-ia6b sebagai *receiver* yang memiliki 6 *channel* komunikasi. Gambar 5 merupakan modul pemancar radio kontrol FS-I6. Gambar 7 adalah modul penerima flysky FS-ia6B. modul ini merupakan penerima gelombang radio yang cocok dengan pemancar FS-i6 yang memiliki kecepatan 2.405-2.475 GHz.



Gambar 5 Modul Pemancar Radio Kontrol FS-I6



Gambar 6. Electronic Speed Controller (ESC)



Gambar 7 Modul Penerima FS-IA6B

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai pada bulan Desember 2016 dan berakhir pada bulan Desember 2017. Proses perancangan dilakukan di Laboratorium Teknik Kendali dan proses pengujian dilakukan di Kolam Renang Koni Sario, Manado.

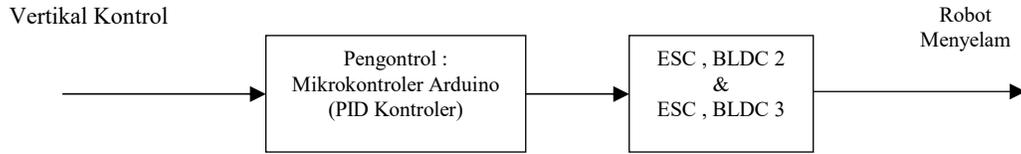
B. Prosedur Penelitian

Secara garis besar, prosedur yang digunakan dalam proses perancangan dan implementasi pada tugas akhir ini terbagi menjadi enam tahap, yaitu :

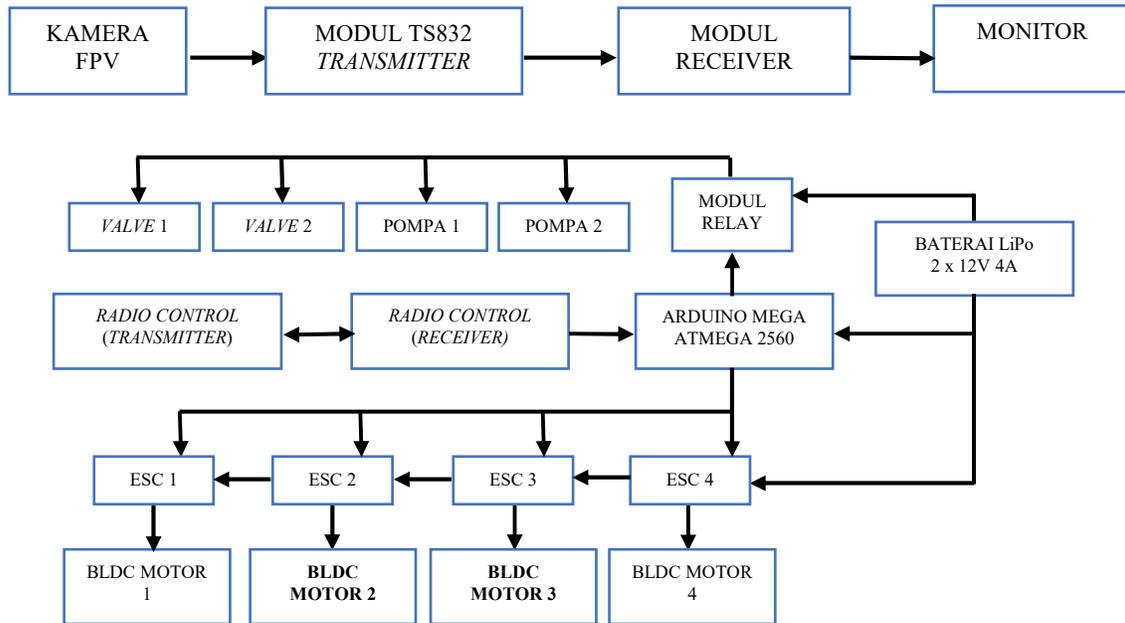
1. Perancangan konsep robot underwater ROV.
2. Menyiapkan alat dan bahan dalam perancangan robot underwater ROV.
3. Merancang hardware robot underwater ROV.
4. Merancang program (software) pengendalian dan meng-*upload* program ke mikrokontroler.
5. Menganalisa kerja robot underwater ROV pada saat melakukan penyelaman dalam air.
6. Membuat laporan penelitian.

C. Konsep Dasar Perancangan Alat

Dalam perancangan underwater ROV ini memerlukan konsep yang matang guna mendapat hasil yang sesuai tujuan. Pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak yang merupakan implementasi sistem mekanik dan sistem kontrol pada robot *underwater ROV* sangat mempengaruhi perancangan robot *underwater ROV* itu sendiri, sehingga robot *underwater ROV* menjadi lebih akurat dalam bermanuver sesuai perintah yang diberikan. Konsep dasar merupakan pedoman untuk merencanakan sesuatu dalam melakukan rancangan, dimana konsep ini memuat langkah-langkah dan petunjuk untuk menentukan sesuatu penunjang yang dibutuhkan dalam mendesain. Gambar 8 dan Gambar 9 merupakan diagram blok dan gambaran sistem kendali untuk kestabilan penyelaman *robot underwater ROV*.



Gambar 8. Diagram blok kendali PID untuk kestabilan penyelaman pada Robot *Underwater ROV*



Gambar 9. Gambaran Sistem kendali robot *underwater ROV*

Gambar 8 merupakan diagram blok kendali PID untuk kestabilan penyelaman pada robot *underwater ROV*. Sistem ini dibagi menjadi *input*, proses, dan *output*. Dimana input sistem adalah vertical kontrol dari *remote control*. Pada mikrokontroler terdapat beberapa bagian penting yang mempengaruhi kestabilan sistem dimana ada metode kendali PID yang akan mengontrol sistem dengan input yang dihasilkan oleh *remote control*. Keluaran dari kendali PID ini akan digunakan untuk mengatur kecepatan motor *brushless DC* (BLDC). Penentuan nilai parameter kontrol proporsional (K_p), kontrol integral (K_i), dan kontrol derivatif (K_d) dilakukan dengan metode *trial and error*.

Berdasarkan Gambar 9, untuk pengontrol arduino mega ATMEGA 2560, modul *relay* dan ESC mendapat tegangan sumber dari baterai sebesar 12 volt, *radio control* terbagi menjadi 2 modul, yaitu *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx). Data yang ditransmisikan merupakan *pulse position modulation* (PPM) berdasarkan perubahan posisi *per cycle time*. PPM ini ditumpangkan ke sebuah gelombang elektromagnetik dengan besar frekuensi 2.4 GHz dan diterima oleh modul Rx. Dari modul RX inilah PPM dibaca Arduino mega ATMEGA 2560 untuk diolah. Data hasil olahan inilah dijadikan nilai rekomendasi untuk menggerakkan motor BLDC 1, 2, 3, dan 4. Khusus untuk penyelaman robot hanya mengontrol motor BLDC 2 dan 3.

D. Perancangan Kendali PID

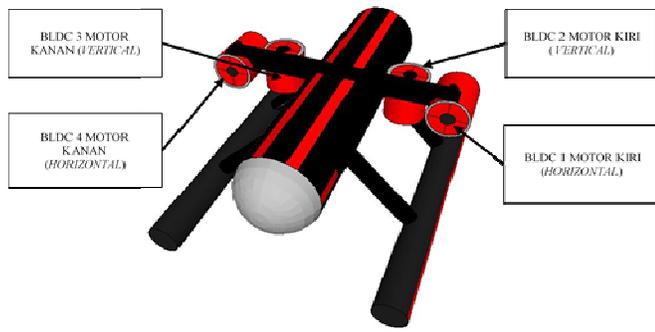
Robot *underwater ROV* ini menggunakan kendali PID untuk mencapai nilai sensor sesuai dengan *setpoint* yang sudah ditentukan dengan parameter aksi kontrol PID. Untuk menentukan parameter PID digunakan metode *trial and error*. Kelebihan dari metode ini dapat diperoleh dengan cara coba-coba dengan memberikan nilai K_p , K_i , dan K_d tanpa membuat model matematis plant dan menentukan parameter plant dengan grafik atau analitik. Setelah melakukan *trial and error* akan diperoleh hasil yang diinginkan, dengan mengacu pada karakter masing-masing kendali P, I, dan D.

E. Desain dan Penempatan Bagian-bagian Robot

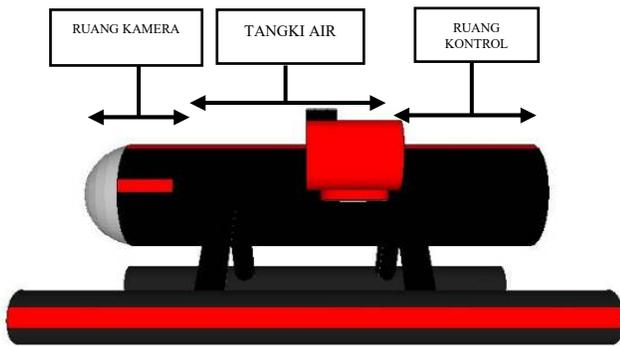
Membicarakan soal robot, tidak lepas dari unsur mekanik sebagai kerangka robot. Kerangka robot dibuat dari bahan pipa PVC dan acrylic. Penggunaan pipa PVC dan acrylic dipilih karena memiliki kelebihan yakni;

1. Sulit rusak,
2. Tahan lama,
3. Tidak berkarat,
4. Mudah dipotong – potong,
5. Kokoh,
6. Tahan air.

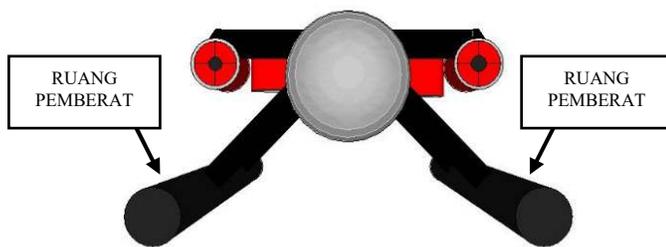
Gambar 10 merupakan hasil desain robot *underwater ROV*.



(a)



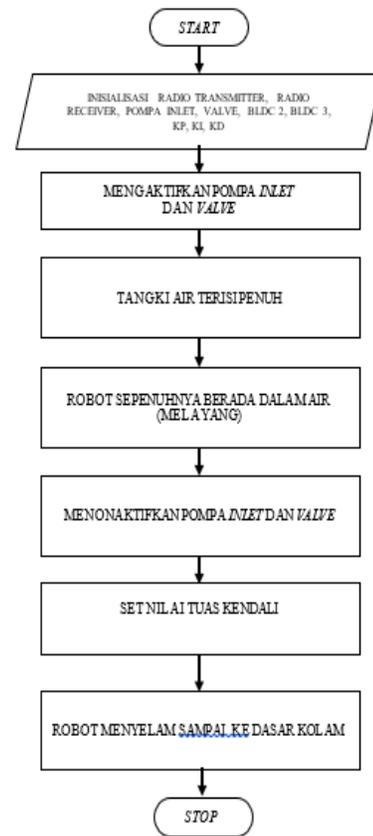
(b)



(c)

Gambar 10 (a) Robot tampak atas, (b) robot tampak samping dan (c) robot tampak depan

Dapat dilihat dari Gambar 10(a) terdapat 4 buah motor BLDC yang dipasang sesuai fungsinya masing-masing. Motor BLDC 1 dan 4 berfungsi untuk pergerakan maju, mundur, belok kanan, belok kiri pada robot. Sedangkan motor BLDC 2 dan 4 berfungsi untuk pergerakan naik dan turun pada robot. Dapat juga dilihat pada Gambar 10(b) terdapat 3 bagian utama bodi robot yaitu ruang kamera, ruang tangki air dan ruang kontrol. Ruang kamera berisikan kamera yang berfungsi sebagai mata ROV untuk navigasi dan untuk melihat keadaan di bawah air, pada ruang tangki air terdapat dua buah pompa dalam tangki air dibutuhkan agar memudahkan pengisian maupun pengosongan tangki air. Dibantu dengan valve dan lubang udara agar pertukaran air dan udara dalam tangki dapat berjalan dengan mudah, dan ruang kontrol yang berisikan



Gambar 11. Diagram Alir Proses Penyelaman Robot

komponen-komponen pendukung robot, di ruang ini segala aksi pengontrolan terpusat di sini. Pada Gambar 10(c) memperlihatkan ruang pemberat pada sisi kiri dan kanan dari robot digunakan sebagai penyeimbang berat dan posisi dari robot. Pemberat bertujuan agar robot memiliki bobot yang sesuai untuk mengatur massa robot sama dengan massa jenis air agar robot dapat melayang di dalam air. Fungsi lain bagian ini untuk menjaga keseimbangan bagian kiri dan kanan robot.

F. Diagram Alir Proses Penyelaman Robot Underwater ROV

Untuk mempermudah perancangan perangkat lunak pengontrolan robot terlebih dahulu dibuat diagram alir (*flowchart*) untuk menjabarkan alur kerja sistem pada robot.

Gambar 11 merupakan diagram alir tahapan dari proses penyelaman robot, yang menggambarkan secara bertahap dari robot berada di permukaan air (terapung) sampai robot berada dalam air (melayang). Dengan cara mengisi tangki yang tersedia menggunakan pompa hingga tangki penuh dan menggantikan udara yang ada di dalam tangki.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses perancangan yang telah dibahas pada bab sebelumnya dimana untuk mengetahui kinerja, hasil serta kehandalan robot bawah air yang telah dibuat maka dilakukan pengujian. Pengujian kali ini ditujukan pada kestabilan robot dalam melakukan penyelaman. Adapun metode kendali yang digunakan adalah kendali PID dengan metode *trial and error*.

Pengujian dilakukan di Kolam Renang Koni, pada hari Sabtu dan Minggu tanggal 3 dan 4 Februari 2018, pukul 13.00 WITA.

A. Penentuan Nilai Konstanta PID

Pada percobaan ini dilihat hasil respon motor BLDC yang telah diimplementasikan dengan pengendali PID dan serta melihat perbedaan dari penentuan nilai konstanta berdasarkan *trial and error*. Tapi sebelumnya dilakukan dengan pengujian secara bertahap. Pertama dilakukan pengujian dengan memasukkan nilai K_p (Konstanta P), selanjutnya memasukkan nilai gabungan K_p dan K_d (Konstanta P dan D), K_p dan K_i (konstanta P dan I), dan terakhir memasukkan nilai pengontrol PID. Waktu pengambilan data selama 1 menit.

Tabel I menunjukkan bahwa pengujian pertama dengan nilai $K_p = 2.2$, $K_i = 0.5$, $K_d=0.01$ didapatkan nilai selisih antara steady state dan overshoot sebesar 131.93 (21.08%), pengujian kedua dengan nilai $K_p= 2.5$, $K_i=0.1$, $K_d = 1$ didapatkan selisih sebesar 164.93 (21.08%), pengujian ketiga dengan nilai $K_p= 3$, $K_i= 0.001$, $K_d= 0.1$ didapatkan selisih sebesar 180 (19.16%), pengujian keempat dengan nilai $K_p= 3.5$, $K_i= 0.001$, $K_d= 0.1$ didapatkan selisih sebesar 203 (18.53%), dan pengujian kelima dengan nilai $K_p= 4$, $K_i= 0.5$, $K_d= 1$ didapatkan selisih sebesar 203.95 (16.29%). Berdasarkan hasil tuning konstanta P, I, dan D maka nilai konstanta yang tepat untuk pengendalian kestabilan penyelaman robot ialah $K_p = 2.2$, $K_d= 0.5$ dan $K_i= 0.01$. melalui Tabel I maka ditampilkan grafik penentuan konstanta PID seperti pada Gambar 12.

B. Pengujian Respon Kecepatan Penyelaman Robot

Tabel II merupakan waktu tempuh terhadap jarak tempuh pada penyelaman robot dengan nilai konstanta $K_p=2$. Ada 5

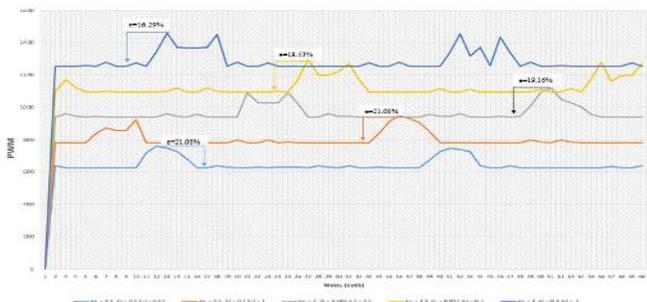
kali uji coba dengan jarak tempuh penyelaman maksimal 1.5 meter. Jarak 1.5 meter ini dibagi mejadi 3 bagian yaitu 50 cm, 100 cm, dan 150 cm. Disetiap pengujian terjadi perbedaan waktu tempuh dikarenakan gelombang atau riak air dan juga adanya perbedaan tekanan air. Semakin dalam robot menyelam maka semakin besar pula tekanan air yang terjadi. Waktu tempuh tercepat dari robot adalah 12.7 detik (uji II) dan waktu terlama adalah 19.6 detik (uji I). Melalui tabel II maka ditampilkan grafik perubahan waktu terhadap jarak pada penyelaman robot dengan nilai $K_p= 2$ seperti pada Gambar 13.

Dari tabel III dapat dilihat waktu tempuh tercepat dari robot adalah 13.7 detik (uji V) dan waktu tempuh terlama adalah 15.5 detik (uji II). Dengan nilai konstanta $P = 2.2$ maka menghasilkan respon kecepatan yang juga linier. Data yang bervariasi yang didapat ini menjelaskan bahwa kecepatan dari robot ini tidak selalu tetap. Gelombang atau riak air serta perbedaan tekanan di dalam air yang masih menjadi faktor penghambat robot dalam melakukan penyelaman. Melalui Tabel III maka ditampilkan grafik perubahan waktu terhadap jarak pada penyelaman robot dengan nilai $K_p= 2.2$ seperti pada Gambar 14.

Berdasarkan hasil pengujian yang diperlihatkan pada Tabel IV terlihat bahwa waktu tempuh tercepat robot mencapai jarak maksimum kolam adalah 12.2 detik (uji III) dan waktu terlama robot adalah 13.6 detik (uji IV dan uji V). Dibandingkan dengan pengujian pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 terlihat bahwa dengan penambahan pengendali Integral (I) dan Derivatif (D) respon kecepatan penyelaman robot sudah baik. Dikatakan baik karena pada masing-masing pengujian menunjukkan beda waktu yang tidak terlalu jauh berbeda. Melalui Tabel IV maka ditampilkan grafik perubahan waktu terhadap jarak pada penyelaman robot dengan nilai $K_p= 2$, $K_i= 0.1$, $K_d = 0.01$ seperti terlihat pada Gambar 15.

TABEL I
PENENTUAN NILAI KONSTANTA PID

Kontanta	Uji I	Uji II	Uji III	Uji IV	Uji V
K_p	2.2	2.5	3	3.5	4
K_i	0.5	0.1	0.001	0.001	0.5
K_d	0.01	1	0.1	0.1	1
Steady State	625.69	782.19	939	1095.5	1251.69
overshoot	21.08%	21.08%	19.16%	18.53%	16.29%
Selisih	131.93	164.93	180	203	203.95



Gambar 12. Grafik penentuan nilai konstanta PID

TABEL II
WAKTU TEMPUH TERHADAP JARAK TEMPUH PADA PENYELAMAN ROBOT DENGAN NILAI $K_p= 2$

Jarak tempuh (cm)	Waktu tempuh (detik)				
	Uji I	Uji II	Uji III	Uji IV	Uji V
0	0	0	0	0	0
50	5.03	3.6	4.2	4.5	4
100	11.5	7.2	8.1	9.7	8.5
150	19.6	12.7	13.5	15.4	14.2

TABEL III
WAKTU TEMPUH TERHADAP JARAK TEMPUH PADA PENYELAMAN ROBOT DENGAN NILAI $K_p= 2.2$

Jarak tempuh (cm)	Waktu tempuh (detik)				
	uji I	Uji II	Uji III	Uji IV	Uji V
0	0	0	0	0	0
50	5.1	3.5	4.7	3.2	3
100	9.8	7	8.6	8.2	7.4
150	14.6	15.5	14.8	14.7	13.7

TABEL IV

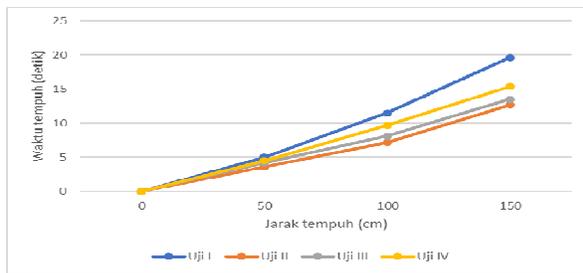
WAKTU TEMPUH TERHADAP JARAK TEMPUH PADA PENYELAMAN ROBOT DENGAN NILAI $K_P = 2$, $K_I = 0.1$, $K_D = 0.01$

Jarak tempuh (cm)	Waktu tempuh (detik)				
	uji I	Uji II	Uji III	Uji IV	Uji V
0	0	0	0	0	0
50	4	3.3	3.1	3.9	4
100	8.8	6.9	7.4	7.8	7.2
150	13.1	12.4	12.1	13.6	13.6

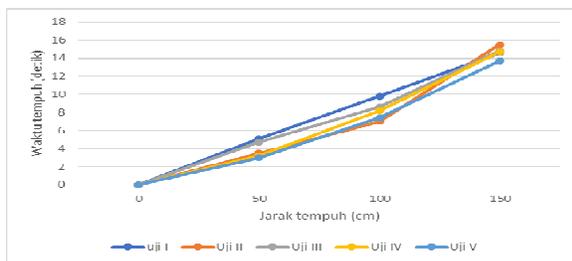
TABEL V

WAKTU TEMPUH TERHADAP JARAK TEMPUH PADA PENYELAMAN ROBOT DENGAN NILAI $K_P = 2.2$, $K_I = 0.5$, $K_D = 0.01$

Jarak tempuh (cm)	Waktu tempuh (detik)				
	uji I	Uji II	Uji III	Uji IV	Uji V
0	0	0	0	0	0
50	3.3	3.6	2.8	2.7	3
100	7.1	6.9	6.1	4.8	6.5
150	12.3	11.1	12.2	11.9	11

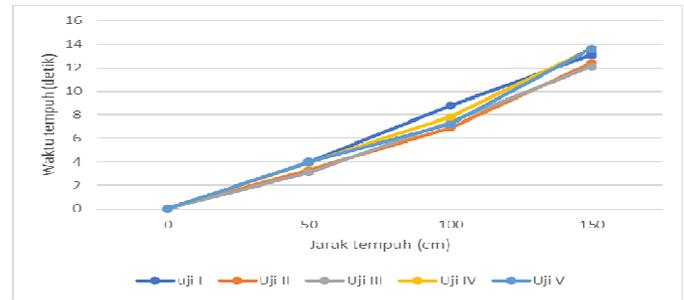


Gambar 13. Grafik perubahan jarak terhadap waktu pada penyelaman robot dengan nilai $K_p = 2$

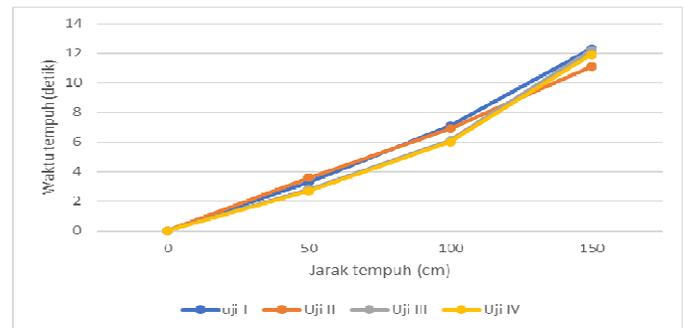


Gambar 14. Grafik perubahan jarak terhadap waktu pada penyelaman robot dengan nilai $K_p = 2.2$

Dengan nilai konstanta pengontrol $K_p = 2.2$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.01$ menghasilkan respon kecepatan penyelaman robot yang linier sesuai dengan tabel V. Dari 5 pengujian yang dilakukan pada uji V menunjukkan waktu tempuh yang tercepat yaitu 11 detik. Dan uji I merupakan waktu tempuh yang terlama yaitu 12.3 detik. Selain itu, jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, terlihat bahwa penambahan pengendali Integral (I) kecepatan penyelaman robot lebih baik. Melalui Tabel V maka ditampilkan grafik perubahan waktu terhadap jarak pada penyelaman robot dengan nilai $K_p = 2$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.01$ seperti terlihat pada Gambar 16.



Gambar 15. Grafik perubahan jarak terhadap waktu pada penyelaman robot dengan nilai $K_P = 2$, $K_I = 0.1$, $K_D = 0.01$



Gambar 16. Grafik perubahan jarak terhadap waktu pada penyelaman robot dengan nilai $K_P = 2.2$, $K_I = 0.5$, $K_D = 0.01$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan dalam implementasi kendali PID untuk kestabilan penyelaman pada robot underwater ROV (Remotely Operated Vehicle), maka dapat disimpulkan beberapa hal terkait dengan hasil dari penelitian yaitu:

1. Robot ini telah mampu melakukan penyelaman dengan baik.
2. Metode pengendali PID dapat diimplementasikan sebagai kendali kestabilan penyelaman.
3. Didapatkan nilai konstanta PID yang tepat untuk kestabilan penyelaman pada Robot Underwater ROV yaitu $P = 2.2$, $I = 0.5$, dan $D = 0.01$.
4. Gelombang air atau riak air sangat mempengaruhi kecepatan dan pergerakan robot.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan robot ini agar penelitian selanjutnya mendapatkan hasil yang lebih maksimal adalah:

1. Robot ini perlu menggunakan motor tahan air yang memiliki yang lebih besar agar dapat melawan tekanan air.
2. Menambahkan sensor *gyroscope* dan *magnetic compass* agar robot dapat menyeimbangkan kondisi robot dan menyesuaikan arah gerakannya.

3. Dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor kedalaman, tekanan, dan suhu agar robot dapat mengambil data tekanan dan suhu pada kedalaman air.
4. Dapat dikembangkan dengan menggunakan metode FSL (*Fuzzy Logic Controller*) agar mendapatkan respon yang lebih stabil.

V. KUTIPAN

- [1] Anonimus. Panduan Penulisan Karya Tulis Ilmiah Sarjana (KTIS). Departemen Pendidikan Nasional Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2006.
- [2] Arduino, cc. Arduino Mega 2560 [online]. Tersedia di <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560>. Diakses 8 oktober 2017.
- [3] C. Y. Hoong. "Development of A Computer Controlled Remotely Operated Underwater Vehicle", Universitas Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, 2010.
- [4] D. P. Sinaga, "Rancang Bangun Kestabilan Posisi Sistem Kendali Manual Robot Kapal Selam Menggunakan Metode Fuzzy Logic", Skripsi ST Program S1 Teknik Elektro Universitas Telkom, Bandung, 2016.
- [5] D. R. Christ, dan Robert L.Wernli Sr. *The ROV Manual: A User Guide for*. 2007.
- [6] Ebet, "Robot Penjelajah Laut", Media Indonesia. 2009.
- [7] E. Pitowarno, Robotika: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan. ANDI Yogyakarta, 2006.
- [8] F. D. Kambey, "Pengoptimalan Konstanta Pengontrol PID Menggunakan Algoritma Genetika", Skripsi ST Program S1 Teknik Elektro Sam Ratulangi, Manado, 2005.
- [9] F. Irawan, A. Yulianto, "Perancangan Prototype Robot Observasi Bawah Air dan Kontrol Hovering Menggunakan Metode PID Control", Skripsi ST Program S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Internasional Batam, Batam, 2015.
- [10] Goodwin, Graham C., Stefan F. Graebe, Mario E. Salgado. "Control System Design", Prentice Hall, <http://lcsd.newcastle.edu.au> [2000]. Diakses 12 November 2017.
- [11] H. A. Kusuma, "Rancang Bangun Mini Remotely Operated Vehicle (ROV) Untuk Eksplorasi Bawah Air", Skripsi S.Ik Program S1 Ilmu dan Teknologi Kelautan Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2012.
- [12] K. Ogata, Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan). Erlangga, Jakarta, 1995.
- [13] M. D. Putro, "Rancang Bangun Robot Cerdas Semut Menggunakan Mikrokontroler Avr Atmega 16 Untuk Menentukan Lintasan Terpendek", Skripsi ST Program S1 Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2010.
- [14] N. Hidayat, "Rancang Bangun Sistem Kendali Quadrotor untuk Keseimbangan Posisi dengan PID", Skripsi ST Program S1 Teknik Elektro Universitas Indonesia, Depok, 2009.
- [15] Sugiri dan M. Supriyadi. Pemrograman Sistem Pengendali Dengan Delphi. Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.

konsentrasi Teknik Kendali. Setelah menyelesaikan Kerja Praktek di PT. Meares Sopotan Mining selama 2 bulan dan melaksanakan Kuliah Kerja Terpadu Angkatan 112 di Desa Motongkad Tengah, Kabupaten Bolaang Mongondouw Timur Sulawesi Utara, penulis memutuskan untuk menulis tugas akhir mengenai Implementasi Kendali PID untuk Kestabilan Penyelaman pada *Robot Underwater ROV (Remotely Operated Vehicle)*.

Selama kuliah, penulis pernah aktif dalam organisasi mahasiswa antara lain menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Elektro Periode 2016-2017 sebagai Sekretaris. Penulis juga pernah menjabat sebagai Koordinator Praktikum Dasar Teknik Kendali Periode 2014-2015, Koordinator Praktikum Metode Numerik Periode 2016-2017 serta menjadi peserta Kontes Robot Indonesia divisi Kontes Robot Pemadam Api (KRPAI) Berkaki tahun 2015 di Politeknik Negeri Banjarmasin.



Penulis bernama lengkap Anggi Roppon, anak keenam dari enam bersaudara. Lahir di Rantepao pada tanggal 8 Oktober 1994. Penulis menempuh pendidikan secara berturut-turut di SDN Inpres Rantemenduruk 365 Rantepao (2000-2003), SDN 56 Rantepao IV (2003-2006). Selanjutnya, melanjutkan ke SMPN 1 Rantepao (2006-2009) dan menyelesaikan sekolah tingkat atas di SMAN 2 Rantepao (2009-2012).

Tahun 2012 penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi, Manado. Dua tahun kemudian yaitu tahun 2014 penulis memilih