

Desain Awal Pembuatan Glider *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) Parahyangan

Faisal Wahab

Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung, Indonesia
faisal.wahab@unpar.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi robot bawah air saat ini menjadi banyak perhatian. Salah satu jenis robot bawah air adalah Glider *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV). Robot ini dapat bekerja secara otomatis tanpa operator berdasarkan perubahan daya apung (*buoyancy*) agar dapat bekerja dalam tiga kondisi, yaitu mengapung, melayang, dan tenggelam. Penelitian ini merupakan desain awal dan pembuatan Glider AUV Parahyangan berbiaya rendah. Robot yang dirancang terdiri dari sistem elektrik, mekanik, dan program. Robot ini dibuat memiliki satu derajat kebebasan yaitu menggerakkan sudut *pitch* dengan menggunakan dua buah penggerak. Penggerak pertama digunakan untuk mengubah daya apung dengan memasukan air ke dalam tangki robot, sedangkan penggerak kedua digunakan untuk menggeser *movable mass* sehingga sudut *pitch* robot ini dapat dikendalikan. Hasil eksperimen menunjukkan sistem elektrik, mekanik, dan program dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Robot ini diujicobakan juga dengan diberi *setpoint* sudut *pitch* sebesar 14° dan hasilnya robot dapat mencapai *set point* pada detik ke-46. Pada uji coba tersebut, robot mengalami osilasi ketika menuju *setpoint* yang disebabkan oleh getaran motor *stepper*. Namun demikian, osilasi dapat berkurang saat robot mencapai *setpoint*.

Kata kunci: *Autonomous Underwater Vehicle*, Glider, satu derajat kebebasan, robot

Abstract

The development of underwater robot technology is now a lot of attention. One type of underwater robot is the Glider Autonomous Underwater Vehicle (AUV). This robot can work automatically without an operator based on buoyancy changes in order to work in three conditions, namely float, float, and sink. This research is a preliminary design and manufacture of low-cost Parahyangan AUV Gliders. Robot designed consists of electrical, mechanical, and program systems. This robot is made to have one degree of freedom which is to move the pitch angle by using two movers. The first drive is used to change buoyancy by inserting water into the robot tank, while the second drive is used to shift the movable mass so that the robot's pitch angle can be controlled. The experimental results show that electrical, mechanical, and program systems can work according to the design. This robot is also tested by giving a setpoint of a pitch angle of 14° and the results of the robot can reach the set point in the 46th second. In the trial, the robot experienced oscillation when it reached the setpoint which was caused by the vibration of the stepper motor. However, oscillations can be reduced when the robot reaches the setpoint.

Keywords: *Autonomous Underwater Vehicle, Glider, one Degree of Freedom, robotic*

I. PENDAHULUAN

Lebih dari 70% wilayah Indonesia adalah lautan. Potensi sumber daya lautan Indonesia sangatlah besar. Selain diapit oleh dua samudra, lautan Indonesia juga menjadi jalur perdagangan internasional. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan teknologi untuk menjaga, mengobservasi, dan mengeksplorasi lautan Indonesia untuk kepentingan seluruh rakyat. Salah

satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan robot-robot bawah air. Kelebihan menggunakan robot bawah air adalah dapat diproduksi dengan banyak dan mengurangi tingkat resiko kecelakaan manusia.

Robot bawah air biasanya disebut *Remote Operated Underwater Vehicle* (ROV). ROV memiliki beberapa kemampuan, diantaranya penyelamatan, pencarian, pemeriksaan, pengawasan, pendeteksian, dan eksplorasi [1]. Namun, salah satu

keterbatasan ROV adalah jalur komunikasi dan jalur pemasok energi yang membutuhkan jaringan kabel sebagai penghubung antara operator dengan robot, sehingga sulit untuk menjangkau kondisi lokasi yang sangat jauh [2].

Penelitian robot bawah air saat ini sudah banyak menggunakan sistem otomatis. Selain mengurangi tingkat kesalahan diakibatkan oleh kelalaian manusia, sistem otomatis juga dapat menjangkau daerah yang sangat jauh tanpa adanya bantuan operator [3]. Sistem otomatis pada robot bawah air disebut dengan *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV). AUV harus dibekali dengan kemampuan dapat bernavigasi, penjajakan, kestabilan, manuver, dan kekokohan terhadap gangguan dalam air tanpa ada kendali pada manusia [4]. Salah satu aplikasinya adalah pembuatan gambar 3D hiu putih [5] dan pemetaan gunung es [6].

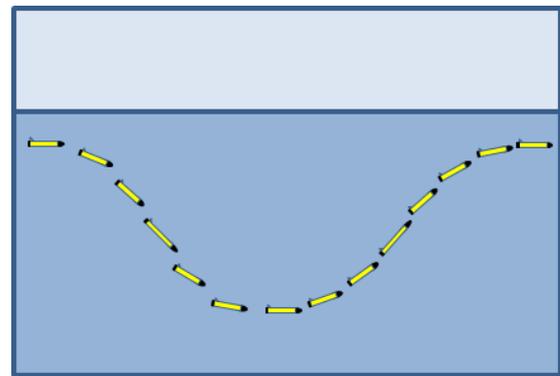
Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan desain awal perancangan dan pembuatan Glider AUV Parahyangan yang berbiaya rendah. Glider merupakan salah satu jenis dari AUV. Glider AUV yang dirancang meliputi pembuatan sistem elektrik dan sistem mekanik serta program untuk ujicoba sistem Glider AUV. Glider bekerja dalam tiga kondisi, yaitu tenggelam, mengapung, dan melayang. Ketiga kondisi tersebut dapat dilakukan dengan mengatur massa dari Glider AUV itu sendiri. Pengaturan massa Glider yaitu dengan cara memasukkan air ke dalam tangki dan membuang air dari tangki menggunakan pompa [7]. Kelebihan dari Glider AUV adalah penggunaan konsumsi energi yang rendah, karena konsumsi energi digunakan hanya untuk mengendalikan *buoyancy engine* dan *movable mass*. Selain itu, kelebihan dari Glider AUV adalah dapat bergerak ke dalam air dengan kedalaman tertentu dan dapat berjalan sampai dengan jarak yang sangat jauh.

II. METODE PENELITIAN

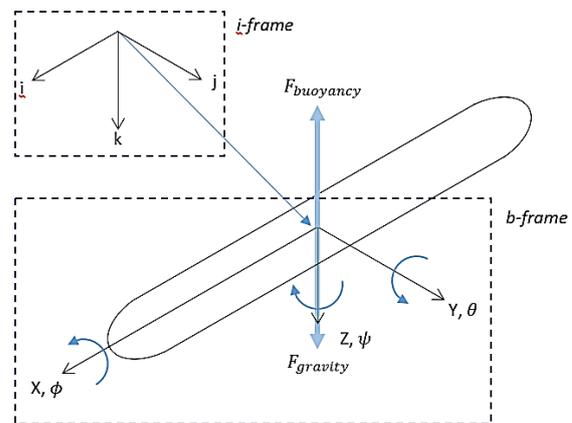
A. Model Glider AUV

Glider adalah salah satu tipe dari AUV yang menggunakan perubahan daya apung (*buoyancy*) agar bergerak naik dan turun dalam air. *Buoyancy* adalah daya tekan ke atas dari cairan terhadap suatu benda sebagian atau seluruhnya yang dicelupkan di dalam cairan. Daya apung ada 3 macam, yaitu:

1. Daya apung positif (*positive bouyancy*), yaitu bila suatu benda mengapung jika massa jenis benda lebih kecil dari massa jenis zat cair.
2. Daya apung negatif (*negative bouyancy*), yaitu bila suatu benda tenggelam jika massa jenis benda lebih besar daripada massa jenis zat cair.



Gambar 1. Pergerakan Glider AUV



Gambar 2. Kerangka koordinat Glider AUV

3. Daya apung netral (*neutral bouyancy*) yaitu bila benda dapat melayang jika massa jenis benda sama dengan massa jenis zat cair.

Dengan kata lain, jika gaya gravitasi lebih besar daripada gaya apung, maka Glider AUV akan tenggelam dan sebaliknya jika gaya gravitasi lebih kecil dari pada gaya apung, maka Glider AUV akan mengapung. Gambar 1 menunjukkan konsep pergerakan Glider AUV. Gaya berat berkerja pada titik pusat berat benda atau *Center of Gravity* (CoG), sedangkan gaya apung berkerja pada titik pusat gaya apung atau *Center of Buoyancy* (CoB). Lokasi CoG dan CoB berada pada posisi sejajar dalam arah vertikal namun bergeser sedikit agar membuat gravitasi konstan. Tabel 1 menunjukkan notasi pergerakan Glider AUV [8]-[9].

Tabel 1. Tabel Notasi Glider AUV

Derajat Kebebasan	Gerakan	Gaya dan Momen	Posisi dan Sudut Euler
1	<i>Surge</i>	X	x
2	<i>Sway</i>	Y	y
3	<i>Heave</i>	Z	z
4	<i>Roll</i>	K	ϕ
5	<i>Pitch</i>	L	θ
6	<i>Yaw</i>	M	ψ

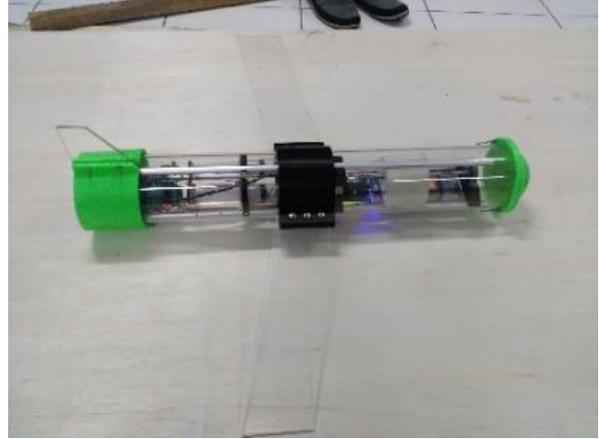
Derajat kebebasan Glider AUV digambarkan dengan dua kerangka koordinat pada Gambar 2. Notasi pada *i-frame* adalah i , j dan k . Aksis inersia i dan j terletak pada *horizontal* tegak lurus terhadap gravitasi dan k aksis terletak arah dari vektor gravitasi. Pada sumbu x terdiri dari 2 bagian, yaitu *surge* artinya Glider AUV bergerak maju/mundur searah sumbu x . *Roll* merupakan gerak rotasi terhadap sumbu x . Pada sumbu y , *sway* artinya Glider AUV bergerak ke samping searah sumbu y . *Pitch* merupakan gerak rotasi terhadap sumbu y , gerakanya seperti menganggukan kepala. Pada sumbu z , *heave* artinya Glider AUV bergerak ke atas/bawah searah sumbu z . *Yaw* merupakan gerak rotasi terhadap sumbu z , gerakannya seperti menggelengkan kepala.

B. Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan Glider AUV, terdiri dari badan, ekor, penutup depan dan belakang, dan ditambah dengan sayap tetap di kiri dan di kanan. Pada pembuatan Glider AUV, terdapat beberapa material yang digunakan. Pada bagian luar, yaitu badan robot digunakan bahan dari akrilik. Ukuran pipa akrilik silinder yang digunakan ini adalah berdiameter 12 cm dan ketebalan 5 mm. Bagian penutup 2 sisi menggunakan bahan nilon dengan ketebalan 1 cm. Penyangga untuk sayap menggunakan bahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang dibuat menggunakan mesin 3D printer. Ukuran robot Glider AUV yang dirancang adalah panjang 75 cm, lebar 150 cm dan memiliki massa adalah 8,5 Kg. Gambar 3 menunjukkan bentuk badan Glider AUV Parahyangan.

Pada bagian dalam robot terdapat pipa aluminium yang berfungsi sebagai penyangga

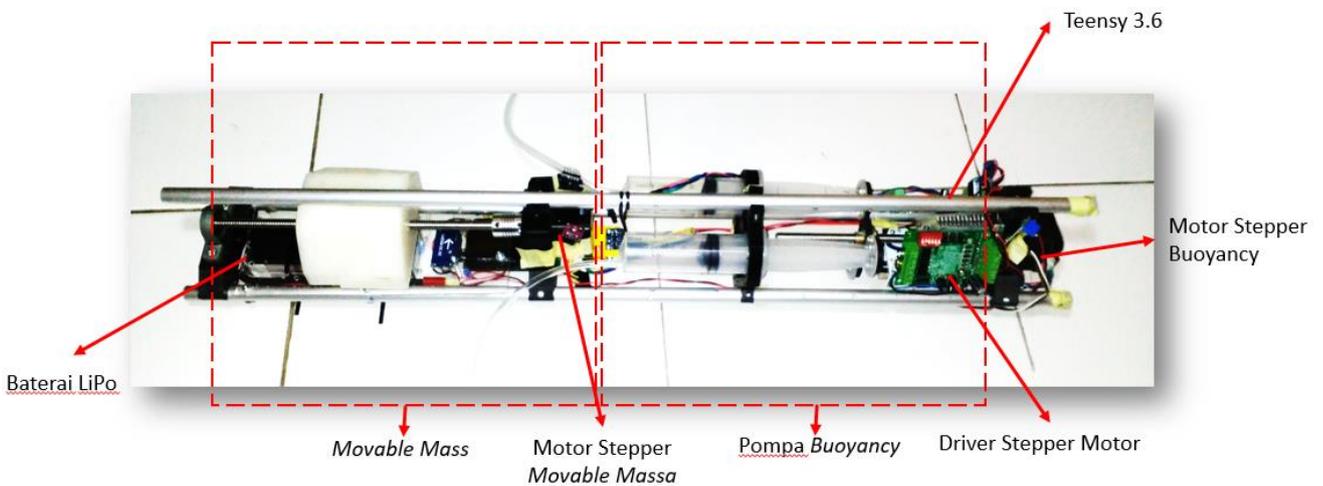
komponen-komponen, diantaranya motor *stepper*, tangki air, dan komponen elektronik lainnya. Supaya air tidak masuk ke dalam badan robot, maka pada bagian penutup digunakan *sealer* karet seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 5 menunjukkan keseluruhan bagian dalam dan komponen Glider AUV Parahyangan.



Gambar 3. Badan Glider AUV Parahyangan



Gambar 4. Penutup badan Glider AUV Parahyangan



Gambar 5. Bagian dalam Glider AUV

C. Sistem Pergerakan

Sebelum menggerakkan robot, harus diketahui massa jenis Glider AUV terlebih dahulu, yaitu dengan menentukan volume dan massa jenis dari Glider AUV. Karena Glider AUV berbentuk tabung, maka menentukan volume tabung digunakan persamaan:

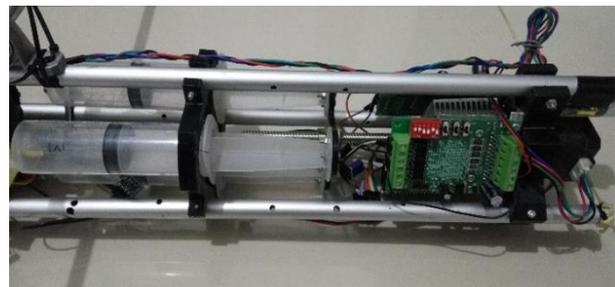
$$V = \pi \times r^2 \times t \tag{1}$$

Dimana V adalah volume tabung, r adalah jari-jari tabung dan t adalah tinggi tabung. Dengan nilai $r = 6$ cm dan $t = 75$ cm, maka didapatkan volume Glider sebesar $8482,3$ cm³. Untuk menentukan massa jenis Glider AUV menggunakan persamaan:

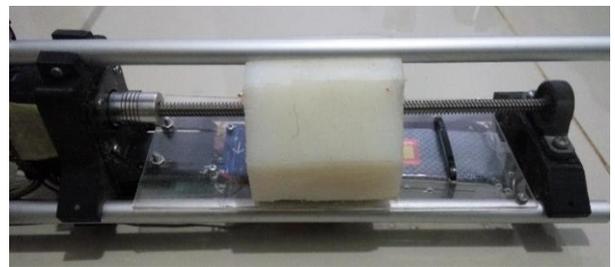
$$\rho = \frac{m}{v} \tag{2}$$

Dimana ρ adalah massa jenis (gr/cm³), v adalah volume (cm³), dan m adalah massa (gr). Dengan nilai massa glider AUV adalah 8.500 gr, maka didapatkan massa jenis glider adalah 1,002 gr/cm³. Jika diketahui massa jenis air adalah 1 gr/cm³, maka kondisi Glider AUV berada dalam posisi netral.

Pergerakan Glider AUV menggunakan dua buah penggerak. Penggerak pertama digunakan untuk menarik air dari luar ke dalam tangki air atau sebaliknya yang digambarkan pada Gambar 6. Penarikan air ini digunakan untuk menambah massa jenis robot supaya dapat tenggelam atau melayang sedangkan pembuangan air dilakukan agar Glider AUV dapat pada posisi melayang atau mengapung.

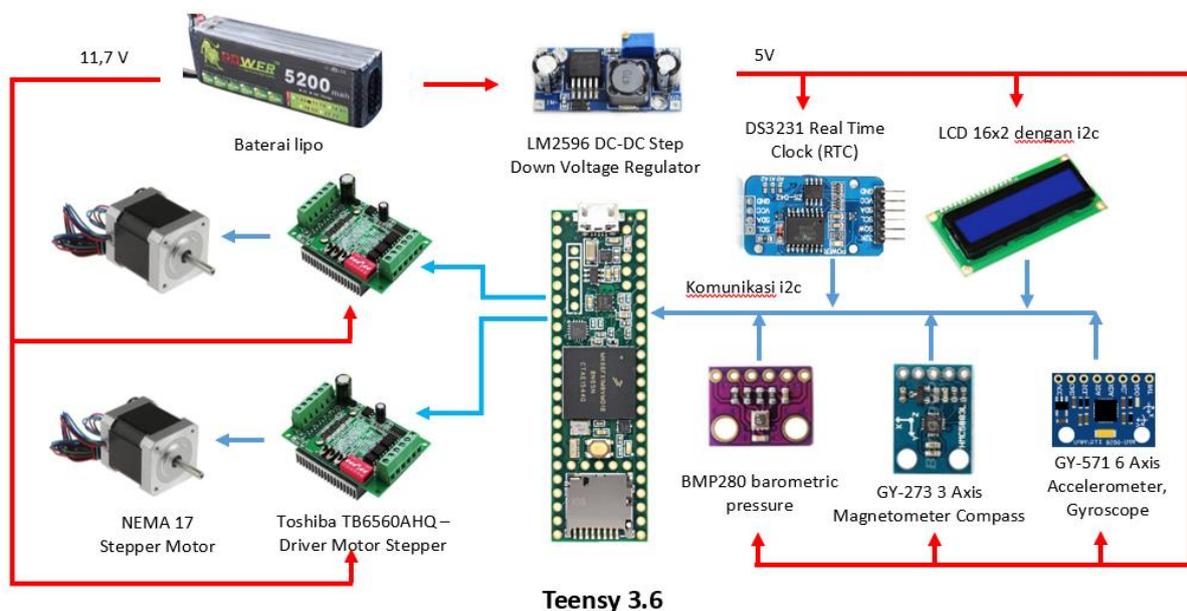


Gambar 6. Pergerakan pengaturan buoyancy Glider AUV



Gambar 7. Pergerakan movable mass Glider AUV

Penggerak kedua yang digunakan untuk mengatur sudut *pitch* atau gerak rotasi terhadap sumbu y Glider AUV yaitu dengan cara menggeserkan *movable mass* seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Bagian ini terdiri dari pemberat (*ballast*) yang dapat bergeser secara *horizontal* menggunakan motor *stepper* yang dihubungkan dengan batang ulir. Pergeseran pemberat ini mengakibatkan posisi dari CoG Glider bergeser, sehingga menimbulkan perbedaan berat antar depan dan belakang, maka muncul sudut *pitch* pada Glider. Glider AUV Parahyangan dibatasi hanya dapat maju pada sumbu x atau *surge*.



Gambar 8. Diagram sistem elektrik

D. Perancangan Sistem Elektrik

Pada bagian sistem elektrik, terdiri dari masukan berupa sensor, pengendali berupa mikrokontroler, dan keluaran yang berupa aktuator. Komponen yang digunakan untuk penelitian ini diantaranya adalah sensor BMP 280 *Barometric Pressure*, GY273 *3-Axis Magnetometer Compass*, GY571 *6-Axis Accelerometer* dan *Gyroscope*, DS3231 *Real Time Clock* (RTC), mikrokontroler Teensy 3.6, modul LCD dengan komunikasi I2C, *driver* motor *stepper*, motor *stepper* Nema 17, NE555 *frequency adjustable*, LM2596 *DC-DC step down*, dan baterai Li-Po 3 sel. Untuk lebih jelasnya, diagram sistem elektrik dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada bagian masukan, terdapat sensor tekanan, sensor *magnetometer*, dan sensor orientasi. Sensor tekanan BMP 280 *Barometric Pressure* digunakan untuk mengetahui kedalaman robot di dalam air. Sensor ini akan mendeteksi seberapa jauh robot dapat tenggelam dan mendeteksi posisi robot permukaan air. Sensor *magnetometer* adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur kekuatan atau arah medan magnet di sekitar alat tersebut. Sensor *magnetometer* yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor GY273. Untuk sensor orientasi, sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) digunakan untuk mengetahui sudut dan orientasi robot Glider. Sensor IMU adalah instrumentasi elektronik yang digunakan untuk mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi dengan menggunakan *accelerometer* dan *gyroscope*. Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah GY571 dengan 6 derajat kebebasan.

Mikrokontroler yang digunakan pada sistem Glider ini adalah Teensy 3.6 sebagai pengendali utama. Spesifikasi dari Teensy 3.6 memiliki kecepatan prosesor 180 MHz dengan ARM Cortex-M4, 1 Mb *Flash*, 256 Kb RAM, 4 Kb EEPROM, USB *High Speed* (480 Mbps) *Port*, 2 CAN *Bus Port*, 32 *General Purpose DMA Channels*, 22 buah keluaran PWM, dan 4 buah I2C *Port* [10].

Pada bagian aktuator, sistem Glider ini menggunakan motor *stepper* sebagai penggerak. Motor *stepper* adalah salah satu jenis motor DC yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. Prinsip kerja motor *stepper* adalah bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit, dimana motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor *stepper* tersebut. Motor *stepper* digunakan untuk mengatur *bouyancy* dan *movable mass* Glider. *stepper* ini juga dilengkapi *driver* yang berfungsi sebagai piranti yang bertugas untuk menjalankan motor baik mengatur arah putaran motor maupun kecepatan putar motor.

Sebagai perangkat penunjang, sistem komunikasi yang digunakan dari beberapa sensor diatas menggunakan *Inter Integrated Circuit* (I2C). I2C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Pada sistem catu daya, baterai yang digunakan adalah baterai Lithium Polimer dengan spesifikasi memiliki 3 sel, 5200 mAh, dan 11,1 V. Beberapa sensor membutuhkan tegangan 5 V, sehingga ditambahkan modul *step down regulator* LM2596 dengan menghubungkan dari baterai Li-Po dengan LM2596.

E. Perancangan Algoritma

Untuk mengendalikan manuver dari Glider AUV, digunakan mikrokontroler dan program sebagai pengendali Glider AUV. Modul mikrokontroler Teensy 3.6 yang digunakan diprogram menggunakan bahasa C dengan perangkat lunak IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino. Tahapan pertama adalah inisialisasi, yaitu program mendeteksi status dari sensor 3 axis, kompas, tekanan, dan perangkat lainnya. Gambar 9 merupakan program untuk menguji sudut *pitch* Glider AUV dan Gambar 10 menjelaskan diagram alir sistem kerja Glider AUV.

Posisi awal Glider AUV saat berada di dalam air dalam kondisi mengapung dan sudut 0 derajat. Selanjutnya program memberikan instruksi kepada motor *stepper* untuk memasukan air ke dalam tanki sampai Glider AUV berada pada posisi netral atau

```

/*Inisialisasi*/
Read sensorIMU_Y
..
if ((sensorIMU_Y>=0) && (sensorIMU_Y
<=13))
    {Motor_movable_mass = ON
    Arah_movable_mass = CW}
else if ((sensorIMU_Y>=15) &&
(sensorIMU_Y<=330))
    { Motor_movable_mass = ON
    Arah_movable_mass = CW}
else if ((sensorIMU_Y>=331) &&
(sensorIMU_Y<=360))
    {Motor_movable_mass = ON
    Arah_movable_mass = CCW}
else {Motor_movable_mass = OFF}
..

```

Gambar 9. Program menggerakkan Glider AUV Parahyangan

melayang. Pada saat posisi melayang, sudut Glider AUV tidak pada posisi 0 derajat, dikarenakan penambahan air pada tangki mengubah posisi CoG dan CoB dari Glider AUV. Oleh karena itu, program mengatur ulang supaya Glider AUV menggunakan sensor 3 *axis* agar kembali ke sudut 0 derajat. Selanjutnya adalah menguji Glider, misalkan diberi *setpoint* sebesar 14 derajat. Program menggerakkan motor *stepper movable mass* sampai Glider AUV dapat menekuk ke depan sampai dengan dengan sudut 14 derajat. Setelah sensor IMU mendeteksi sudut 14 derajat, motor *stepper* berhenti, dan program selesai.



Gambar 10. Diagram alir sistem kerja Glider AUV

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Glider AUV

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan pembuatan spesifikasi sistem Glider secara umum. Tabel 2 menjelaskan spesifikasi Glider AUV Parahyangan yang terdiri dari spesifikasi mekanik dan elektrik.

B. Pengujian Sistem Komunikasi Sensor

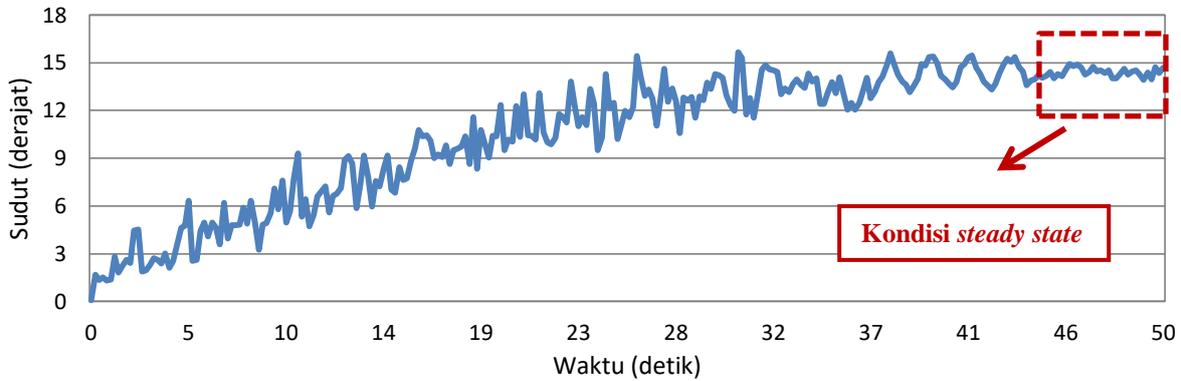
Seperti dijelaskan sebelumnya, komunikasi antara sensor-sensor dengan mikrokontroler menggunakan protokol I2C. Gambar 11 menunjukkan hasil pengujian terhadap sistem komunikasi I2C. Alamat komunikasi I2C yang terdeteksi oleh mikrokontroler adalah sebagai berikut: BMP280=0x76, RTC=0x68, MPU6050=0x69, HMC5883L=0x0D, dan LCD=0x3F. Pada awalnya sensor MPU6050 beralamat 0x68 sama dengan alamat RTC, namun dengan menambahkan tegangan Vcc pada AD0, maka alamat berganti menjadi 0x69.

Tabel 2. Tabel spesifikasi Glider AUV Parahyangan

Spesifikasi	Penjelasan
Platform	Sea Glider
Tipe body	Torpedo
Ukuran (PxLxT)	75 cm × 150 cm × 12 cm
Ukuran body (PxLxT)	70 cm × 12c m × 12 cm
Material hull	Akrilik (ketebalan 5 mm)
Berat	8,5 kg
Sistem pegaturan buoyancy	ya
Kapasitas tangki	150 ml
Movable mass	ya
DOF buoyancy	1
Sistem navigasi	Compass sensor
Sensor	Pressure sensor, 3 axis accelerometer, Gyroscope
Data logging	ya
Waktu	RTC DS3231
Baterai	Lithium Polimer

```
Scanning...
I2C device found at address 0x0D !
I2C device found at address 0x3F !
I2C device found at address 0x57 !
I2C device found at address 0x68 !
I2C device found at address 0x69 !
done
```

Gambar 11. Tampilan alamat I2C yang terdeteksi



Gambar 12. Grafik Sudut *Pitch* Glider AUV

C. Pengujian Sistem Penggerak

Pada sistem penggerak, pengujian dilakukan dengan menentukan sudut *pitch* robot Glider AUV. Pada pembahasan sebelumnya, posisi awal robot diatur pada kondisi datar dengan kemiringan ± 0 derajat. Sudut *pitch* yang diinginkan misalkan 14 derajat. Sudut *pitch* robot ini dideteksi oleh sensor IMU dan dikirim ke modul Teensy 3.6 menggunakan komunikasi I2C.

Gambar 12 menunjukkan grafik pendeteksian sensor IMU terhadap perubahan sudut *pitch* Glider AUV ketika posisi *movable mass* bergeser dan diberikan *setpoint* sebesar 14 derajat. Dari hasil percobaan, Glider AUV dapat mencapai *setpoint* ketika berada pada detik ke-46 dan mencapai *steady state* pada detik ke-50. Pada grafik tersebut banyak gangguan (*noise*). Hal ini disebabkan getaran dari motor *stepper* saat menggerakkan *movable mass* yang mengakibatkan Glider AUV tidak stabil dan cenderung bergerak turun naik. Namun, kondisi ini kembali stabil saat Glider mencapai *setpoint* dan motor *stepper* berhenti.

IV. KESIMPULAN

Robot Glider AUV Parahyangan telah berhasil dirancang yang meliputi perancangan, sistem mekanik, elektrik, dan program. Dari hasil uji coba dan sebagai tahap awal, seluruh sistem elektrik dan mekanik Glider AUV Parahyangan telah berfungsi dengan baik. Dengan memberikan acuan sudut ke mikrokontroler, Glider AUV dapat mengikuti sudut yang diinginkan dengan menggunakan sensor-sensor yang telah terpasang dan menggerakkan motor *stepper* untuk menggerakkan *movable mass* dengan sudut mencapai *setpoint*. Pengembangan selanjutnya yaitu membuat model matematis sistem Glider AUV Parahyangan agar mendapatkan performa maksimal dalam perancangan pengendaliannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Katolik Parahyangan (UNPAR) sebagai kontributor utama dalam pembuatan Glider AUV Parahyangan ini.

REFERENSI

- [1] H. Li, Y. Shi, and W. Yan, "Receding horizon formation control of nonholonomic autonomous underwater vehicles," *Chinese Control Conf. CCC*, pp. 6062–6067, 2016.
- [2] J. Kim and W. Baekl, "Way-point tracking for a Hovering AUV by PID controller", in *International Conference on Control, Automation and Systems*, p. 744, 2015.
- [3] V. Upadhyay, "Design and motion control of Autonomous Underwater Vehicle," *IEEE Underw. Technol*, 2015.
- [4] S. S. Patel, K. Kumar, B. A. Botre, and S. A. Akbar, "Design of fuzzy logic based controller with pole placement for the control of yaw dynamics of an Autonomous underwater vehicle," *IEEE Int. Conf. Electron. Energy, Environ. Commun. Comput. Control (E3-C3)*, 2016.
- [5] A. L. Kukulya, R. Stokey, R. Littlefield, F. Jaffre, E. M. H. Padilla, and G. Skomal, "3D real-time tracking, following and imaging of white sharks with an Autonomous Underwater Vehicle," *MTS/IEEE Ocean. 2015 - Genova Discov. Sustain. Ocean Energy a New World*, 2015.
- [6] W. Kimball and M. Rock, "Mapping of Translating, Rotating Icebergs With an Autonomous Underwater Vehicle", *Journal of Oceanic Engineering*, vol. 40, no. 1, 2015.
- [7] I. Khalid, "Vertical Motion Simulation and Analysis of USM Underwater Glider", *International Conference on Automation, Robotics and Applications*, pp. 139, 2011.
- [8] T. I. Fossen, *Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*, Norway: Marine Cybernetics, 2002.

- [9] T. I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles, Marine Cybernetics*, Trondheim, Norway: John Wiley & Sons, 1994.
- [10] (2018) Adafruit website. [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/3266>