

PENGEMBANGAN ROBOT BAWAH AIR
BERBASIS ARDUINO MEGA 2560



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

RM. RYAN MAHARDHIKA DEWA 444 16 015
AGUS NARA DEWA 444 16 001

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **“Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560”** oleh RM. Ryan Mahardhika Dewa NIM 444 16 015 dan Agus Nara Dewa NIM 444 16 001 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

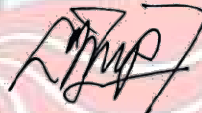
Makassar, 23 September 2020

Pembimbing I



Dr. Eng. Akhmad Taufik, S.T., M.T.
NIP. 19760413 200812 1 003

Pembimbing II



Ir. Lewi, M.T.
NIP. 19650913 199103 1 006

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
D4 Teknik Mekatronika









Dr. Ir. Simon Ka'ka, M.T.
NIP. 19590913 198803 1 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari jum'at tanggal 23 September 2020, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa: RM. Ryan Mahardhika Dewa NIM 444 16 015 dan Agus Nara Dewa NIM 444 16 001 dengan judul: "Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560"

Makassar, 23 September 2020

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- | | | |
|--|---------------|---|
| 1. Dr. Eng. Abdul Kadir Muhammad, S.T.,
PG.Dip., M.Eng. | Ketua |  |
| 2. Abdul Rahman, S.T., M.T. | Sekretaris |  |
| 3. Dr. Ir. Simon Ka'ka, M.T. | Anggota |  |
| 4. Ir. Abdul Salam, M.T. | Anggota |  |
| 6. Dr. Eng. Akhmad Taufik, S.T., M.T. | Pembimbing I |  |
| 5. Ir. Lewi, M.T. | Pembimbing II |  |

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Tuhan Yang Maha Esa, kiranya pantaslah penulis memanjatkan puji syukur atas segala nikmat yang telah diberikan kepada penulis, baik kesempatan maupun kesehatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Pada skripsi ini penulis memilih judul: “Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar sarjana pendidikan pada Program Studi D-4 Teknik Mekatronika, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat tantangan dan hambatan, tetapi dengan bantuan dari berbagai pihak tantangan itu bisa teratasi. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, semoga bantuannya mendapat balasan yang setimpal dari Allah *Subhanahu wa Ta'ala*. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Keluarga yang selalu mendoakan segala keselamatan dan kelancaran serta memberikan bantuan sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, Ph.D., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur, S.S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

4. Bapak Dr. Ir. Simon Ka'ka, M.T., selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Dr. Eng. Akhmad Taufik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dari Penulis.
6. Bapak Ir. Lewi, M.T. selaku Dosen Pembimbing II dari Penulis.
7. Teman-teman seperjuangan kelas 4 D4 Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Ujung Pandang Angkatan 2016, yang telah banyak berdiskusi dan bekerjasama dengan penulis selama proses pembuatan Skripsi.
8. Seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Skripsi ini, namun namanya tak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan siapa pun yang terlibat dalam penyusunan skripsi ini dengan nikmat dan berkah yang melimpah. Amin.

Besar harapan penulis, dengan hadirnya skripsi ini dapat memberikan sumbangsih yang berarti demi kemajuan ilmu pengetahuan bangsa terutama pada bidang Mekatronika. Namun, penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih belum sempurna yang luput dari perhatian penulis. Baik itu dari bahasa yang digunakan maupun dari teknik penyajiannya. Oleh karena itu, dengan segala kekurangan dan kerendahan hati, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca demi perbaikan skripsi ini ke depannya.

Makassar, 23 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Robot Bawah Air	5
2.2 Bagian-bagian Robot Bawah Air	5
2.2.1 <i>Body</i> Robot Bawah Air	5
2.2.2 Sistem Pengendali	6
2.2.3 Sistem Penggerak	7
2.2.4 Sistem Komunikasi Data.....	13
2.3 Perhitungan Robot Bawah Air	15
2.3.1 Gaya Apung dan Berat Benda	16
2.3.2 Tekanan Hidrostatik dan Tekanan Atmosfer	17
2.3.3 Hukum Stokes	20

2.3.4	Keseimbangan dan Titik Berat	21
2.3.4	Kecepatan dan Kecepatan Sudut	24
2.4	Penelitian Robot Bawah Air Sebelumnya	25
2.4.1	Rancang Bangun Robot Bawah Air Mini <i>ROV</i> (<i>Remotely Operated Vehicle</i>) Berbasis Mikrokontroler ATMega16 (M. Abdul Hamid Koli, 2015)	25
2.4.2	Pengembangan Robot Jelajah Bawah Air Untuk Observasi Terumbu Karang (Andik Yulianto, 2015)	27
2.4.3	Rancang Bangun Robot Bawah Air Menggunakan Sistem Ballast Berbasis <i>ROV</i> (<i>Remotely Operated Vehicle</i>) dengan Frekuensi 433 Mhz (Edi Mulyana, 2016)	28
2.4.4	Rancang Bangun Robot Bawah Air (Yogie Junan, 2018)	29
2.4.5	Rancang Bangun Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560 (Amirullah, 2019)	31
BAB III METODE PENELITIAN		33
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	33
3.3	Tahapan Penelitian	35
3.3.1	Studi Literatur	37
3.3.2	Perancangan Sistem Mekanik dan Elektronik	37
3.3.3	Pengadaan Alat dan Bahan	41
3.3.4	Pembuatan Sistem Mekanik	42
3.3.5	Pengujian Kekedapan Air	43
3.3.6	Pembuatan Sistem Elektronik	44
3.3.7	Pengujian Sistem Elektronik	45
3.3.8	Perakitan Alat Mekanik dan Elektronik.....	45
3.3.9	Pembuatan Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>)	46
3.3.10	Pembuatan Program	47

3.3.11	Pengujian Robot	48
3.3.12	Uji Coba Sistem Robot Bawah Air	49
3.3.13	Pengambilan Data	50
3.3.14	Pembuatan Laporan	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		52
4.1	Hasil	52
4.1.1	Hasil Perancangan Sistem Mekanik	52
4.1.2	Hasil Perancangan Sistem Elektronik	56
4.1.3	Hasil Perancangan Perangkat Lunak	61
4.1.4	Hasil Pengujian.....	64
4.2	Pembahasan	100
4.2.1	Proses Pengujian Alat	100
4.2.2	Analisis Pengujian	101
BAB V PENUTUP		104
5.1	Kesimpulan	104
5.2	Saran	104
DAFTAR PUSTAKA		106
LAMPIRAN		107



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat	33
Tabel 3. 2 Bahan	34
Tabel 4. 1 Spesifikasi Motor Brushless A2122/6T	65
Tabel 4. 2 Hasil pengujian berat kabel dari <i>Joystick</i>	68
Tabel 4. 3 Perbandingan jenis material pemberat	70
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kekedapan Bahan Lapisan Body Robot	82
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kekedapan Robot Bawah Air	98



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arduino Mega 2560.....	7
Gambar 2. 2 <i>Brushless Motor</i>	10
Gambar 2. 3 <i>Electronic Speed Control</i>	11
Gambar 2. 4 Tipe Propeller <i>Controlable Pitch Propeller</i>	13
Gambar 2. 5 <i>Unshielded Twisted Pair</i>	14
Gambar 2. 6 <i>Bluetooth Module HC-05</i>	15
Gambar 2. 7 Arah Gaya Pada Tekanan Hidrostatik.....	17
Gambar 2. 8 Tekanan Hidrostatik.....	18
Gambar 2. 9 Tekanan Atmosfer	20
Gambar 2. 10 Robot Bawah Air Hasil Rancangan M. Abdul Hamid Koli Dkk Tahun 2015	26
Gambar 2. 11 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Andik Yulianto Dkk Pada Tahun 2015	28
Gambar 2. 12 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Edi Mulyana Dkk Pada Tahun 2015	29
Gambar 2. 13 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Yogie Junan Dkk Pada Tahun 2018	30
Gambar 2. 14 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Amirullah Dkk Pada Tahun 2019	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian Robot Bawah Air.....	36
Gambar 3. 2 Hasil rancangan luar robot bawah air yang kedap air	38
Gambar 3. 3 Blok Diagram Robot Bawah Air.....	39
Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Robot Bawah Air.....	40

Gambar 3. 5 Diagram Alir Program Utama Robot Bawah Air Untuk *BLDC*

Motor 47

Gambar 4. 1 Hasil Rancangan Robot Bawah Air.....	52
Gambar 4. 2 Tampak Atas Robot Bawah Air	53
Gambar 4. 3 Tampak Depan Robot Bawah Air	54
Gambar 4. 4 Tampak Samping Robot Bawah Air.....	54
Gambar 4. 5 <i>Layout Board</i> Kontroler Robot Bawah Air.....	57
Gambar 4. 6 Rancangan Rangkaian Elektronik Hubungan antara <i>Joystick</i> , <i>Smartphone</i> , <i>Bluetooth</i> dan <i>Arduino Mega 2560</i>	58
Gambar 4. 7 Rangkaian Elektronik Hubungan antara <i>Joystick</i> , <i>Smartphone</i> , dan <i>Arduino Mega 2560</i>	58
Gambar 4. 8 Rancangan Rangkaian Elektronika Hubungan antara <i>Brushless</i> <i>DC Motor</i> , <i>ESC</i> , dan <i>Arduino Mega 2560</i>	59
Gambar 4. 9 Rangkaian Elektronika Hubungan antara <i>Brushless DC Motor</i> , <i>ESC</i> , dan <i>Arduino Mega 2560</i>	59
Gambar 4. 10 Rangkaian Kontroler Setelah Dicitak pada Papan PCB.....	60
Gambar 4. 11 Perakitan Komponen pada Rangkaian Kontroler.....	60
Gambar 4. 12 Tampilan Utama Aplikasi	61
Gambar 4. 13 Program <i>On-Off</i>	62
Gambar 4. 14 Program Kecepatan Motor yang Dapat Diatur.....	62
Gambar 4. 15 Program Kecepatan Secara Konstan.....	63
Gambar 4. 16 Tampilan Aplikasi Pada <i>Smartphone</i>	63
Gambar 4. 17 Pengujian Motor <i>Brushless</i>	67
Gambar 4. 18 Pengujian <i>Joystick</i>	67
Gambar 4. 19 Hasil Pengukuran Massa Robot Tanpa Kaki Pemberat.....	69

Gambar 4. 20 Hasil Pengukuran Massa Sebuah Kaki Pemberat	69
Gambar 4. 21 Tambahan Kaki Pemberat	81
Gambar 4. 22 Analisis Tekanan Hidrostatik yang dialami oleh Robot.....	83
Gambar 4. 23 Analisis gaya tekan yang dialami oleh robot	85
Gambar 4. 24 Proses Pengujian Kekedapan pada Bak Air	99
Gambar 4. 25 Penyambungan Komponen Elektronik dengan Sumber Daya	100
Gambar 4. 26 Menutup Penutup Belakang	100
Gambar 4. 27 Kontrol <i>Joystick</i> terhadap motor <i>brushless</i>	101
Gambar 4. 28 <i>Free Body Diagram</i>	103



PENGEMBANGAN ROBOT BAWAH AIR BERBASIS ARDUINO MEGA 2560

RINGKASAN

Kegiatan eksplorasi perairan (terutama laut) di Indonesia masih banyak mengandalkan cara konvensional atau tenaga penyelam dalam melakukan segala aktivitasnya, baik itu kegiatan penelitian maupun pencarian objek di bawah air. Medan yang sulit kerap menjadi kendala terbesar bagi sebagian besar penyelam dalam melakukan eksplorasi di bawah air, mulai dari arus dan tekanan air yang terlalu kuat, *spot* yang tidak dapat dijangkau oleh manusia bahkan ancaman dari binatang-binatang buas di daerah perairan. Dari berbagai kendala tersebut tidak sedikit nyawa penyelam yang melayang akibat kegiatan eksplorasi tersebut. Oleh karena itu perlu dibuat robot bawah air (*underwater robot*) untuk mengganti fungsi penyelam tersebut.

- Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah robot bawah air yang kedap terhadap air kedap terhadap air dan mengontrol robot bawah air tersebut menggunakan *joystick* melalui media kabel dan *smartphone* melalui media nirkabel. Sehubungan dengan itu, penelitian ini dimulai dengan perancangan sistem mekanik, sistem elektronik dan program robot. Setelah itu, dilakukan dengan pengujian robot, analisis data, dan pengambilan data menggunakan rumus-rumus teori yang ada. Robot dikontrol secara manual menggunakan *joystick* dan *smartphone* android melalui *bluetooth*.

Perancangan, perakitan, dan pengujian komponen-komponen robot bawah air telah dilakukan. Semua komponen dapat berfungsi, baik aktuator maupun komunikasi data antara robot dan *joystisck*. Pengujian kedap air juga telah dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa badan robot bawah air tersebut telah kedap terhadap air. Jarak terjauh komunikasi data antara robot dengan *joystick* adalah 5 meter sesuai dengan panjang kabel yg digunakan.

DEVELOPMENT OF UNDERWATER ROBOT BASED ON ARDUINO MEGA 2560

SUMMARY

Water exploration activities (especially the sea) in Indonesia still rely a lot on conventional methods or divers in carrying out all their activities, both research activities and the search for objects under water. Difficult terrain is often the biggest obstacle for most divers in conducting exploration under water, ranging from currents and water pressure that is too strong, spots that cannot be reached by humans and even threats from wild animals in the waters. Of the various obstacles, not a few lives of divers who died due to exploration activities. Therefore it is necessary to make an underwater robot to replace the function of the diver.

The purpose of this research is to create an underwater robot that is waterproof and control the underwater robot using a joystick via wired and smartphone via wireless. In this connection, this research begins with the design of mechanical systems, electronic systems and robot programs. After that, carried out by robot testing, data analysis, and data collection using existing theoretical formulas. The robot is controlled manually using a joystick and an android smartphone via bluetooth.

The design, assembly, and testing of underwater robot components have been carried out. All components can function, both actuators and data communication between robots and smartphones. Watertight testing has also been carried out. The test results show that the underwater robot body has been impermeable to water. The furthest distance of data communication between a robot and joystick is 5 meter according to the length of the cable used.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki wilayah perairan laut yang sangat luas. Namun demikian, wilayah perairan tersebut belum dieksplorasi secara optimal. Kegiatan eksplorasi yang dilakukan rata-rata masih di permukaan air. Kegiatan eksplorasi atau penelitian di dalam air belum optimal karena masih menggunakan cara konvensional yaitu masih menggunakan penyelam untuk mengambil data atau melakukan pencarian objek di bawah laut atau bahkan dasar laut. Melihat kondisi perairan tersebut tentu diperlukan teknologi untuk memaksimalkan jangkauan eksplorasi atau penelitian di bawah laut terlebih pada daerah-daerah yang ekstrim.

Perkembangan teknologi terutama robotika dalam berbagai bidang menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia. Robot dalam beberapa hal dapat menggantikan peran manusia. Pemanfaatan robot bawah air (*underwater robot*) dalam bidang kelautan diharapkan dapat membantu pengeksplorasian dan penelitian di bawah laut.

Ruang lingkup kerja robot yang meliputi daerah perairan terutama di dalam air menjadi tantangan tersendiri bagi sebagian besar peneliti karena robot yang dibuat harus dapat bekerja di dalam air dan juga kedap air. Hal ini bertujuan agar komponen-komponen yang ada di dalam robot tidak mengalami kerusakan akibat terkena air sehingga dapat merusak sistem.

Berbagai keterbatasan yang dialami dalam eksplorasi dan penelitian tersebut mendorong penulis untuk membuat suatu rancang bangun robot bawah air (*underwater robot*). Diharapkan kedepannya robot tersebut dapat melakukan tugas-tugas penting terkait proses eksplorasi dan penelitian bawah laut seperti pengukuran beberapa parameter seperti kedalaman laut, tekanan arus laut, kejernihan air serta pencarian dan pendeteksi objek termasuk dalam kegiatan pencarian dan penyelamatan atau *SAR (Search and Rescue)*.

Penelitian tentang Robot Bawah Air telah dimulai di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penelitian tersebut disusun oleh Amirullah dan Mirna Santi dari program studi Teknik Mekatronika. Tujuan dari penelitian tersebut ialah menciptakan robot yang kedap air dan dapat bergerak secara stabil di dalam air menggunakan media *bluetooth* di air tawar. Hasil penelitian menghasilkan robot yang kedap terhadap air dan dapat bergerak di permukaan air akan tetapi tidak dapat menyelam dikarenakan gaya berat dari robot lebih kecil dibandingkan gaya apung robot tersebut. Belum diketahui media *bluetooth* dapat menembus medan air yang dimana air dapat meredam frekuensi dari suatu elektronik. Oleh karena itu, kami mengangkat “Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560” sebagai judul tugas akhir kami.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis mengambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menggerakkan robot bawah air menyelam, mengapung, dan bergerak di dalam air?

2. Bagaimana mengontrol robot bawah air tersebut melalui media kabel dan nirkabel (*Wireless*)?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menggunakan pipa PVC sebagai material *body* robot bawah air dengan modifikasi agar kedap terhadap air.
2. Menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai controller robot bawah air.
3. Menggunakan *brushless DC motor* 12 volt sebagai aktuator untuk menggerakkan robot.
4. Pengendalian robot dilakukan secara manual dengan menggunakan *smartphone* maupun *joystick*.
5. Pengujian robot dilakukan di kolam buatan berukuran panjang 2 meter, lebar 0,5 meter dan tinggi 1 meter dengan ketinggian air 0,6 meter dan menggunakan air tawar.
6. Robot dapat bergerak di dalam air dan tidak mengalami rotasi pada sumbu X, Y, dan Z lebih dari 20° yang tidak diperintahkan oleh kontroler.
7. Robot dapat kedap air sampai kedalaman 1 meter selama 10 menit di air tawar dan kecepatan robot mencapai 0,5 [m/s] pada kondisi fluida tenang di air tawar.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk menggerakkan robot bawah air menyelam, mengapung, dan bergerak di dalam air.

2. Untuk mengontrol robot bawah air tersebut melalui media kabel dan tanpa kabel (*Wireless*).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Meningkatkan pengetahuan dan kompetensi di bidang Mekanika
2. Dapat berkontribusi dalam penelitian dan pengembangan robot bawah air untuk kegiatan eksplorasi di bawah air dan SAR.
3. Memudahkan ekplorasi dan penelitian di bawah air.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robot Bawah Air

Menurut Mooney, Jr., et al (1996:8), *ROV (Remotely Operated Vehicle)* yang kosong merupakan kapal selam mini dengan pengikat kabel inti yang membawa daya listrik, data sensor, dan perintah kontrol. Pilot atau operator bekerja dari tempat yang jauh tetapi mempertahankan kendali *vehicle*.

Robot bawah air (*underwater robot*) merupakan salah satu teknologi robot yang sangat diperlukan untuk eksplorasi bawah air. Pada umumnya robot bawah air masih menggunakan kabel sebagai penghubung robot dengan pengendali. Namun demikian, pada saat robot beroperasi dalam air maka kabel tersebut dapat menjadi beban dan menambah kerja robot di bawah air (Yogie Junan, 2018:1).

2.2 Bagian-bagian Robot Bawah Air

Bagian-bagian robot dalam perancangan robot bawah air dibagi berdasarkan fungsi masing-masing meliputi *body* robot, sistem pengendali, sistem penggerak, dan sistem komunikasi data.

2.2.1 *Body* Robot Bawah Air

Body robot dalam hal ini menyangkut seluruh bagian robot yang menutupi rangkaian elektronika dan sistem yang berada di dalam robot. Yogie Junan (2018:2) menyatakan bahwa robot bawah air dirancang memiliki empat aktuator dan dua ruang pemberat yang letaknya simetris agar saat robot berada dalam air robot seimbang. Dua penggerak untuk mendorong naik dan turun dipasang dekat dengan kerangka utama robot, sedangkan dua penggerak yang lain untuk

mendorong robot maju, mundur, belok kiri dan kanan berada di bagian terluar dari kerangka utama robot yang bertujuan agar pergerakan dari robot ini lebih mudah ketika berada di dalam air.

Posisi dari ke empat aktuator sejajar dan terletak di tengah dan di belakang dari tubuh robot. Sedangkan ruang pemberat terletak di sisi bawah bagian kiri dan kanan dari *main body* robot dan terhubung dengan kaki robot yang sekaligus sebagai penopang kerangka robot, yang bertujuan agar robot memiliki keseimbangan yang baik ketika berada di dalam air. Di dalam ruang pemberat juga dibagi dua yaitu bagian depan dan bagian belakang, agar robot juga memiliki keseimbangan bawaan untuk bagian depan dan belakang. Karena beda berat dan udara pada bagian ruang kontrol dan ruang kamera yang terletak di paling depan dan belakang, maka pemberat harus dibagi untuk menyeimbangkan robot saat berada di dalam air. Semua bagian yang berat terletak di tengah robot agar robot tidak perlu membutuhkan banyak penyesuaian dalam air.

2.2.2 Sistem Pengendali

Sistem pengendali atau kontroler merupakan bagian utama atau otak dalam sebuah sistem robotika. Kontroler berfungsi untuk menyimpan dan menjalankan program atau perintah, menerima dan mengolah setiap informasi yang berasal dari input sensor, serta mengirim informasi untuk mengendalikan *output* pada aktuator, indikator ataupun audio dan citra. Program juga diunduh pada kontroler. Pengembangan kontroler yang populer saat ini dan paling banyak digunakan adalah mikrokontroler.

Mikrokontroler yang paling sering digunakan dalam penerapan sistem *underwater robot* adalah AVR atau *Alv and Vegard's Risc*. AVR memiliki beberapa jenis, namun saat ini jenis AT Mega yang sering digunakan terlebih AT Mega sudah diterapkan pada suatu *development board* seperti Arduino yang sangat praktis digunakan, baik dalam hal pemrograman maupun *troubleshooting*.

Robot bawah air kebanyakan menggunakan Arduino Mega 2560 yang memiliki 54 *pin digital I/O*, dimana 15 *pin* dapat digunakan sebagai *output PWM*, 16 *pin* sebagai *input analog*, dan 4 *pin* sebagai UART (*port serial hardware*, 16 MHz *oscillator*, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan kontrol *reset* (Yogie Junan, 2018).



Gambar 2. 1 Arduino Mega 2560

(<http://uae.souq.com/ae-en/arduino-mega-2560-r3-65637186-i/>)

2.2.3 Sistem Penggerak

Sistem penggerak robot atau aktuator merupakan komponen yang menggerakkan robot. Sistem penggerak meliputi segala sesuatu yang melakukan

eksekusi perintah berupa gerakan, perubahan posisi atau sudut. Sistem penggerak dari Robot Bawah Air yaitu *Brushless DC Motor*.

Brushless DC Motor (BLDC Motor) yang juga dikenal sebagai *electronically commutated motors (ECMs)* adalah tipe motor sinkron yang memakai sumber listrik arus searah sebagai tenaganya. Arus searah yang digunakan umumnya bersumber dari arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan inverter (HP, Putra Pratama : 2016).

BLDC Motor memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan motor stepper namun penggunaan istilah motor stepper kurang tepat bagi *BLDC Motor* karena pengertian dari motor stepper itu sendiri digunakan untuk jenis motor yang di desain secara spesifik untuk dapat dioperasikan dalam mode *positioning* yang akurat dimana bagian motor mampu berhenti di posisi angular yang diinginkan.

Dua parameter performa *BLDC Motor* yang paling utama adalah konstanta motor Kv dan Km. Secara performa, *BLDC Motor* dapat menghasilkan torsi maksimal pada RPM rendah dan secara bertahap akan menurun seiring meningkatnya RPM motor. Keunggulan *BLDC Motor* dibandingkan jenis *Brushed DC* motor lainnya diantaranya efisiensi kerja yang lebih tinggi, tingkat keausan atau *mechanical wear* rendah karena tidak menggunakan *brush*, dan frekuensi perawatan yang minimal.

Konstruksi beberapa *BLDC Motor* menggunakan *permanent magnet* dibagian yang berputar rotor dan *armature* pada bagian stator. Sistem *sequencing* arus listrik menggunakan *electronic controller* sebagai sistem pengganti komutator dengan *brushed* pada motor DC konvensional. *Electronic controller*

ini mengubah fasa arus listrik yang menuju gulungan kawat untuk mendistribusikan daya listrik sehingga dapat menjaga perputaran motor agar tetap konstan. Dengan cara ini didapatkan beberapa keuntungan yaitu meminimalkan *energy losses* dan menghilangkan *mechanical wear* antara bagian stator dan rotor.

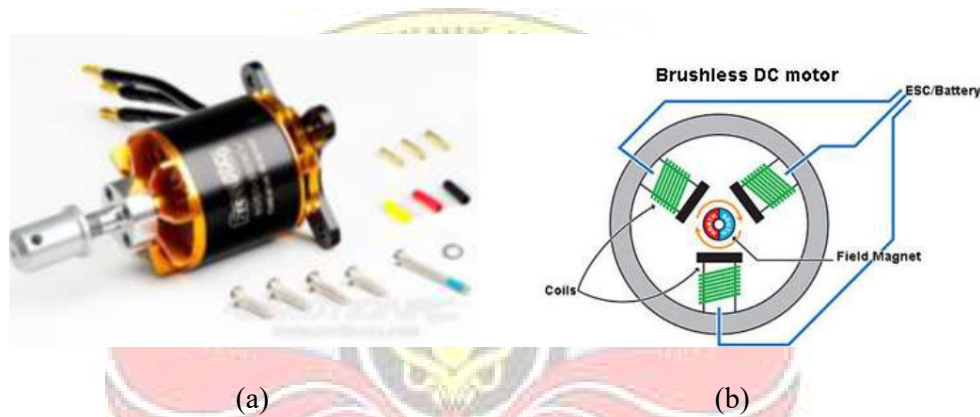
Keunggulan *BLDC Motor* dibandingkan dengan DC motor konvensional antara lain *torque per weight* dan *per watt* lebih besar, peningkatan efisiensi dan *reliability*, pengurangan *noise* atau kebisingan suara, mengeliminasi percikan ion electron dari komutator dan mengeliminasi *electromagnetic interference* (EMI).

Daya maksimum yang dapat diberikan pada *BLDC Motor* dibatasi hampir hanya oleh energi panas atau *heat* yang dapat melemahkan kekuatan magnet atau merusak selubung insulasinya. Kekurangan utama *BLDC Motor* yaitu harganya yang lebih mahal. Hal ini terjadi karena sistem komutasi motor ini membutuhkan kontrol kecepatan elektronik yang kompleks sementara *brushed* DC motor atau motor DC konvensional dapat menggunakan sistem *rheostat* (variable resistor) yang sangat sederhana untuk bekerja. Selain itu, sistem produksi *BLDC Motor* secara komersial masih menggunakan proses manual penggulungan kawat secara manual dibandingkan penggulungan mesin.

BLDC Motor memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk mengkonversi daya listrik dari sumber energi menjadi daya mekanis untuk menggerakkan motor. Peningkatan efisiensi ini dapat tercapai karena tidak adanya *electrical* dan *friction losses* yang disebabkan oleh komponen *brushed*. Efisiensi maksimal terjadi pada daerah tanpa beban atau *no-load* dan *low-load* pada *performance curve* dari

motor. Sementara pada beban mekanis yang sangat tinggi, efisiensi *BLDC Motor* dapat setara dengan *high-quality DC Brushed* motor.

Aplikasi *BLDC Motor* umumnya digunakan pada sistem yang membutuhkan kecepatan tinggi dan bebas perawatan serta kondisi lingkungan yang melarang adanya percikan listrik seperti pertambangan atau kondisi dimana adanya peralatan elektronik yang sensitif.



Gambar 2. 2 *Brushless Motor*

- (a) tampilan motor *brushless*
- (b) mekanisme motor *brushless*

(day-topnews.blogspot.com/2016/06/perbedaan-motor-brushed-dengan-brushless.html?m=1)

Dalam mengatur kecepatan motor pada robot bawah air digunakan *Electronic Speed Control (ESC)*. *ESC* adalah sirkuit elektronik yang mengontrol dan mengatur kecepatan motor listrik. Ini juga dapat memberikan pembalikan motor dan pengereman dinamis. *ESC* digunakan dalam model yang dikendalikan radio bertenaga listrik. Kendaraan listrik ukuran penuh juga memiliki sistem untuk mengontrol kecepatan motor penggerakannya.

ESC mengikuti sinyal referensi kecepatan (berasal dari tuas *throttle*, *joystick*, atau *input* manual lainnya) dan memvariasikan tingkat *switching* dari jaringan transistor efek medan (FET). Dengan menyesuaikan siklus kerja atau frekuensi *switching* dari transistor, kecepatan motor diubah. Pergantian yang cepat dari transistor adalah apa yang menyebabkan motor itu sendiri mengeluarkan karakteristik bunyi bernada tinggi, terutama terlihat pada kecepatan yang lebih rendah.



Gambar 2. 3 *Electronic Speed Control*

(https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control)

Berbagai jenis kontrol kecepatan diperlukan untuk *Brushed DC Motor* dan *Brushless DC Motor*. Motor dengan sikat (*brushed*) dapat dikontrol kecepatannya dengan memvariasikan tegangan pada *armature*-nya. Secara industri, motor dengan belitan medan elektromagnet bukan magnet permanen juga dapat dikontrol kecepatannya dengan menyesuaikan kekuatan arus medan motor. Motor tanpa sikat (*brushless*) memerlukan prinsip operasi yang berbeda. Kecepatan motor bervariasi dengan menyesuaikan waktu pulsa arus yang dikirim ke beberapa belitan motor.

ESC yang dapat diprogram dengan komputer umumnya memiliki opsi yang ditentukan pengguna yang memungkinkan pengaturan batas-batas tegangan rendah, pengaturan waktu, percepatan, pengereman, dan arah rotasi. Membalik arah motor juga dapat dilakukan dengan mengalihkan dua dari tiga sadapan dari *ESC* ke motor.

Selain *ESC*, salah satu komponen penting dalam sistem penggerak robot bawah air atau kapal adalah baling-baling atau *propeller*. Perkembangan desain dari *propeller* tentunya ditujukan untuk membuat laju suatu kapal menjadi lebih optimal dan efektif. Optimalisasi suatu desain *propeller* dapat dilakukan melalui proses perhitungan. Pada *propeller* terdapat sudut-sudut daun yang dibuat sedemikian rupa seperti gayung yang memanfaatkan aliran air yang melewati lambung kapal atau yang biasa dikenal dengan *pitch propeller*. Kecepatan kapal bisa dicapai karena adanya daya dorong dari *propulsor* yang dimiliki oleh kapal. Saat ini yang paling umum adalah menggunakan *propeller* jenis *screw propeller*. *Propeller* ini mengubah torsi dari mesin menjadi *thrust power* yang akan menggerakkan fluida di sekitarnya. *Propeller* tipe konvensional, pada umumnya dipasang pada suatu poros dan terletak dibagian buritan kapal. Semakin berkembangnya teknologi, maka banyak dibuat suatu perkembangan desain *propeller* agar kapal bisa beroperasi dengan efektif ketika mendapat beban. Salah satu perkembangan desainnya adalah *propulsor* jenis *Controllable Pitch Propeller* (CPP). Baling-baling CPP menyediakan ekstra dalam tingkat ‘derajat kebebasan’ melalui kemampuan perubahan sudut *pitch* pada daun propellernya. Hal tersebut bisa terjadi, karena di dalam unit CPP terdapat suatu mekanisme yang

memungkinkan daun *propeller* bisa diputar sudut *pitch*-nya. Pada umumnya mekanisme yang digunakan adalah mekanisme *hydrolis* (Alfian Dicky Firmansyah : 2012). Bentuk *propeller Controllable Pitch Propeller* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Tipe Propeller *Controlable Pitch Propeller*

(<https://www.amazon.com/SW2210B-ROV-thruster-diving-equipment-model-submarine>)

2.2.4 Sistem Komunikasi Data

Komunikasi data pada dasarnya merupakan proses pengiriman informasi di antara dua titik menggunakan kode biner melewati saluran transmisi dan peralatan *switching*, bisa antara komputer dengan komputer, komputer dengan terminal, atau bahkan peralatan dengan peralatan. Dengan kata lain, komunikasi data adalah transmisi data elektronik melalui beberapa media (*unshielded / shielded twisted pair, coaxial, fiber optic, microwave, bluetooth*, dan lain-lain).

Unshielded Twisted Pair atau disingkat *UTP* adalah salah satu jenis kabel komunikasi data / jaringan yang menggunakan bahan dasar tembaga yang tidak dilengkapi dengan *shield* / pelindung internal. *UTP* merupakan jenis kabel yang

paling umum dan sering digunakan di dalam jaringan lokal (LAN) karena harganya yang cukup murah, fleksibel dan memiliki kinerja yang relatif bagus. Dalam kabel *UTP* ini terdapat insulasi satu lapis yang melindungi kabel dari ketegangan fisik atau kerusakan tapi tidak melindungi kabel dari interferensi elektromagnetik. Kabel *UTP* memiliki impedansi kira-kira 100 Ohm (I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan, 2015:3).



Gambar 2. 5 *Unshielded Twisted Pair*

(<https://www.bukalapak.com/p/komputer/aksesoris-226/network-tools/2oagh7-jual-kabel-utp-vascolink-per-5-meter>)

Bluetooth juga adalah salah satu bentuk komunikasi data secara nirkabel (*wireless*) berbasis frekuensi radio. *Bluetooth* terdiri dari jenis perangkat, yaitu pengirim data (*master*) dan penerima data (*slave*). Pada penelitian ini, digunakan *Bluetooth Module HC-06* untuk menggantikan komunikasi serial menggunakan kabel. Peralatan ini bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dengan *default* koneksi hanya sebagai *slave* dan sangat mudah digunakan dengan mikrokontroler untuk membuat aplikasi *wireless*. Antarmuka (*interface*) yang digunakan adalah serial RXD, TXD, VCC, dan GND. *Built in LED* sebagai indikator koneksi *bluetooth*. Tegangan *input* antara 3,6 - 6V dan tidak disarankan dihubungkan pada tegangan

lebih dari 7V. Arus saat tidak terhubung (*unpaired*) sekitar 30mA, dan saat terhubung (*paired*) sebesar 10mA. Empat pin *interface* 3,3V dapat langsung dihubungkan ke berbagai macam mikrokontroler. Jarak efektif jangkauan sebesar 10 meter bahkan dapat mencapai lebih dari 10 meter, namun kualitas koneksinya semakin berkurang (Teknik Informatika STMIK Atma Luhur Pangkalpinang, 2015).



Gambar 2. 6 *Bluetooth Module HC-05*

(https://www.amazon.com/Pass-Through-Communication-Compatible-Atomic-Market/dp/B00TN00438#immersive-view_1548513839225)

2.3 Perhitungan Robot Bawah Air

Dalam perancangan robot bawah air, ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam menunjang keberhasilan kinerja robot. Berikut uraian beberapa parameter tersebut.

2.3.1 Gaya Apung dan Berat Benda

Ketika sebuah benda terendam di dalam fluida dibawah pengaruh gaya gravitasi, terjadi dua atau lebih gaya yang harus dipertimbangkan: gaya gravitasi dan gaya apung (Gianluca Antonelli, 2006: 31).

Gaya apung atau *buoyancy* merupakan gaya ke atas yang dikerjakan oleh fluida untuk melawan berat dari benda yang direndam, dalam hal ini *body* robot. Pada sebuah kolam fluida, tekanan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman sebagai hasil dari akumulasi berat air di atasnya. Gaya apung dan berat benda sangat erat kaitannya. Rumus yang digunakan didasarkan pada Hukum Archimedes seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.1) dan (2.2) berikut:

$$W = m.g$$

$$W = \rho.V.g \dots\dots\dots (2.1)$$

$$W = F_a$$

$$\rho_b.V_b.g = \rho_{zc}.V_{zc}.g \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

F_a = Gaya apung (N)

W = Berat benda (N)

ρ_b = Massa jenis benda (kg/m³)

ρ_{zc} = Massa jenis zat cair (kg/m³)

V_b = Volume benda (m³)

V_{zc} = Volume zat cair yan dipindahkan (m³)

V = Volume (m³)

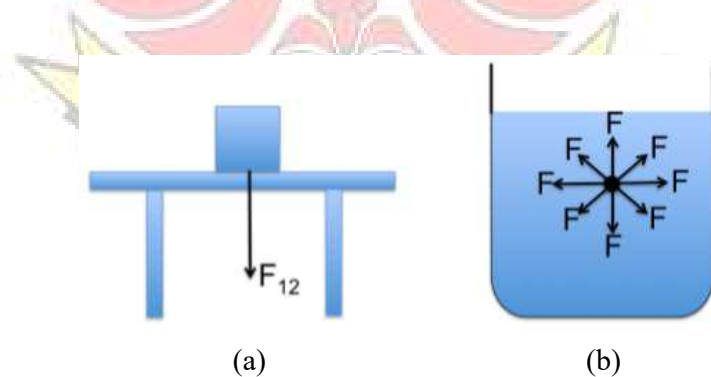
m = Massa benda (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Dari persamaan (2.1) dan (2.2), kita tidak hanya dapat memperoleh nilai gaya apung dan berat benda, melainkan kita juga dapat mengetahui massa jenis benda, massa jenis zat cair dan volume benda. Keterkaitan dari persamaan di atas adalah kita dapat menentukan jenis material apa yang cocok untuk digunakan berdasarkan kaidah Hukum Archimedes agar massa benda atau berat benda dapat terpenuhi sesuai dengan kebutuhan. Kita juga bisa mendapatkan massa jenis benda hanya dengan mengandalkan volume benda dan massa benda tersebut.

2.3.2 Tekanan Hidrostatik dan Tekanan Atmosfer

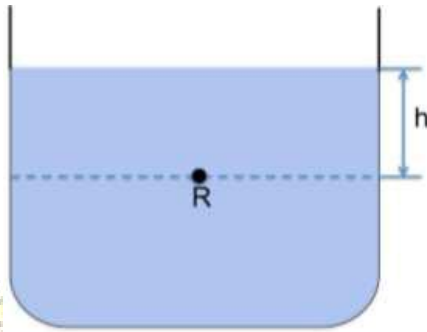
Pada fluida, molekul terus bergerak secara acak dan bertumbukan satu dengan yang lain yang menyebabkan terjadinya perubahan momentum sehingga akan menghasilkan gaya ke segala arah yang pada akhirnya mengakibatkan tekanan ke segala arah pada suatu titik di dalam fluida. Jika pada benda padat yang memberikan gaya pada permukaan adalah bagian bawah saja, maka pada fluida memberikan gaya ke segala arah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2. 7 Arah Gaya Pada Tekanan Hidrostatik
(a) Pada benda padat
(b) Pada fluida

(Andalan Pelajar Indonesia)

Tekanan hidrostatik merupakan tekanan zat cair yang hanya disebabkan oleh berat benda. Ilustrasi tekanan hidrostatik ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2. 8 Tekanan Hidrostatik
(Andalan Pelajar Indonesia)

Titik R terletak pada zat cair yang massa jenisnya (ρ) terdapat dalam wadah dengan luas penampang A pada kedalaman h dari permukaan. Tekanan pada garis horizontal terjadi karena berat zat cair $w = mg$ yang ada di atasnya yang volumenya $A \times h$. Rumus tekanan hidrostatik ditunjukkan pada persamaan

(2.3) berikut:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot h}{A} = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.3)$$

dimana: P = Tekanan hidrostatik (Pa)

F = Gaya yang diberikan oleh benda (N)

A = Luas penampang wadah (m^2)

m = Massa benda (kg)

g = Percepatan gravitasi benda (m/s^2)

ρ = Massa jenis zat cair (kg/m^3)

h = Jarak benda dari permukaan (m)

Tekanan atmosfer adalah tekanan pada lapisan udara yang menyelimuti permukaan bumi yang disebabkan oleh beratnya. Rumus tekanan atmosfer ditunjukkan pada persamaan (2.4) berikut:

$$P_{total} = P_0 + \rho gh \quad (2.4)$$

dimana: P_{total} = Tekanan yang diterima benda secara keseluruhan (Pa)

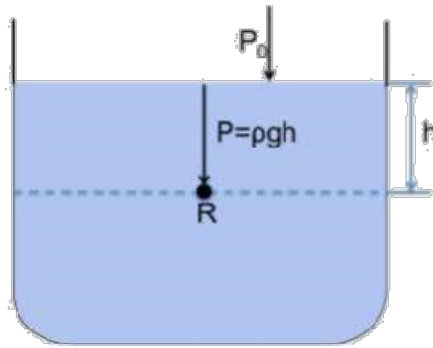
P_0 = Tekanan atmosfer di permukaan air (Pa)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

h = Jarak benda dari permukaan air (m)

Tekanan total pada suatu titik pada zat cair pada wadah yang terbuka adalah tekanan hidrostatis $P = \rho gh$ ditambah dengan tekanan atmosfer di permukaan zat cair P_0 . Ilustrasi tekanan atmosfer ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut:



Gambar 2. 9 Tekanan Atmosfer

(Andalan Pelajar Indonesia)

2.3.3 Hukum Stokes

Jika sebuah benda berbentuk bola dijatuhkan ke dalam fluida, misalnya kelereng dijatuhkan ke dalam kolam renang yang airnya cukup dalam, nampak mula-mula kelereng bergerak dipercepat. Tetapi beberapa saat setelah menempuh jarak cukup jauh, nampak kelereng bergerak dengan kecepatan konstan (bergerak lurus beraturan) (Sears, 1984). Hukum Stokes sendiri dalam robot bawah air diterapkan ketika robot membuat gaya dorong ke arah depan, maka akan terjadi gaya gesek fluida yang berlawanan arah dengan gaya dorong dari robot. Gaya gesek fluida tersebut yang disebut Hukum Stokes. Rumus gaya gesek air ditunjukkan pada persamaan (2.5) berikut:

$$F_d = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v \dots\dots\dots (2.5)$$

- dimana:
- F_d = Gaya gesek fluida (N)
 - r = Jari-jari permukaan benda (m)
 - v = Kecepatan benda dalam fluida (m/s)
 - η = koefisien viskositas fluida (kg/m.s)

2.3.4 Kestimbangan dan Titik Berat

Kestimbangan terdiri dari kestimbangan translasi dan kestimbangan rotasi. Kestimbangan translasi terjadi jika jumlah keseluruhan gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan nol atau $\Sigma F = 0$. Kestimbangan rotasi terjadi jika keseluruhan torsi yang bekerja pada suatu benda sama dengan nol atau $\Sigma \tau = 0$. Sistem dikatakan setimbang jika terjadi kestimbangan translasi dan rotasi. Rumus kestimbangan ditunjukkan pada persamaan (2.6) berikut:

$$\Sigma F = 0 \text{ dan } \Sigma \tau = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana: $\Sigma F =$ Keseluruhan gaya yang bekerja pada suatu benda (N)
 $\Sigma \tau =$ Keseluruhan torsi yang bekerja pada suatu benda (Nm)

Sebuah benda terdiri dari partikel-partikel dimana masing-masing partikel mempunyai berat yang satu sama lain saling sejajar ke arah pusat bumi. Titik berat merupakan titik tunggal dimana resultan dari semua gaya berat partikel bekerja. Titik berat suatu benda dapat ditentukan berdasarkan sumbu X dan sumbu Y seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.7) dan (2.8) berikut:

Pada sumbu X

$$\tau_{total} = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$$

$$W_{total}X_b = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n$$

$$(W_1 + W_2 + \dots + W_n)X_p = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n$$

$$X_p = (W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n) / (W_1 + W_2 + \dots + W_n) \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana: $x_p =$ Titik berat benda pada sumbu X (cm)
 $w =$ Berat benda (N)

x = Titik tengah benda pada sumbu X (cm)

Pada sumbu Y

$$\tau_{total} = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$$

$$W_{total}y_b = w_1y_1 + w_2y_2 + \dots + w_ny_n$$

$$(w_1 + w_2 + \dots + w_n)y_p = w_1y_1 + w_2y_2 + \dots + w_ny_n$$

$$y_p = w_1y_1 + w_2y_2 + \dots + w_ny_n / w_1 + w_2 + \dots + w_n \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana: y_p = Titik berat benda pada sumbu Y (cm)

w = Berat benda (N)

y = Titik tengah benda pada sumbu Y (cm)

Kita ketahui bahwa percepatan gravitasi di permukaan bumi tidak sama tergantung pada tempat. Karena benda tegar yang dibahas di sini relatif kecil sehingga bisa dianggap percepatan gravitasi semua partikel penyusun benda sama sehingga titik berat dianggap sama dengan pusat massa. Rumus titik berat jika percepatan gravitasi tidak sama ditunjukkan pada persamaan (2.9) dan (2.10) berikut:

Pada sumbu X

$$x_p = x_1m_1g + x_2m_2g + \dots + x_nm_ng / m_1g + m_2g + \dots + m_ng$$

$$x_p = (x_1m_1 + x_2m_2 + \dots + x_nm_n)g / (m_1 + m_2 + \dots + m_n)g$$

$$x_p = x_1m_1 + x_2m_2 + \dots + x_nm_n / m_1 + m_2 + \dots + m_n \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana: x_p = Titik berat benda pada sumbu X (cm)

m = Massa benda (kg)

x = Titik tengah benda pada sumbu X (cm)

$g =$ Percepatan gravitasi (m/s^2)

Pada sumbu Y

$$y_p = y_1 m_1 g + y_2 m_2 g + \dots + y_n m_n g / m_1 g + m_2 g + \dots + m_n g$$

$$y_p = (y_1 m_1 + y_2 m_2 + \dots + y_n m_n) g / (m_1 + m_2 + \dots + m_n) g$$

$$y_p = y_1 m_1 + y_2 m_2 + \dots + y_n m_n / m_1 + m_2 + \dots + m_n \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana: $y_p =$ Titik berat benda pada sumbu Y (cm)

$m =$ Massa benda (kg)

$y =$ Titik tengah benda pada sumbu Y (cm)

$g =$ Percepatan gravitasi (m/s^2)

Massa jenis suatu benda dianggap sama dengan massa jenis partikel penyusunnya sehingga:

Pada sumbu X

$$x_p = x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_n m_n / m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

$$x_p = x_1 \rho V_1 + x_2 \rho V_2 + \dots + x_n \rho V_n / \rho V_1 + \rho V_2 + \dots + \rho V_n$$

$$x_p = (x_1 V_1 + x_2 V_2 + \dots + x_n V_n) \rho / (V_1 + V_2 + \dots + V_n) \rho$$

$$x_p = x_1 V_1 + x_2 V_2 + \dots + x_n V_n / V_1 + V_2 + \dots + V_n \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana: $x_p =$ Titik berat benda pada sumbu X (cm)

$m =$ Massa benda (kg)

$x =$ Titik tengah benda pada sumbu X (cm)

$V =$ Volume benda (m^3)

$\rho =$ Massa jenis benda (kg/m^3)

$$y_p = y_1 m_1 + y_2 m_2 + \dots + y_n m_n / m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

$$\begin{aligned}
y_p &= y_1\rho V_1 + y_2\rho V_2 + \dots + y_n\rho V_n / \rho V_1 + \rho V_2 + \dots + \rho V_n \\
y_p &= (y_1 V_1 + y_2 V_2 + \dots + y_n V_n) \rho / (V_1 + V_2 + \dots + V_n) \rho \\
y_p &= y_1 V_1 + y_2 V_2 + \dots + y_n V_n / V_1 + V_2 + \dots + V_n \dots\dots\dots (2.12)
\end{aligned}$$

dimana: y_p = Titik berat benda pada sumbu Y (cm)

m = Massa benda (kg)

y = Titik tengah benda pada sumbu Y (cm)

V = Volume benda (m^3)

ρ = Massa jenis benda (kg/m^3)

2.3.4 Kecepatan dan Kecepatan Sudut

Pengertian kecepatan adalah jarak yang ditempuh benda tiap waktu seperti yang ditunjukkan pada rumus (2.13) berikut:

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana : v = kecepatan benda (m/s)

s = jarak atau perpindahan yang ditempuh benda (m)

t = waktu yang dibutuhkan oleh benda (s)

Selain kecepatan, jarak dan waktu dihitung pula kecepatan sudut karena robot dapat berputar pada porosnya pada rumus. Definisi kecepatan sudut adalah besarnya sudut juring lingkaran yang terbentuk oleh lintasan suatu titik yang bergerak melingkar per satuan waktu. Kecepatan sudut juga disebut kecepatan angular. Satuan kecepatan sudut adalah rad/sekon. Satuan lain yang dapat digunakan misalnya rad/menit atau rad/jam. Rumus kecepatan sudut adalah sudut

tempuh dibagi dengan waktu tempuh, sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan (2.14) berikut:

$$= \frac{\theta}{t} \quad (2.14)$$

dimana : ω = kecepatan sudut (rad/s)

θ = sudut tempuh (rad)

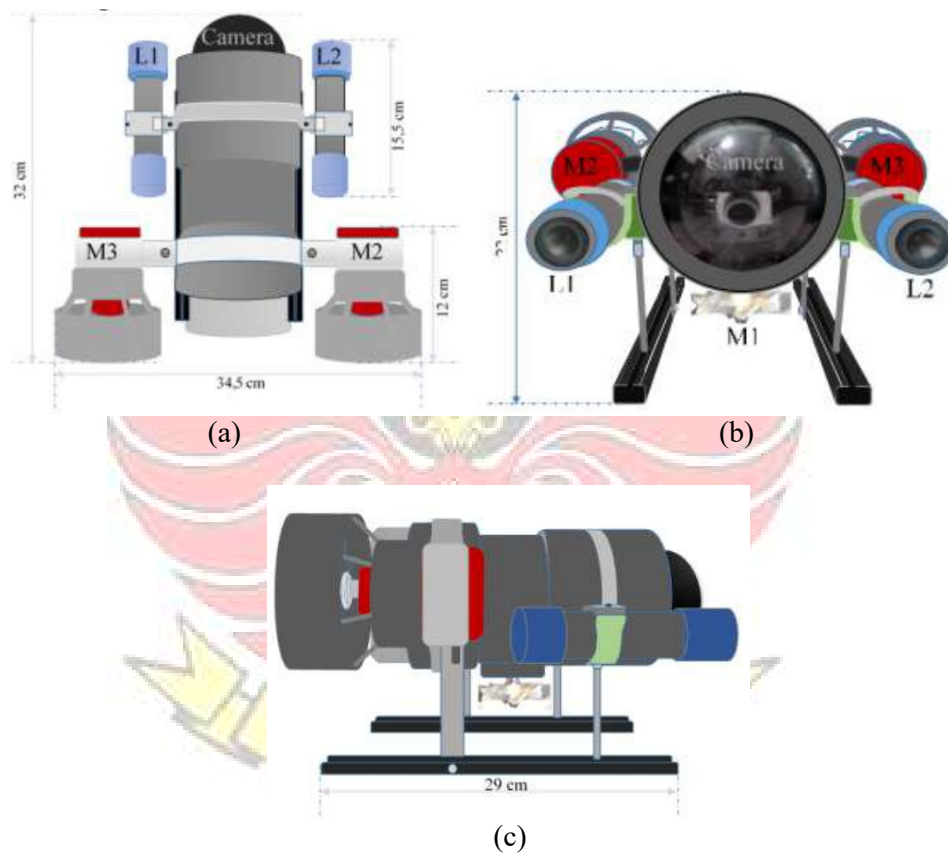
t = waktu tempuh (s)

2.4 Penelitian Robot Bawah Air Sebelumnya

2.4.1 Rancang Bangun Robot Bawah Air Mini *ROV (Remotely Operated Vehicle)* Berbasis Mikrokontroler ATmega16 (M. Abdul Hamid Koli, 2015)

Penelitian ini dilakukan oleh beberapa mahasiswa jurusan Teknik Elektro dari Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yaitu M. Abdul Hamid Koli, Elang Derdian Marindani dan Aryanto Hartoyo pada tahun 2015. Robot Bawah Air Mini *ROV* berbasis mikrokontroler ini menggunakan mikrokontroler ATmega16 sebagai sistem pengendali utama yang terhubung ke *joystick control* melalui kabel agar robot dapat dikendalikan dari atas permukaan air. Robot ini menggunakan 3 buah motor penggerak untuk bermanuver dan dilengkapi dengan kamera serta sistem pencahayaan untuk memantau kondisi bawah air. Tujuan robot ini adalah terwujudnya sebuah robot bawah air yang dapat menggantikan cara konvensional pada kegiatan bawah air. Hal yang paling penting dalam perancangan Mini *ROV* adalah sistem pengendaliannya dan sistem kedap air. Dari hasil pengujian kekedapan air, tidak terdapat kebocoran pada bodi, sistem pemantauan dan sistem pencahayaan. Sedangkan pengujian gerak robot ketika berada di air, robot masih

bisa bermanuver sesuai perintah. Ketika maju dengan jarak 2,25 [m] memerlukan waktu 11,51 detik dan mundur dengan jarak yang sama dengan waktu 10,65 detik. Untuk menyelam dengan kedalaman 60 [cm] memerlukan waktu 5,5 detik sedangkan naik atau timbul dengan kedalaman yang sama dengan waktu lebih cepat yaitu 2,8 detik karena tidak melawan tekanan air. Hasil rancangan robot pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut :



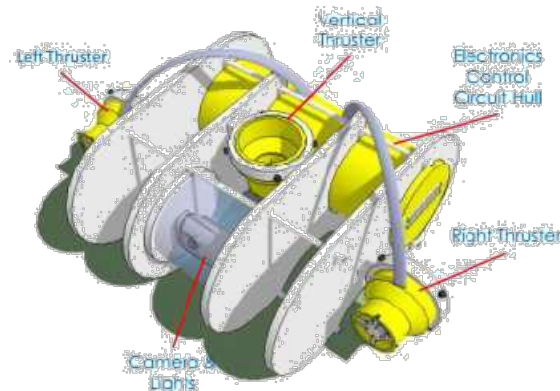
Gambar 2. 10 Robot Bawah Air Hasil Rancangan
M. Abdul Hamid Koli Dkk Tahun 2015

- (a) hasil rancangan robot tampak atas
- (b) hasil rancangan robot tampak depan
- (c) hasil rancangan robot tampak samping

(Rancang Bangun Robot Bawah Air Mini
ROV (Remotely Operated Vehicle) Berbasis
Mikrokontroler ATmega16, 2015)

2.4.2 Pengembangan Robot Jelajah Bawah Air Untuk Observasi Terumbu Karang (Andik Yulianto, 2015)

Penelitian ini dilakukan oleh Andik Yulianto dan Hadi Puspa Handoyo dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Internasional Batam pada tahun 2015. Robot jelajah bawah air pada penelitian ini dikendalikan secara remote (*Remotely Operated Vehicle*) menggunakan kabel dari stasiun utama diatas permukaan air. Robot pada penelitian ini dikembangkan memiliki kemampuan mengambil gambar visual dan suhu sekitarnya. Robot yang dibangun memiliki tiga motor *brushless* sebagai penggerak, antara lain satu penggerak vertikal dan dua penggerak horizontal kanan dan kiri. Untuk monitor keadaan bawah air, robot dilengkapi kamera web yang hasil tangkapan gambarnya dikirimkan ke komputer di stasiun utama melalui sebuah kabel *UTP*. Aplikasi panel kontrol dikembangkan menggunakan aplikasi berbasis web. Dari hasil pengujian lapangan didapatkan bahwa robot dapat mengambil gambar dan merekam suhu dengan baik. Robot masih mengalami kesulitan dalam melakukan *maneuver* dikarenakan mengalami masalah keseimbangan. Hal ini dikarenakan perbedaan volume ruang udara pada lambung depan (*camera housing*) dan lambung belakang. Hasil rancangan robot bawah air “Pengembangan Robot Jelajah Bawah Air Untuk Observasi Terumbu Karang” dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut:



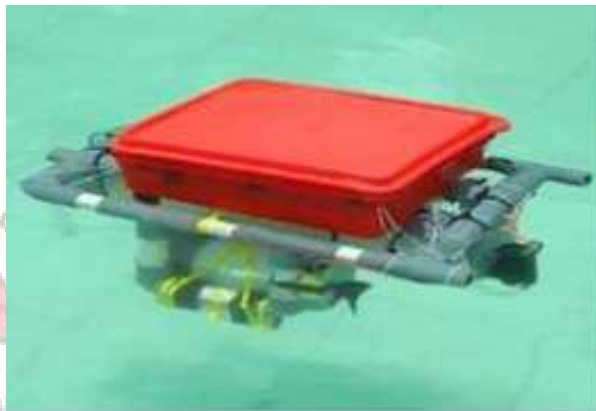
Gambar 2. 11 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Andik Yulianto Dkk Pada Tahun 2015

(Pengembangan Robot Jelajah Bawah Air Untuk Observasi Terumbu Karang, 2015)

2.4.3 Rancang Bangun Robot Bawah Air Menggunakan Sistem Ballast Berbasis ROV (*Remotely Operated Vehicle*) dengan Frekuensi 433 Mhz (Edi Mulyana, 2016)

Penelitian ini dilakukan oleh beberapa mahasiswa dari Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djaati Bandung yang bernama Edi Mulyana, Neni Utami Adiningsih, Cecep Ahmad Fauzi pada tahun 2016. Pada penelitian ini robot bawah air menggunakan pusat pengendali arduino uno, modul *transmitter* dan *receiver* RF 433 Mhz untuk komunikasi jarak jauh antara kontroler dan robot itu sendiri. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah *ROV* tanpa kabel dengan frekuensi 433 Mhz yang dilengkapi sistem *ballast*. Penggunaan frekuensi 433 Mhz diharapkan mampu membuat jangkauan robot lebih jauh saat bergerak dibandingkan dengan frekuensi 2,4 Ghz. Sistem Ballast pada penelitian ini memanfaatkan prinsip kerja dari pompa air untuk mengisi dan membuang air dari dalam tangki. Volume tangki *ballast* sebesar 2340,96 [cm³] dan volume *ROV* sebesar 3447,2 [cm³].

Waktu yang diperlukan untuk mengisi dan mengeluarkan air adalah 60 detik. Jarak jangkauan robot saat bergerak di permukaan yaitu 15 meter dan saat menyelam yaitu 30 cm. Robot bawah air ini masih memerlukan beberapa pengembangan agar dapat menyelam lebih dalam di air. Hasil rancangan robot pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut :



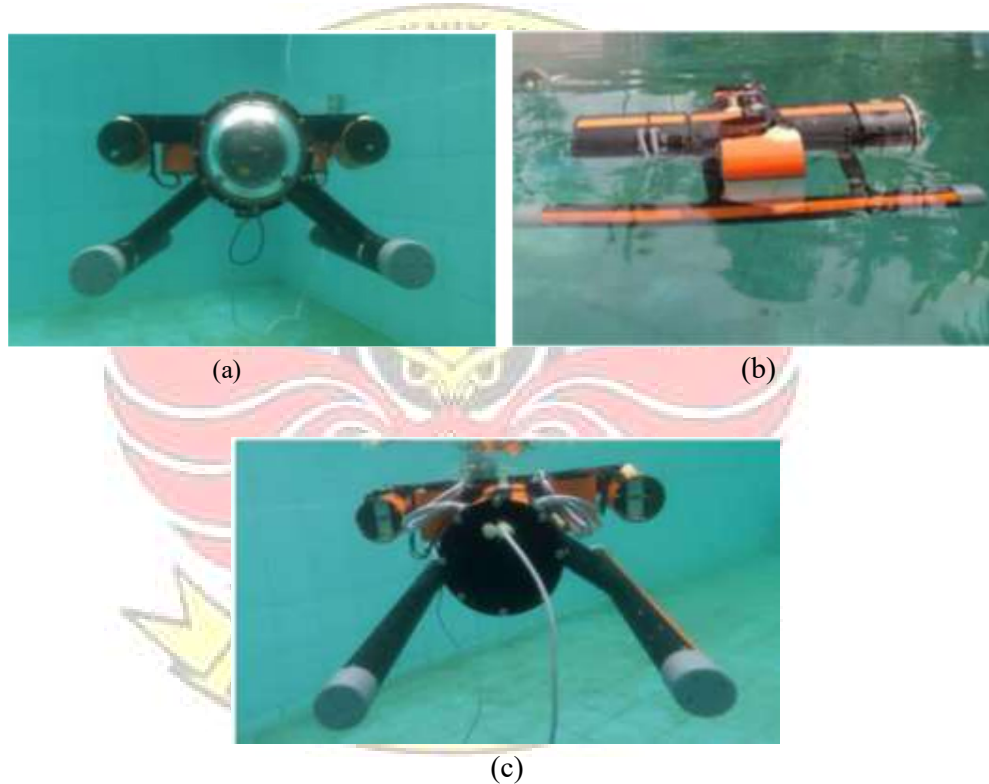
Gambar 2. 12 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Edi Mulyana Dkk Pada Tahun 2015

(Rancang Bangun Robot Bawah Air Menggunakan Sistem *Ballast* Berbasis *ROV (Remotely Operated Vehicle)* Dengan Frekuensi 433 Mhz, 2015)

2.4.4 Rancang Bangun Robot Bawah Air (Yogie Junan, 2018)

Penelitian ini dilakukan oleh Yogie Junan, Vecky C. Poekoel dan Muhammad Dwisanto Putro dari Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi, Manado pada tahun 2018. Pada penelitian ini robot bawah air memiliki pusat pengendali arduino, memiliki empat buah motor *brushless* yang dikendalikan oleh *ESC (Electric Speed Control)*. Robot bawah air ini dapat bergerak dengan baik di dalam air dan dapat menampilkan hasil pengambilan gambar dalam air. Pengujian robot ini meliputi pengujian kecepatan robot bergerak maju, mundur, menyelam,

naik ke permukaan, berbelok ke kiri atau ke kanan, pengujian kedalaman robot dapat menyelam dan pengujian kamera menampilkan video secara langsung. Penelitian robot ini mendapatkan hasil peyelaman terdalam yaitu 1,5 meter dalam kolam renang dan menampilkan hasil pengamatan dalam air berupa video yang ditampilkan pada monitor secara langsung. Robot bawah air ini masih memerlukan beberapa pengembangan agar dapat digunakan di dalam laut. Hasil rancangan robot pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut:



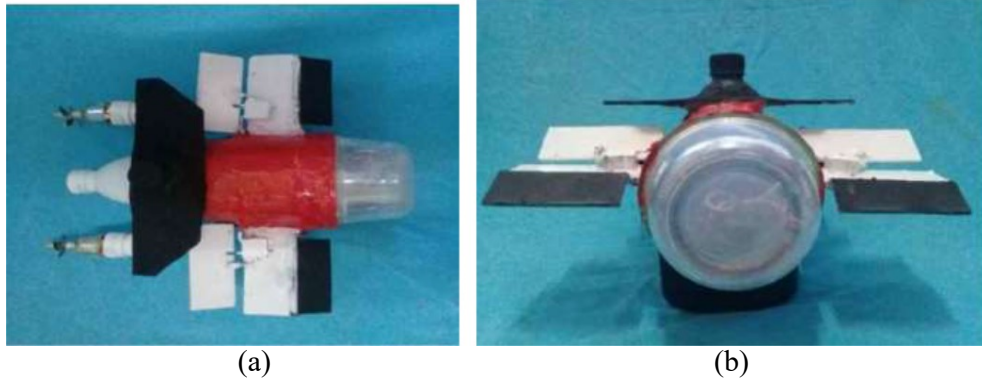
Gambar 2. 13 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Yogie Junan Dkk Pada Tahun 2018

- (a) hasil rancangan robot tampak depan
- (b) hasil rancangan robot tampak samping
- (c) hasil rancangan robot tampak belakang

(Rancang Bangun Robot Bawah Air, 2018)

2.4.5 Rancang Bangun Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560 (Amirullah, 2019)

Penelitian ini dilakukan oleh Amirullah dan Mirna Santi dari Program Studi S1 Terapan Teknik Mekatronika, Politeknik Negeri Ujung Pandang pada tahun 2019. Pada penelitian robot bawah air ini memiliki pusat pengendali Arduino Mega 2560, memiliki dua buah motor *brushless* yang dikendalikan oleh *ESC (Electric Speed Control)* dan dikontrol oleh *smartphone* menggunakan modul *Bluetooth HC-05*. Keluaran yang ingin dicapai adalah robot dapat kedap air selama proses penyelaman dan perpindahan posisi dengan stabil di dalam air. Pengujian robot ini meliputi pengujian kecepatan robot bergerak maju, mundur, menyelam, naik ke permukaan, berbelok ke kiri atau ke kanan dan pengujian kedap air. Pada saat pengujian, robot di tenggelamkan selama 5 menit menggunakan bahan lapisan Epoxy dan robot berhasil kedap air serta jangkauan maksimum kendali *bluetooth*-nya bisa mencapai sejauh 10 meter. Robot ini juga dapat berbelok ke kiri maupun ke kanan. Untuk penyelaman, robot ini gagal menyelam dikarenakan kesalahan desain dan perhitungan yang meleset. Maka robot bawah air ini masih memerlukan pengembangan terhadap proses penyelaman agar dapat memenuhi tujuan pembuatan robot ini. Hasil rancangan robot pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut:



Gambar 2. 14 Robot Bawah Air Hasil Rancangan Amirullah Dkk Pada Tahun 2019
(a) hasil rancangan robot tampak atas
(b) hasil rancangan robot tampak depan
(c) hasil rancangan robot tampak samping
(Rancang Bangun Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560, 2019)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Habibie Riset Center, Kampus 2 Politeknik Negeri Ujung Pandang. Adapun waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Januari 2020 sampai dengan bulan September 2020

.Pengujian robot dilakukan di kolam buatan dengan ukuran kolam panjang 2 [m], lebar 0,5 [m], dan tinggi 1 [m] dengan ketinggian air 0,6 [m] dengan menggunakan air tawar.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, diperlukan beberapa alat dan bahan untuk membuat dan merakit robot bawah air yang dibuat. Daftar alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3:

Tabel 3. 1 Alat

No.	Nama Alat	Jumlah
1.	Laptop	1 unit
2.	Gergaji Tripleks	1 unit
3.	Gergaji Besi	1 unit
4.	Bor Tangan	1 unit
5.	Tang Potong	1 unit
6.	Tang Jepit	1 unit
7.	Kikir	1 unit
8.	Gerinda	1 unit
9.	Gunting	1 unit
10.	Solder	1 unit
11.	Multimeter	1 unit
12.	Obeng (+) dan Obeng (-)	1 unit

Lanjutan Tabel 3.1

13.	<i>Cutter</i>	1 unit
14.	Penghisap Timah	1 unit
15.	Amplas	1 unit
16.	Spidol	1 unit
17.	Palu	1 unit

Tabel 3. 2 Bahan

No.	Nama Bahan	Jumlah
1.	Arduino Mega 2560	1 unit
2.	<i>Brushless Motor</i> 12 V	4 unit
3.	<i>Electric Speed Control (ESC)</i> 30 A	4 unit
4.	<i>Propeller Underwater Robot</i>	4 unit
5.	<i>Joystick</i>	1 unit
6.	Kabel <i>UTP</i> (1 m)	5 meter
7.	Baterai Lipo 7,4 V, 5000 mAh	1 unit
8.	<i>Power Bank</i>	1 unit
9.	<i>Bluetooth Module HC-05</i>	1 unit
10.	Pipa PVC Ø 4 inch (1 m)	1 meter
11.	Pipa PVC Ø 2 inch (1 m)	2 meter
12.	Pipa PVC Ø 1 inch (1 m)	2 meter
13.	Penyambung Pipa T Ø 2 inch	2 unit
14.	Penyambung Pipa T Ø 1 inch	3 unit
15.	Penyambung Pipa Elbow Ø 1 inch	2 unit
16.	Penutup Pipa Ø 2 inch	4 unit
17.	Penutup Pipa Ø 1 inch	6 unit
18.	Penutup Pipa Ø ¾ inch	4 unit
19.	Akrilik 3mm 100 cm x 100 cm	1 unit
20.	Akrilik Setengah <i>Sphere</i> Ø 4 inch	1 unit
21.	<i>Aluminium Composite Panel (Alcopan)</i> (1 m)	2 meter

Lanjutan Tabel 3.2

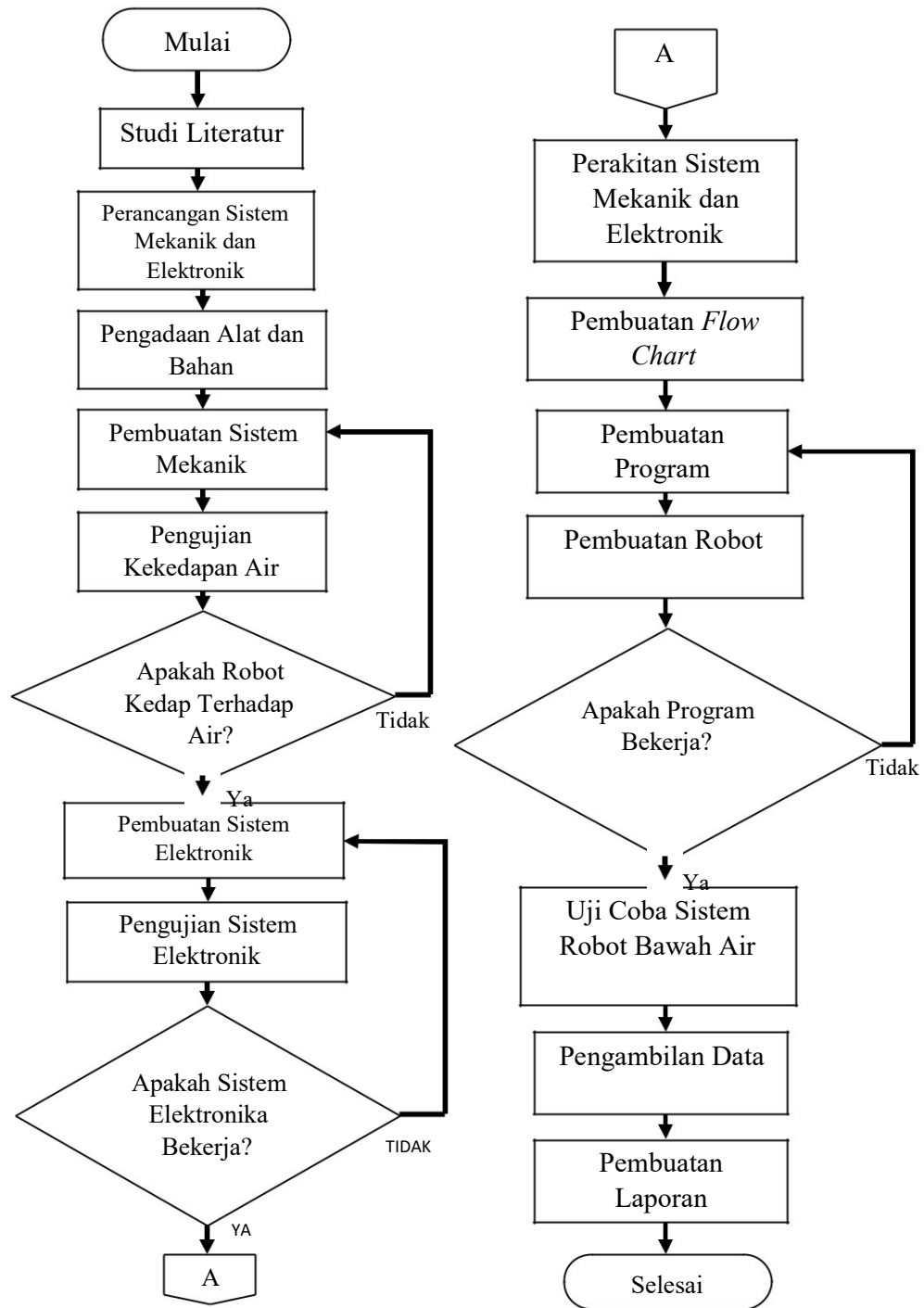
22.	PCB	1 unit
23.	Baut dan Mur	16 pasang
24.	Lem Epoxy Non-SAG Pioneer	2 unit
25.	Lem Alteco	2 unit
26.	PCB	1 unit
27.	Timah	Sesuai Kebutuhan
28.	Kabel <i>Jumper</i> Arduino	Sesuai Kebutuhan
29.	Semen	Sesuai Kebutuhan

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut:

- 1) Autodesk Fusion, untuk membuat rancangan atau desain gambar *body* robot.
- 2) Eagle, untuk membuat rancangan atau skema rangkaian yang nantinya dicetak pada PCB (*shield*).
- 3) Arduino IDE, untuk membuat dan merancang program yang nantinya dieksekusi oleh robot.
- 4) MIT App Inventor, untuk membuat aplikasi android untuk mengendalikan robot *via bluetooth*.

3.3 Tahapan Penelitian

Untuk memperoleh suatu alat yang baik dari segi mutu dan tingkat ekonomis, diperlukan suatu langkah-langkah mengenai perancangan sehingga hasil yang diperoleh dapat maksimal. Diagram tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian robot bawah air ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian Robot Bawah Air

3.3.1 Studi Literatur

Dalam pengembangan perancangan alat ini, langkah awal yang dilakukan adalah mencari informasi yang memiliki kaitan dengan alat yang dibuat dari literatur berupa *paper*, jurnal dan buku sebanyak-banyaknya yang kemudian dijadikan rujukan dalam membuat perencanaan mekanisme dan desain. Informasi tersebut harus dapat dibuktikan dengan hasil penelitian dan data-data yang relevan.

3.3.2 Perancangan Sistem Mekanik dan Elektronik

Pada tahapan ini, sistem mekanik dan sistem elektronik dirancang pada *software* atau aplikasi sesuai dengan mekanisme dan gambaran umum peralatan yang dibuat.

1) Perancangan Sistem Mekanik

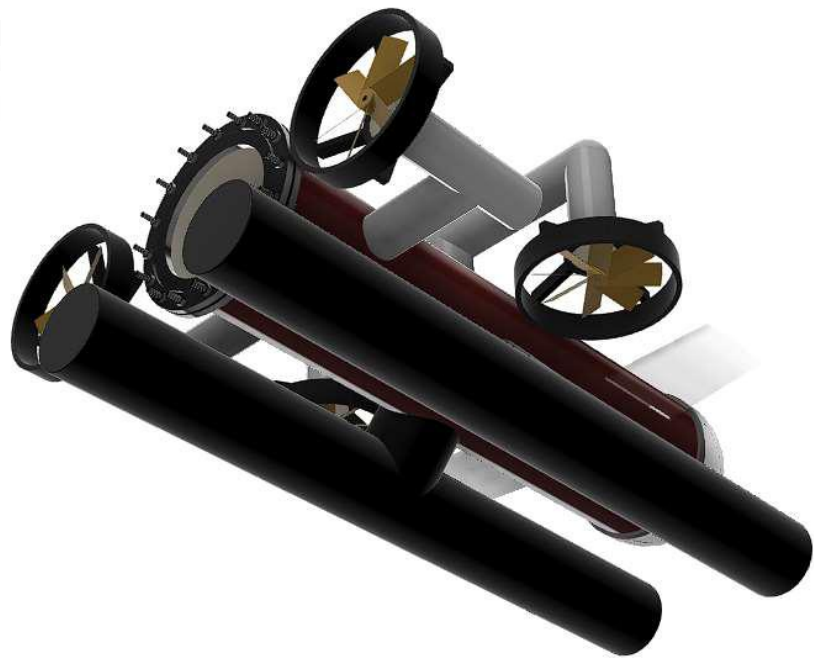
Perancangan sistem mekanik merupakan tahapan pertama yang perlu dilakukan dalam perancangan robot bawah air. Sistem mekanik meliputi pembuatan desain *body* atau rangka robot yang nantinya menjadi *chasis* atau tempat dari peralatan elektronik, baterai, dan beberapa komponen penting lainnya. Berikut langkah-langkah dalam perancangan sistem mekanik.

- a. Menginstal aplikasi Autodesk Inventor dan Autodesk Fusion.
- b. Membuat gambaran kasar mengenai desain robot yang dibuat.
- c. Menggambar desain robot pada aplikasi Autodesk Inventor dan Autodesk Fusion.

Hasil rancangan robot bawah air yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.2 (a) dan (b) berikut:



(a)

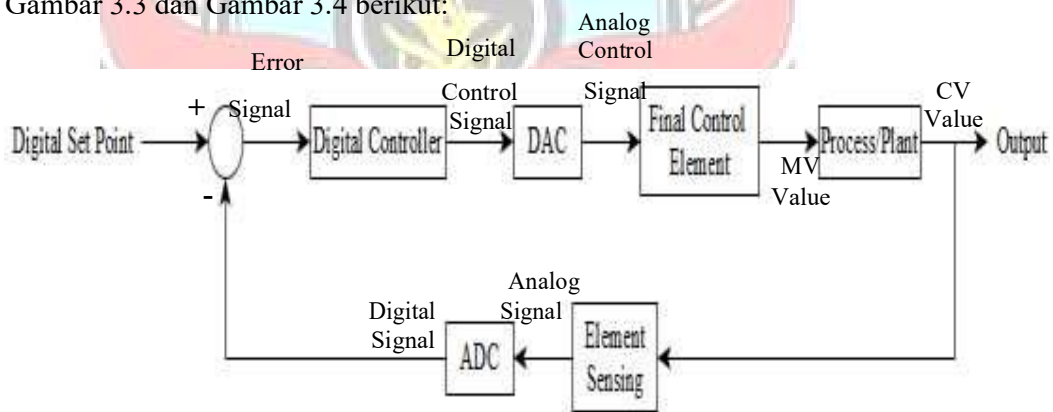


(b)

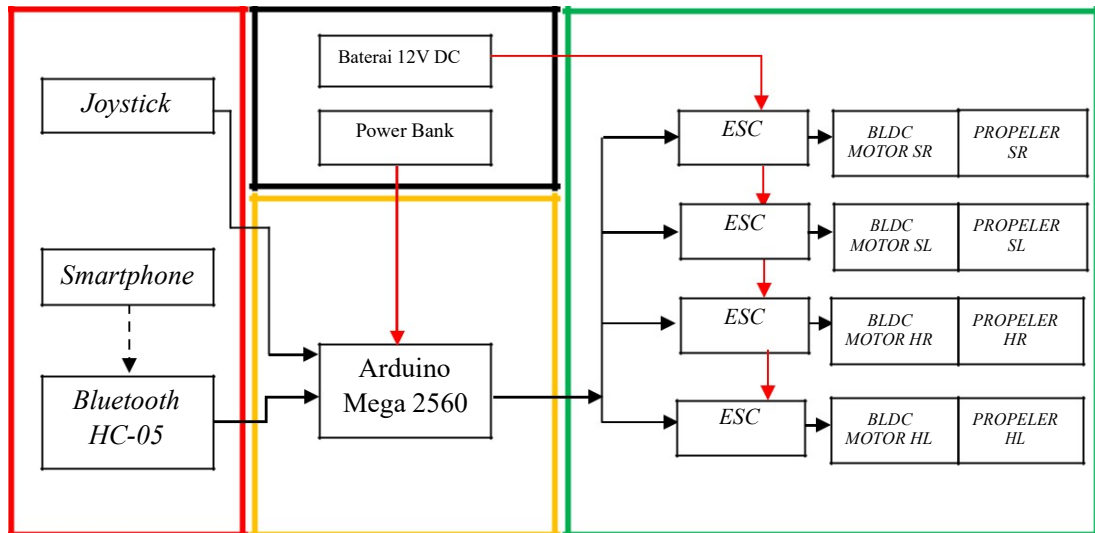
Gambar 3. 2 Hasil rancangan luar robot bawah air yang kedap air
(a) Tampak isometrik atas sudut 45° , kanan sudut 45° , dan depan sudut 45°
(b) Tampak isometric bawah sudut 45° , kiri sudut 45° , dan belakang sudut 45°

2) Perancangan Sistem Elektronik

Tahap awal pembuatan rangkaian elektronika yaitu membuat gambaran mengenai bagaimana sistem kerja dari alat atau tersebut. Gambaran rangkaian elektronika ini dapat dirancang dalam bentuk diagram blok. Secara garis besar, rangkaian elektronika pada robot ini memiliki tiga bagian utama, yaitu, masukan (*input*), kontroler dan keluaran (*output*). Bagian-bagian tersebut terhubung satu sama lain melalui kabel sebagai media koneksi. Masukan dapat berupa sensor maupun besaran listrik seperti tegangan, arus dan daya. Data dari masukan tersebut kemudian diolah oleh kontroler yang kemudian menghasilkan keluaran sebagai hasil yang ingin dicapai. Perancangan diagram blok robot bawah air dan rangkaian elektronika robot bawah air dalam bentuk skema dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3. 3 Blok Diagram Robot Bawah Air



Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Robot Bawah Air

Keterangan:

- SR (Surge Right)* : Letak komponen berada di sisi belakang kanan robot bertujuan untuk mendorong robot kedepan maupun kearah kiri
- SL (Surge Left)* : Letak komponen berada di sisi belakang kiri robot bertujuan untuk mendorong robot kedepan maupun kearah kanan
- HR (Heave Right)* : Letak Komponen beada di sisi tengah kanan robot bertujuan untuk mendorong robot ke atas maupun berotasi ke kiri
- HL (Heave Left)* : Letak Komponen beada di sisi tengah kiri robot bertujuan untuk mendorong robot ke atas maupun berotasi ke kanan

Proses pembuatan rangkaian elektronika dalam perancangan robot bawah air tidak membutuhkan pengkabelan (*wiring*) yang rumit. Penghubungan komponen satu dengan yang lain dapat dihubungkan secara langsung menggunakan kabel dan dapat juga degan membuat *shield* atau papan koneksi

yang dibuat pada PCB. Pembuatan *shield* berfungsi untuk memudahkan pengkabelan karena jalur koneksi sudah dirancang secara efektif pada *shield* sehingga memudahkan identifikasi *pin* komponen. Selain itu *shield* juga membuat penataan rangkaian lebih rapih dan kokoh. Dalam perancangan sistem rangkaian elektronika (*shield*) dapat dilakukan menggunakan aplikasi *Eagle*. Berikut langkah-langkah dalam perancangan sistem rangkaian elektronika tersebut.

- a. Menginstal aplikasi *Eagle* pada laptop.
- b. Menentukan komponen yang digunakan.
- c. Mengatur tata letak komponen pada layar *board*.
- d. Membuat *layout* dengan menghubungkan komponen satu sama lain menggunakan fitur *line* atau *wire* pada aplikasi *Eagle*.
- e. Melakukan pengecekan terhadap koneksi antar komponen untuk memastikan tidak ada hubungan pendek atau jalur yang terputus.
- f. Mencetak *layout* yang telah dibuat untuk kemudian dicetak pada PCB.

3.3.3 Pengadaan Alat dan Bahan

Pengadaan alat dan bahan merupakan tindak lanjut dari perancangan mekanik dan elektronik. Dalam melakukan eksekusi atau pembuatan alat, diperlukan ketersediaan alat dan bahan atau komponen-komponen sebagai bagian terpenting dalam pembuatan robot. Alat merupakan perangkat yang tidak melekat pada robot yang digunakan untuk mendukung proses pembuatan robot. Sementara bahan adalah komponen atau perangkat-perangkat yang melekat dan menjadi bagian dari robot. Alat dan bahan yang disediakan harus disesuaikan dengan komponen yang ditentukan pada tahapan perancangan mekanik dan elektronik.

3.3.4 Pembuatan Sistem Mekanik

Pembuatan sistem mekanik merupakan tindak lanjut dari perancangan mekanik yang telah dibuat sebelumnya. Hasil rancangan atau desain yang telah dibuat pada aplikasi *Autodesk Inventor* diimplementasikan ke dalam bentuk fisik *body* robot bawah air. Berikut langkah-langkah dalam pembuatan sistem mekanik:

- a. Menyiapkan alat dan bahan serta hasil rancangan yang telah dibuat sebelumnya.
- b. Memotong pipa PVC 4 inch sepanjang 50 cm sebagai *main body*.
- c. Membuat lubang pada *main body* sebanyak 2 lubang dengan ukuran 5 mm di bagian belakang kiri dan kanan dan 1 lubang dengan ukuran 5 mm di bagian tengah atas.
- d. Melakukan *assembly* antara *main body* dengan pipa PVC 1 inch di lubang ukuran 5 mm dengan posisi tegak lurus.
- e. Melakukan *assembly* antara pipa PVC 1 inch sebelumnya dengan pipa penyambung T 2 inch dengan posisi tegak lurus.
- f. Melakukan pemotongan pada akrilik 3 mm dan *Aluminium Composite Panel* (Alcopan) dengan ukuran diameter 15,4 cm sebanyak dua buah sebagai *seal*.
- g. Melakukan pemotongan pada akrilik 3 mm berbentuk I dengan ukuran 50 cm x 1 cm dengan tebal bentuk U sebesar 2 cm sebagai *rail* dan diletakkan di dinding bagian dalam *main body*.
- h. Melakukan pemotongan pada akrilik 3 mm dengan ukuran 49 cm x 110 cm sebagai tempat melekatnya komponen elektronik sebagai tempat komponen.

- i. Melakukan pemotongan pada akrilik 3 mm dengan ukuran 10 cm x 6 cm sebagai sirip tetap.
- j. Melakukan pelubangan besar pada 2 buah Alcopan masing-masing dengan diameter 11,4 cm.
- l. Melakukan pelubangan untuk baut sebanyak 8 buah dengan diameter 1 cm pada masing-masing Alcopan.
- m. Melakukan *assembly* ke *main body* dengan akrilik setengah *sphere* berdiameter 11,4 cm.
- n. Melakukan *assembly seal* di bagian belakang *main body*.
- o. Melakukan *assembly* di dinding bagian dalam *main body* dengan akrilik bentuk I sebagai *rail* tempat komponen
- p. Memasukkan komponen elektronik yang dilekatkan di tempat komponen kedalam *main body*.
- q. Memasang sirip tetap di bagian depan kiri dan kanan *main body*.
- s. Melakukan pengecatan pada masing-masing komponen robot agar lebih menarik kecuali akrilik.

3.3.5 Pengujian Kecedapan Air

Pada tahapan ini, sistem mekanik yang telah dibuat diuji di kedalaman air. Pengujian di lakukan di kolam buatan berukuran panjang 2 meter, lebar 0,5 meter dan tinggi 1 meter dengan ketinggian air 0,6 meter dan menggunakan air tawar. Pengujian meliputi seberapa lama robot kedap terhadap air, kedalaman robot menyelam, kecepatan robot bergerak di dalam air, dan keseimbangan robot mempertahankan posisi aslinya.

3.3.6 Pembuatan Sistem Elektronik

Pembuatan sistem elektronik meliputi pembuatan atau penyusunan tata letak (*layout*) komponen dan pengkabelan atau jalur koneksi ke dalam PCB. Pada tahapan ini, hasil rancangan yang telah dibuat menggunakan aplikasi *Eagle* diimplementasikan ke dalam bentuk *shield* atau papan rangkaian (*board*). Berikut langkah-langkah dalam pembuatan sistem elektronik:

- a. Menyediakan alat, bahan dan komponen yang dibutuhkan serta hasil rancangan yang telah dicetak pada kertas *kinstruk*.
- b. Mencetak hasil cetakan berupa kertas *kinstruk* ke dalam PCB dengan proses *ironing*. Proses tersebut menggunakan setrika untuk mencetak hasil rancangan dari kertas *kinstruk* ke dalam PCB. Kemudian, PCB tersebut didinginkan sekitar 10 menit agar ketika *kinstruk* hendak dilepaskan menggunakan air PCB tidak mengalami keretakan.
- c. Melakukan proses pelarutan. Pada proses tersebut PCB dilarutkan menggunakan bahan kimia cair *Ferric Chloric* ($FeCl_3$).
- d. Membuat lubang pada bagian yang ditempati oleh kaki (*pin*) komponen pada PCB menggunakan mata bor 0.8 mm.
- e. Memasang komponen sesuai tempat masing-masing pada bagian yang telah dilubangi.
- f. Menyolder kaki komponen pada PCB agar terhubung dengan sempurna dan tidak lepas.
- g. Melakukan pengecekan ulang untuk memastikan ketepatan dalam penyusunan tata letak komponen dan untuk mengecek koneksi jalur antar komponen.

3.3.7 Pengujian Sistem Elektronik

Pada tahapan ini sistem elektronik yang telah dibuat diuji untuk mengetahui apakah peralatan atau perangkat keras (*hardware*) yang telah dibuat tersebut dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Pengujian tersebut melibatkan torsi motor dalam menggerakkan robot, tegangan masukan dan keluaran serta konektivitas jalur komponen.

Pengujian ini dilakukan dengan cara *troubleshooting*. Pada dasarnya pengujian ini dilakukan untuk memeriksa jalur koneksi maupun mengukur atau melakukan pengambilan data terhadap beberapa parameter elektronis baik komponen secara terpisah maupun sistem secara keseluruhan. Berikut beberapa pengujian dan pengambilan data yang dilakukan pada pengujian sistem elektronik:

- a. Pengujian torsi dan kecepatan motor dilakukan untuk mengetahui seberapa besar torsi dan nilai kecepatan yang dapat dihasilkan oleh *brushless* motor sehingga dapat mendorong robot ke segala arah.
- b. Pengujian tegangan masukan dan keluaran. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan tegangan masuk atau tegangan keluar pada aktuator dan komponen lain sesuai dengan tegangan kerja masing-masing komponen.
- c. Pengujian koneksi jalur PCB dilakukan untuk memastikan tidak ada jalur yang terputus atau *korslet*.

3.3.8 Perakitan Alat Mekanik dan Elektronik

Tahapan ini merupakan tahapan penggabungan (*assembly*) peralatan mekanik dan elektronik yang telah dibuat sebelumnya. Peralatan elektronika yang

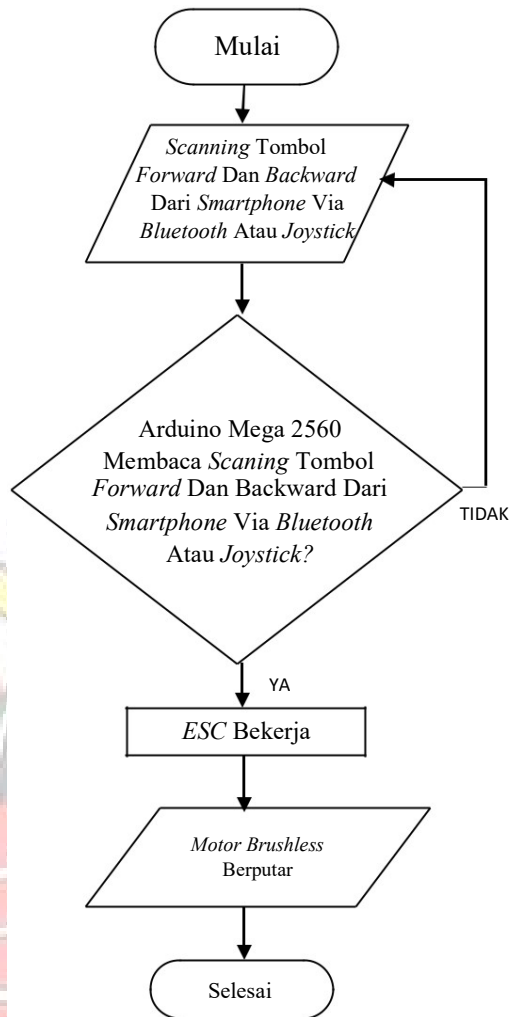
terdiri dari modul pengendali dan *shield* yang telah dibuat dimasukkan ke dalam lambung robot. Di dalam lambung robot dibuat *module case* dari bahan akrilik yang dipasang membujur di sisi tengah lambung robot. Modul tersebut direkatkan ke sisi kanan dan kiri lambung robot agar konstruksinya kokoh dan modul elektronik dapat melekat dengan baik.

Desain rangka (*body*) robot yang transparan memudahkan untuk melihat dan atau mengawasi sistem elektronika yang ada di dalam lambung robot. Semua komponen elektronika diletakkan di dalam lambung agar tidak mengalami kerusakan pada saat terkena air. Komponen yang berada di sisi luar robot hanya *propeller* yang terhubung dengan motor menggunakan *shaft* atau poros yang menjorok ke sisi luar robot.

3.3.9 Pembuatan Diagram Alir (*Flow Chart*)

Diagram alir (*flow chart*) merupakan diagram yang mewakili algoritma, tahapan kerja atau proses, yang menampilkan langkah-langkah dalam bentuk symbol-simbol grafis, dan urutannya dihubungkan dengan panah. Diagram ini mewakili ilustrasi atau penggambaran penyelesaian suatu masalah atau proses.

Pembuatan perangkat lunak (*software*) merupakan proses pembuatan mekanisme perintah yang dijalankan oleh robot. Pembuatan perangkat lunak meliputi pembuatan diagram alir dan pembuatan program. Pada Gambar 3.5 berikut ditunjukkan diagram alir program robot bawah air.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Program Utama Robot Bawah Air Untuk BLDC Motor

3.3.10 Pembuatan Program

Pembuatan program bertujuan untuk membuat serangkaian instruksi yang ditulis untuk melakukan suatu fungsi spesifik pada Arduino Mega 2560 ataupun modul lainnya atau biasa disebut dengan *coding*. Pembuatan bahasa pemrograman dilakukan menggunakan *software* Arduino IDE yang diinstal pada laptop dan pembuatan aplikasi android menggunakan App Inventor yang bisa di akses melalui web browser. Program yang telah dibuat tersebut kemudian diunggah ke

Arduino Mega 2560 untuk kemudian dieksekusi oleh actuator dan di *install* di *smartphone*.

Berikut langkah-langkah pembuatan program menggunakan:

1. Arduino IDE.
 - a. Menginstal aplikasi (*software*) Arduino IDE pada laptop.
 - b. Melakukan pemrograman sesuai dengan rancangan perintah yang telah direncanakan.
 - c. Mengunggah program dari laptop ke Arduino Mega 2560.
2. App Inventor
 - a. Membuka website appinventor.mit.edu di web browser yang tersedia di laptop.
 - b. Melakukan pembuatan aplikasi untuk mengendalikan arduino menggunakan modul *bluetooth HC-05*.
 - c. Meng-*download* dan meng-*install* aplikasi yang telah dibuat ke *smartphone*.

3.3.11 Pengujian Robot

Pada proses ini sistem kontrol yang telah dirakit dan dipasang selanjutnya diuji dan dilakukan pengambilan data. Pengujian dan pengambilan data yang dilakukan sebagai berikut:

- 1) Pengujian program berbasis Arduino IDE dilakukan untuk mengetahui keberhasilan aktuator dalam mengolah perintah dari prosesor dalam hal ini Arduino Mega 2560.

- 2) Pengujian kekuatan kerangka (*body*) robot di dalam air. Pengujian kerangka robot dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari bahan robot yaitu pipa akrilik untuk menahan tekanan air.
- 3) Pengujian gerakan robot. Pengujian ini terbagi menjadi dua, yaitu pengujian gerakan *horizontal* dan gerakan *vertical*. Gerakan *horizontal* dipengaruhi oleh dua buah *Brushless DC Motor* yang dipaasang secara horizontal di bagian belakang robot. Gerakan *vertical* dilakukan oleh dua buah *Brushless DC Motor* yang dipasang secara vertikal di bagian tengah robot
- 4) Pengujian kecepatan robot. Pengujian ini terbagi menjadi dua, yaitu pengukuran kecepatan motor penggerak *horizontal* dan kecepatan gerakan *vertical* robot. Pengukuran kecepatan *vertical* dilakukan dengan cara menghitung kedalaman bak atau akuarium wadah uji coba dengan waktu yang dibutuhkan robot bergerak dari permukaan sampai menyentuh dasar akuarium. Pengukuran kecepatan *horizontal* dilakukan dengan menetapkan jarak sejauh 1 meter dari posisi awal robot dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapainya.

3.3.12 Uji Coba Sistem Robot Bawah Air

Pada tahapan ini sistem mekanik dan kontrol dari robot diuji di lokasi eksperimen. Adapula parameter yang penting untuk diperhatikan saat pengujian sistem mekanik dan kontrol robot bawah air yaitu keseimbangan robot di kedalaman air, keseimbangan robot agar tidak terbalik, kedekatan robot terhadap air untuk melindungi komponen dalam *main body*, perubahan arah yang dilakukan oleh robot menggunakan servo, dan kecepatan motor untuk mendorong robot.

Selama proses uji coba sistem robot, dapat dilakukan secara paralel dengan kegiatan *troubleshooting* karena selama proses uji coba ditemukan rintangan dan kendala yang tidak terduga. Setelah uji coba telah dilakukan dan tidak menemui kendala dilanjutkan ke pengambilan data.

3.3.13 Pengambilan Data

Pada dasarnya pengambilan data dapat dilakukan secara paralel dengan kegiatan pengujian robot karena setiap melakukan pengujian tentu ada data yang dihasilkan. Namun, yang dimaksud pengambilan data pada tahapan ini adalah mengumpulkan semua data hasil pengujian kemudian data tersebut diproses untuk dibuat suatu kesimpulan terkait kegiatan penelitian.

Adapun bentuk data yang diambil pada tahapan ini adalah gaya apung dan berat robot ketika sebelum berada di dalam air dan ketika robot berada di dalam air, kesetimbangan dan titik berat, kecepatan robot saat berpindah posisi, menyelam dan naik ke permukaan, kecepatan robot dalam mengeksekusi perintah program, serta jarak maksimum yang dapat dicapai oleh robot.

Hasil data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk algoritma atau diagram visual yang mudah dipahami untuk kemudian dipublikasikan atau dibuat laporan hasil penelitian. Data tersebut menjadi arsip dan sumber referensi jika robot dikembangkan.

3.3.14 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan adalah tahapan terakhir dalam kegiatan penelitian ini. Laporan berisi mengenai seluruh informasi selama penelitian dalam bentuk data hasil penelitian. Adapun tujuan pembuatan laporan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengatasi suatu masalah.
- 2) Mengambil suatu keputusan yang lebih efektif.
- 3) Mengetahui perkembangan dan kemajuan suatu masalah.
- 4) Mengadakan pengawasan dan perbaikan.
- 5) Menemukan teknik-teknik baru.



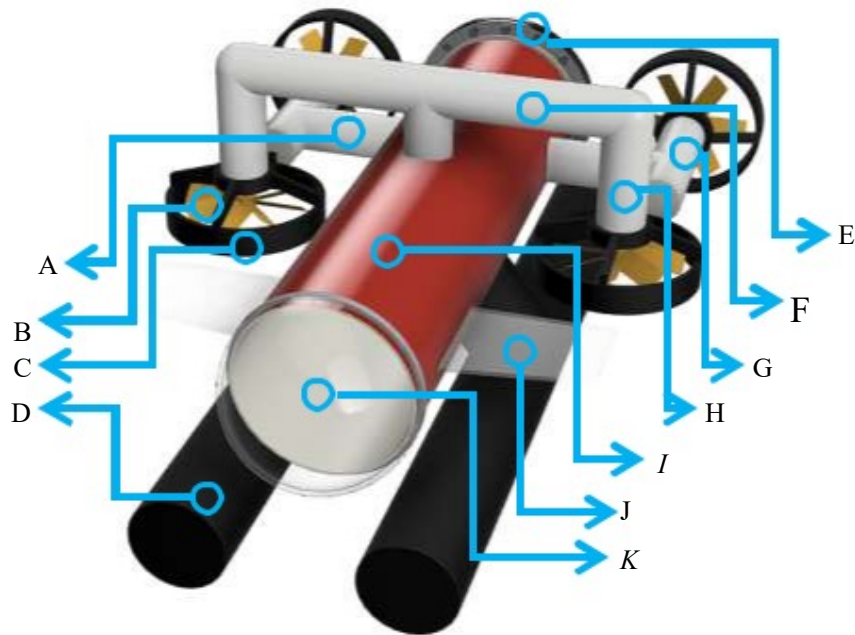
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Hasil perancangan terbagi atas dua, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Berdasarkan hasil perancangan perangkat keras dalam pembuatannya meliputi perancangan sistem mekanik dan perancangan sistem elektronik. Perancangan perangkat lunak meliputi perancangan program yang dibuat dalam bentuk program arduino dan aplikasi pengendali gerakan robot. Setelah semua selesai dibuat maka dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen yang digunakan.

4.1.1 Hasil Perancangan Sistem Mekanik

Setelah melakukan perancangan maka penulis mendapatkan hasil rancangan sistem mekanik robot yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Rancangan Robot Bawah Air

Ket.

A : Dudukan Silinder Belakang

B : Propeller

C : Pelindung Propeller

D : Kaki Robot

E : Penutup Belakang

F : Dudukan Silinder Tengah

G : Dudukan Motor Belakang

H : Dudukan Motor Tengah

I : *Body* Utama

J : Penyeimbang Robot

K : *Dome*

Adapun tampak atas dari robot bawah air ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Tampak Atas Robot Bawah Air

Adapun tampak depan dari robot bawah air ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Tampak Depan Robot Bawah Air

Adapun tampak samping dari robot bawah air ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Tampak Samping Robot Bawah Air

Berdasarkan hasil Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560, alat yang dirancang mampu kedap terhadap air, dapat bergerak dalam air secara stabil, dan dapat dikontrol menggunakan *joystick*. Dimana Robot memiliki ukuran panjang keseluruhan yaitu 568 mm dan lebar yaitu 380 mm. Adapun bagian-bagian sistem mekanik robot meliputi *body* utama robot, sirip penyeimbang, kaki robot, serta dudukan motor untuk mekanisme gerakan horizontal dan vertikal.

- 1) *Body* atau Badan Utama Robot

Body atau badan robot terbuat dari pipa PVC dan *dome* akrilik yang terletak di bagian sisi depan robot. Badan robot memiliki diameter 118 mm dan panjang 450 mm. Badan utama robot dirancang terbagi 2 bagian yaitu bagian atas untuk tempat elektronik dan bagian bawah untuk tempat pemberat, dan kedap terhadap air agar sistem elektronik yang ada di dalam badan utama robot terlindungi dari kerusakan akibat kebocoran robot.

2) *Dome* Robot

Dome robot terbuat dari akrilik setengah lingkaran yang terletak di depan *Body* robot dengan diameter 11,8 cm dan setinggi 5,9 cm. *Dome* berfungsi untuk mengurangi gaya gesek yang terjadi saat robot bergerak maju ataupun gaya yg berlawanan arah dengan arah depan robot.

3) Penyeimbang Robot

Penyeimbang robot terdiri dari dua bagian, yaitu penyeimbang yang terletak pada sisi depan tengah robot yang memungkinkan posisi robot tetap stabil jika berada di permukaan atau di dalam air. Penyeimbang robot memiliki panjang 90 mm dan lebar 70 mm.

4) Kaki Robot

Kaki robot terbuat dari dua buah pipa PVC berukuran diameter 2 inci dengan panjang 56,8 cm yang terletak di bagian bawah *Body* dan sejajar dengan sudut kemiringan 40° dari sumbu X dan sumbu Z. Kaki robot diisikan pemberat agar selain menjadi kaki untuk robot, bisa juga menambah berat dan massa jenis robot mendekati massa jenis air tawar agar robot dapat melayang di dalam air.

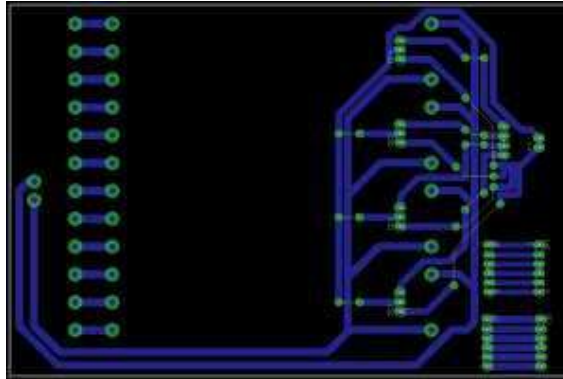
4) Mekanisme Gerakan Horizontal dan Vertikal

Mekanisme gerakan horizontal dan vertikal terbuat dari pipa PVC dengan diameter 1 inch dan panjang untuk mekanisme gerakan horizontal masing-masing 12 cm serta panjang untuk mekanisme gerakan vertikal masing masing 10 cm. Aktuator yang digunakan untuk mekanisme gerakan horizontal robot adalah dua buah *brushless DC motor* yang dipasang sejajar di sisi kiri dan kanan belakang robot yang menghadap horizontal serta aktuator yang digunakan untuk mekanisme gerakan vertikal robot adalah dua buah *brushless DC motor* yang dipasang sejajar di sisi kiri dan kanan tengah robot yang menghadap vertikal.

4.1.2 Hasil Perancangan Sistem Elektronik

Pada rangkaian elektronika pengontrolan robot bawah air menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai kontroler serta motor servo dan motor *brushless* sebagai aktuator penggerak. Kecepatan pada motor *brushless* diatur *Electric Speed Control (ESC)*. Sumber tegangan terdiri dari *Power Bank* 5 volt dan baterai *Lithium Polymer (LiPo)* 7,4 volt yang dimana *Power Bank* dipasang untuk menyuplai tegangan masuk ke arduino kemudian didistribusi masuk ke komponen-komponen lainnya dan *Lithium Polymer* dipasang untuk menyuplai tegangan masuk ke *ESC* dan diteruskan ke *BLDC*. Rangkaian ini juga menggunakan *Joystick* sebagai pengendali robot dan *Bluetooth HC-05* sebagai media komunikasi data antara *smartphone* dan kontroler selain dari *joystick*.

Pembuatan rangkaian elektronika dibuat menggunakan aplikasi Autodesk Eagle kemudian dicetak pada papan PCB. Adapun rangkaian *layout board*, dan hasil pembuatannya ditunjukkan pada Gambar 4.5.

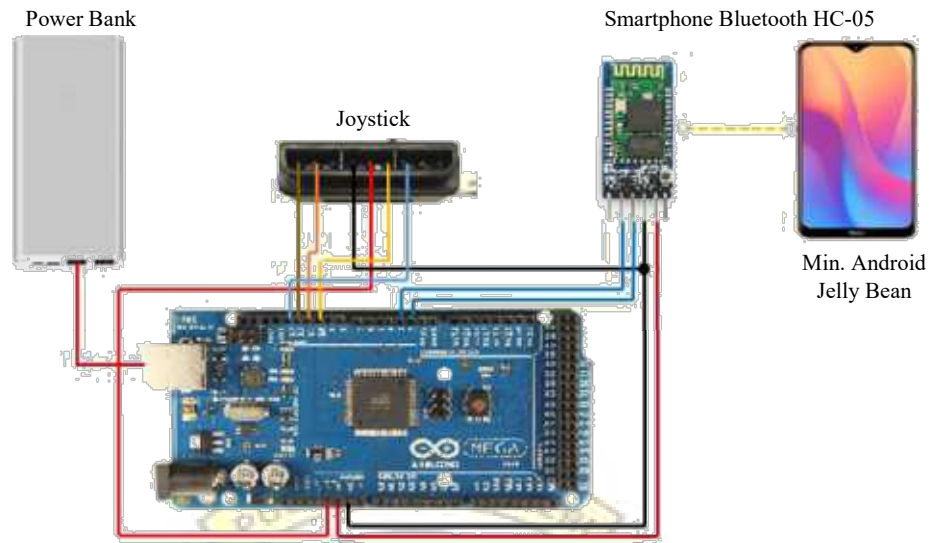


Gambar 4. 5 *Layout Board* Kontroler Robot Bawah Air

Adapun hubungan-hubungan elektronik pada robot dapat dijabarkan sebagai berikut:

- 1) Rangkaian Hubungan antara *Joystick*, *Smartphone*, *Bluetooth*, dan Arduino Mega 2560

Rangkaian ini merupakan rangkaian sistem komunikasi daya yang memungkinkan robot dapat dikontrol melalui *Joystick* maupun *Smartpone*. Gambar 4.6 menunjukkan rancangan hubungan rangkaian elektornik robot antara *Joystcik*, *Smartphone*, *Bluetooth* dan Arduino Mega dan Gambar 4.7 menunjukkan hasil rancangan hubungan rangkaian elektronik robot tersebut.



Gambar 4. 6 Rancangan Rangkaian Elektronik Hubungan antara *Joystick*, *Smartphone*, *Bluetooth* dan *Arduino Mega 2560*

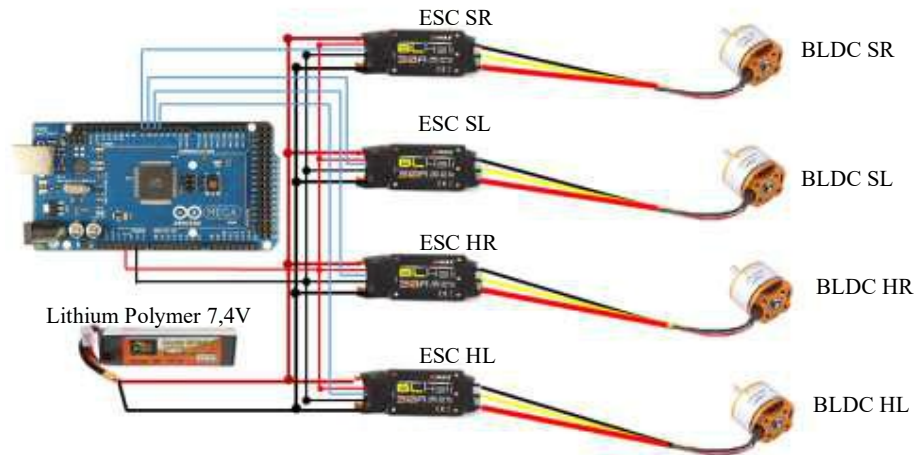


Gambar 4. 7 Rangkaian Elektronik Hubungan antara *Joystick*, *Smartphone*, dan *Arduino Mega 2560*

- 2) Rangkaian Hubungan antara *ESC (Electric Speed Control)*, dan *Brushless DC Motor*, dan *Arduino Mega 2560*

Rangkaian ini merupakan rangkaian mekanisme gerakan horizontal dan vertikal yang terdiri dari komponen *ESC* dan motor *brushless*. Gambar 4.8 menunjukkan rancangan dari rangkaian mekanisme gerakan horizontal dan vertikal robot antara *Arduino Mega 2560*, *ESC (Electrical*

Speed Control) dan motor *brushless* dan Gambar 4.9 menunjukkan hasil rancangan dari rangkaian tersebut.

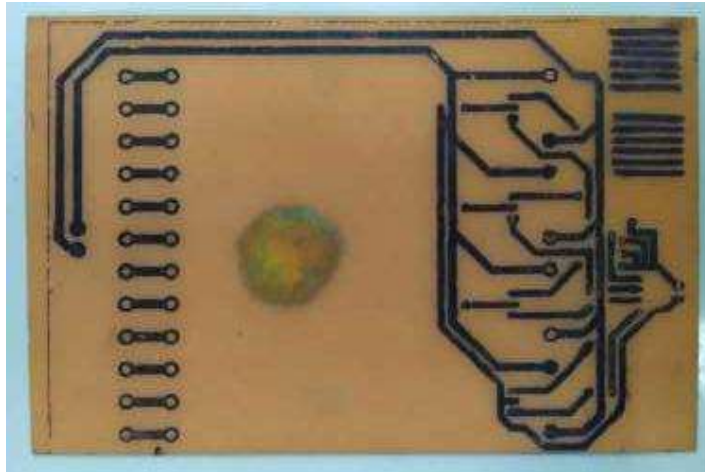


Gambar 4. 8 Rancangan Rangkaian Elektronika Hubungan antara *Brushless DC Motor*, ESC, dan Arduino Mega 2560



Gambar 4. 9 Rangkaian Elektronika Hubungan antara *Brushless DC Motor*, ESC, dan Arduino Mega 2560

- 3) Rancangan aktuator dan kontroler setelah dicetak pada papan PCB ditunjukkan Gambar 4.10 menunjukkan rangkaian kontroler robot setelah dicetak pada papan PCB



Gambar 4. 10 Rangkaian Kontroler Setelah Dicetak pada Papan PCB

- 4) Hasil perakitan komponen elektronika pada papan PCB

Gambar 4.11 menunjukkan perakitan komponen pada rangkaian kontroler robot.



Gambar 4. 11 Perakitan Komponen pada Rangkaian Kontroler

4.1.3 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak yaitu dibuat dengan menggunakan aplikasi arduino IDE dan *bluetooth HC-05*. Adapun hasil perancangan aplikasi *bluetooth* yang didapatkan adalah:

1) Tampilan Utama Aplikasi

Tampilan utama pada aplikasi ini merupakan tampilan saat melakukan perancangan menu dan peletakkannya pada MIT Inventor App.

Gambar 4.12 menunjukkan tampilan utama aplikasi.



Gambar 4. 12 Tampilan Utama Aplikasi

2) Program *On-Off*

Pada bagian ini menggambarkan perancangan blok program untuk perintah *On* dan *Off*. Gambar 4.13 menunjukkan program *On-Off*

```

when Screen1 BackPressed
do call BluetoothClient1 Disconnect
close application

when ListPicker1 BeforePicking
do set ListPicker1 Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

when ListPicker1 AfterPicking
do if call BluetoothClient1 Connect
address ListPicker1 Selection
then set ListPicker1 Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

when Clock1 Timer
do if BluetoothClient1 IsConnected
then set Label1 Text to Connected
set Label1 TextColor to Green
else set Label1 Text to Disconnected
set Label1 TextColor to Red

```

Gambar 4. 13 Program *On-Off*

3) Program Kecepatan Motor yang Dapat Diatur

Pada bagian ini menggambarkan perancangan blok program *slider*, dimana nilai masukan dapat dikontrol. Gambar 4.14 menunjukkan program kecepatan motor yang dapat diatur.

```

when SForward PositionChanged
thumbPosition
do set N1aISF Text to floor SForward ThumbPosition
if BluetoothClient1 IsConnected
then call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
number floor SForward ThumbPosition

when SBackward PositionChanged
thumbPosition
do set N1aISB Text to floor SBackward ThumbPosition
if BluetoothClient1 IsConnected
then call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
number floor SBackward ThumbPosition

when SLeft PositionChanged
thumbPosition
do set N1aISL Text to floor SLeft ThumbPosition
if BluetoothClient1 IsConnected
then call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
number floor SLeft ThumbPosition

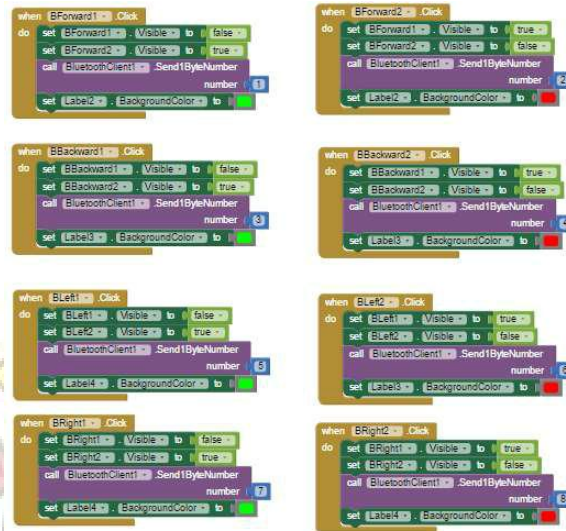
when SRight PositionChanged
thumbPosition
do set N1aISR Text to floor SRight ThumbPosition
if BluetoothClient1 IsConnected
then call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
number floor SRight ThumbPosition

```

Gambar 4. 14 Program Kecepatan Motor yang Dapat Diatur

4) Program Kecepatan Motor Secara Konstan

Pada bagian ini menggambarkan blok program untuk program *button*. Gambar 4.15 menunjukkan program kecepatan secara konstan.



Gambar 4. 15 Program Kecepatan Secara Konstan

5) Tampilan Aplikasi Pada *Smartphone*

Tampilan aplikasi pada *smartphone* merupakan tampilan yang akan muncul sebagai tampilan utama pada *smartphone* ketika aplikasi akan dijalankan. Gambar 4.16 menunjukkan tampilan aplikasi pada *smartphone*.



Gambar 4. 16 Tampilan Aplikasi Pada *Smartphone*

4.1.4 Hasil Pengujian

Pengujian merupakan langkah yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian antara rancangan dengan kenyataan pada alat yang telah dibuat, apakah sudah sesuai dengan diharapkan atau belum. Pengujian alat ini juga berguna untuk mengetahui tingkat kinerja dari alat tersebut. Setelah dilakukan pengujian, maka hendaknya melakukan pengujian ukuran dan atau analisa terhadap apa yang diuji untuk mengetahui keberhasilan dari alat yang dibuat dalam skripsi ini.

1) Proses Kerja Alat

Sistem akan bekerja dimana *joystick* atau *smartphone* akan mengirim perintah berupa sinyal dalam bentuk tipe data *byte* dan *char* kemudian sinyal dari *smartphone* terkirim menuju *bluetooth* dan *bluetooth* akan menerima sinyal tersebut dan mengirimkan ke arduino. Berbeda dengan *smartphone*, *joystick* akan mengirim sinyal langsung menuju ke Arduino. Arduino akan memproses data berupa program yang telah dibuat menggunakan program arduino, dari hasil tersebut arduino lalu mengirim sinyal ke *Electrical Speed Control (ESC)*. Apabila sinyal telah diproses maka ESC akan mengelola sinyal dari mikrokontroler dalam hal ini Arduino kemudian dikirim sebagai keluaran sehingga dapat menggerakkan aktuator yaitu motor *Brushless*. Adapun mekanisme menyelam robot menggunakan motor servo yang dikendalikan menggunakan Arduino Mega. Motor servo bekerja dengan mengeksekusi data masukan berupa nilai sudut atau posisi.

2) Pengujian Rangkaian Arduino

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah port pada arduino berfungsi dengan baik atau tidak. Pengetesan rangkaian arduino dilakukan dengan mengunggah program yang telah dibuat menuju ke Arduino dan dilakukan percobaan kepada setiap komponen.

3) Pengujian Rangkaian Elektronik

a) Pengujian Motor *Brushless*

Motor *brushless* yang digunakan adalah tipe A2212/6T. Motor ini dipasang pada bagian belakang robot bawah air pada kedua sisinya. Adapun spesifikasi motor *brushless* A2212/6T berdasarkan *datasheet* ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Spesifikasi Motor Brushless A2122/6T

No. of Cells:	2-3 Li-Poly 6-10 NiCd/NiMH
Kv:	2200 RPM/V
Max Efficiency:	80%
Max Efficiency Current:	4-10A (>75%)
No Load Current:	0.5A @10V
Max Watts:	342W
Max Current:	12A for 60s
Weight:	47 g / 1.66 oz
Size:	27.5 mm dia x 30 mm bell length
Shaft Diameter:	3.2 mm
Model Weight	400 - 1000g / 14,11 - 35,27 oz

Motor dengan tipe ini mampu berputar 2200 rpm per-volt. Artinya, jika motor menggunakan baterai 2S dengan nilai 7,4V maka motor dapat berputar dengan kecepatan maksimal 16.280 rpm. Untuk mengetahui daya dorong motor (P_{dr}) yang diperlukan untuk menggerakkan robot dapat dihitung menggunakan rumus persamaan berikut:

Diketahui: Massa Robot (m_r) = 7,8 [Kg] Power Loading

Motor (P_{lm}) = 200 [Watt/kg] Maka daya dorong robot adalah

$$P_{dr} = m_r \times P_{lm}$$

$$= 7,8 \times 200$$

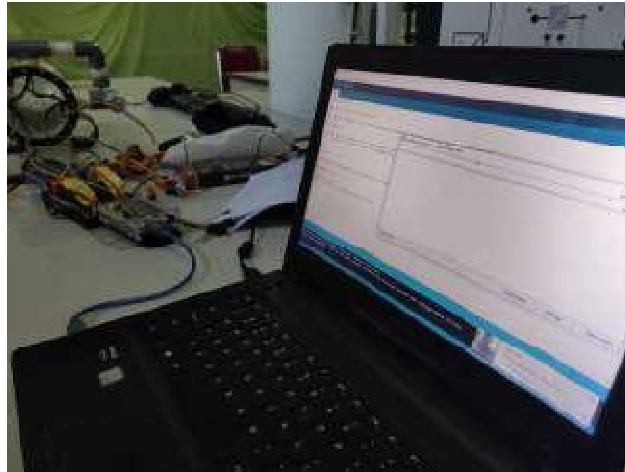
$$= 1.560 \text{ [Watt]}$$

$$= 2,09 \text{ [Hp]}$$

Jadi, Daya dorong robot adalah 1.560 [Watt] atau 2,09 [Hp]

Berdasarkan dari Tabel 4.1, motor ini juga mampu mendorong *model weight* hingga 1000 g. Jadi, dua buah motor *brushless* yang dipasang pada robot bawah air mampu mendorong 2000 g atau 2 kg *model weight*.

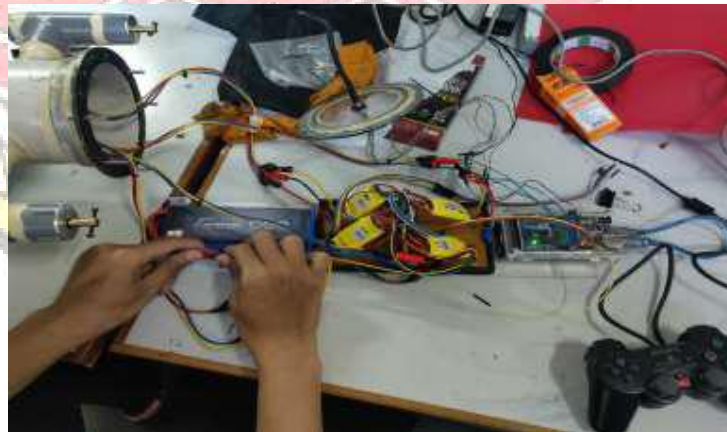
Pengujian motor *brushless* dilakukan untuk mengetahui kecepatan putar motor. Pada pengujian ini digunakan *joystick* yang terhubung langsung menuju arduino menggunakan media kabel. Proses pengujian motor *brushless* via kabel dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Pengujian Motor *Brushless*

b) Pengujian *Joystick*

Pada perancangan alat ini *joystick* berfungsi untuk mengontrol robot melalui komunikasi serial yang menggunakan kabel. *Built-in LED* sebagai indikator respon *joystick*. Adapun pengujian *joystick* dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Pengujian *Joystick*

Berdasarkan hasil pengujian, *joystick* mampu mengontrol robot dari jarak sesuai dengan panjang kabel yang dihubungkan ke robot tetapi kabel

tersebut memberikan beban terhadap robot yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada bagian belakang robot.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian berat kabel dari *Joystick*

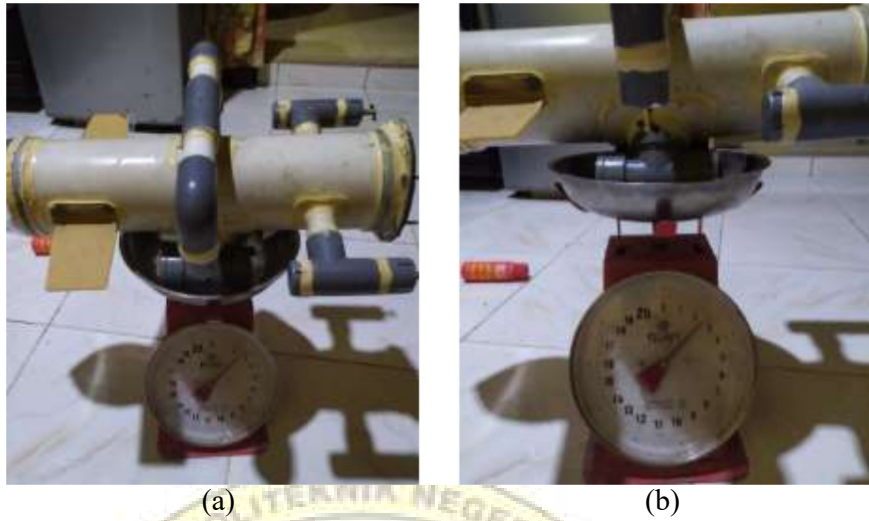
Jarak Kabel [m]	Berat kabel [kg]
2 meter	0,1 [kg]
3 meter	0,15 [kg]
4 meter	0,2 [kg]
5 meter	0, 25 [kg]

4) Pengukuran dan Perhitungan Berat Robot, Massa Jenis Robot dan Titik Berat Robot

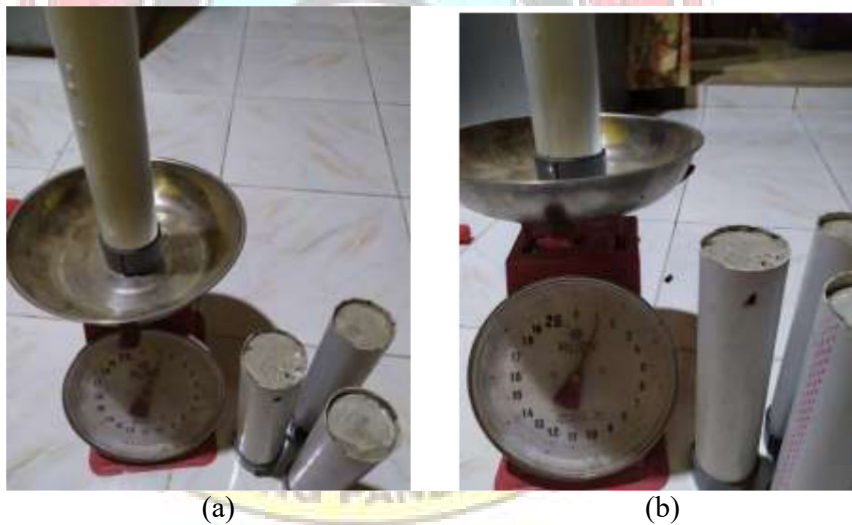
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa massa yang diperlukan benda agar bisa tenggelam ke dalam air. Metode pengujian ini dilakukan melalui perhitungan dan analisis berdasarkan rumus perbandingan gaya apung dan berat benda. Berikut merupakan hasil perhitungan gaya apung yang telah dilakukan:

a) Massa Robot (m_r [kg])

Setelah penulis melakukan pengukuran diketahui massa robot tanpa kaki pemberat adalah sebesar 2,6 [kg] dan massa sebuah kaki pemberat adalah 1,4 [kg] menggunakan material pemberat yaitu semen. Pada Gambar 4.19 ditunjukkan hasil pengukuran massa robot dan pada Gambar 4.20 ditunjukkan hasil pengukuran massa kaki pemberat.



Gambar 4. 19 Hasil Pengukuran Massa Robot Tanpa Kaki Pemberat
 (a) Robot saat diukur
 (b) Nilai hasil pengukuran robot



Gambar 4. 20 Hasil Pengukuran Massa Sebuah Kaki Pemberat
 (a) Kaki pemberat saat diukur
 (b) Nilai hasil pengukuran kaki pemberat

Pemilihan material pemberat dilakukan berdasarkan pertimbangan antara beberapa jenis material dengan memperhatikan sumber, fleksibilitas, dan massa jenisnya. Perbandingan jenis material pemberat dapat dilihat di Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perbandingan jenis material pemberat

Jenis Material	Massa Jenis [kg/m^3]	Ket
Besi Cor	7.000 [kg/m^3]	Susah dibentuk
Batu pecah	1.450 [kg/m^3]	Susah dibentuk
Pasir	1.400 [kg/m^3]	Mudah dibentuk
Semen	3.150 [kg/m^3]	Mudah dibentuk

Dapat dilihat dari Tabel 4.3 diatas bahwa material besi cor memiliki massa jenis tertinggi dan dapat ditemukan di toko-toko seperti kepala palu-palu tetapi bentuk dari besi cor susah untuk di bentuk sesuai keinginan dan akan menyebabkan banyak spasi yang tidak tergunakan. Massa jenis dari material batu pecah dan pasir berbeda 50 [kg/m^3] dan yang membedakannya adalah batu pecah sulit dibentuk dan akan membuat spasi dalam pemberat sedangkan pasir dapat menyesuaikan bentuknya dengan bentuk pemberat. Dari semua jenis material yang dipertimbangkan, material semen merupakan material yang memiliki massa jenis yang tinggi dengan nilai 3150 [kg/m^3] dan mudah dibentuk sesuai dengan cetakan atau pemberat.

b) Berat Robot (W_r [N])

Untuk mengetahui berat robot ketika berada di dalam air, maka dilakukan perhitungan dan analisis menggunakan rumus dari persamaan (2.1):

Diketahui: Massa robot tanpa kaki (m_r) = 2,6 [kg]

 Massa kaki pemberat (m_k) = 1,4 [kg]

$$\text{Percepatan gravitasi bumi} = 9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Maka, berat robot adalah:

$$\begin{aligned} W_r &= (m_r + (m_k \times 4)) \times g \\ &= (2,6 + (1,4 \times 4)) \times 9,8 \\ &= (2,6 + 5,6) \times 9,8 \\ &= 8,2 \times 9,8 \end{aligned}$$

$$W_r = 80,36 \text{ [N]}$$

Jadi, berat robot adalah sebesar 80,36 [N]

c) Volume Robot (V_r [m³])

1. Badan Utama

Diketahui: Panjang Badan Utama (p) = 45 [cm]

Jari-jari Badan Utama (r) = 5,9 [cm]

Maka, volume badan utama pada robot adalah:

$$\begin{aligned} V_{bu} &= \pi r^2 \times p \\ &= 3,14 \times 5,9^2 \times 45 \\ &= 4.921,148 \text{ [cm}^3\text{]} \end{aligned}$$

Jika dikonversikan menuju ke satuan meter, maka:

$$\begin{aligned} V_{bu} &= 4.921,148 \text{ [cm}^3\text{]} \\ &= 4.921,148 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

2. *Dome*

Diketahui: Jari-jari *Dome* (r) = 5,9 [cm]

Maka, volume *Dome* pada robot adalah:

$$V_d = (4/3 \times \pi \times r^3) / 2$$

$$= (4/3 \times 3,14 \times 5,9^3) / 2$$

$$= (4,12 \times 205,38) / 2$$

$$= 430,144 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_d = 430,144 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$= 430,144 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

3. Penyeimbang Robot

Diketahui: Panjang Penyeimbang (p) = 9 cm

Lebar Penyeimbang (l) = 7 cm

Tebal Penyeimbang (t) = 0,3 cm

$$= 9 \times 7 \times 0,3$$

$$= 18,9 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Karena robot memiliki penyeimbang dua buah, maka volume total penyeimbang adalah:

$$= 37,8 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$= 37,8 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

4. Kaki Robot

Diketahui: Panjang Kaki Robot (p) = 56,8 [cm]

Jari-jari Kaki Robot (r) = 3,2 [cm]

Maka, volume kaki pada robot adalah:



$$\begin{aligned}
 V_k &= \pi r^2 \times p \\
 &= 3,14 \times 3,2^2 \times 56,8 \\
 &= 1.827,251 \text{ [cm}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

Karena robot memiliki kaki dua buah, maka volume total kaki adalah:

$$\begin{aligned}
 V_k &= 1.827,251 \times 2 \\
 &= 3.654,502 \text{ [cm}^3\text{]} \\
 &= 3.654,502 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

5. Silinder Dudukan Motor Belakang

Diketahui: Panjang Silinder (p) = 12 [cm]

Jari-jari Silinder (r) = 1,7 [cm]

Maka, volume dudukan motor belakang pada robot adalah:

$$\begin{aligned}
 V_{sdb} &= \pi r^2 \times p \\
 &= 3,14 \times 1,7^2 \times 12 \\
 &= 108,95 \text{ [cm}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

Karena robot memiliki dudukan motor belakang dua buah, maka volume total dudukan motor belakang adalah:

$$\begin{aligned}
 &= 217,9 \text{ [cm}^3\text{]} \\
 &= 217,9 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

6. Dudukan Silinder Motor Belakang

Diketahui: Panjang Silinder (p) = 7,5 [cm]

Jari-jari Silinder (r) = 1,7 [cm]

Maka, volume dudukan silinder belakang pada robot adalah:

$$\begin{aligned}V_{dsb} &= \pi r^2 \times p \\ &= 3,14 \times 1,7^2 \times 7,5 \\ &= 68,094 \text{ [cm}^3\text{]}\end{aligned}$$

Karena robot memiliki dudukan silinder belakang dua buah, maka volume total dudukan silinder belakang adalah:

$$\begin{aligned}&= 136,188 \text{ [cm}^3\text{]} \\ &= 136,188 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}\end{aligned}$$

7. Silinder Dudukan Motor Tengah

Diketahui: Panjang Silinder (p) = 10 [cm]
Jari-jari Silinder (r) = 1,7 [cm]

Maka, volume dudukan motor tengah pada robot adalah:

$$\begin{aligned}V_{sdt} &= \pi r^2 \times p \\ &= 3,14 \times 1,7^2 \times 10 \\ &= 90,792 \text{ [cm}^3\text{]}\end{aligned}$$

Karena robot memiliki dudukan motor tengah dua buah, maka volume total dudukan motor tengah adalah:

$$\begin{aligned}&= 181,584 \text{ [cm}^3\text{]} \\ &= 181,584 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}\end{aligned}$$

8. Dudukan Silinder Motor Tengah

Diketahui: Panjang Silinder (p) = 24 [cm]

$$\text{Jari-jari Silinder (r)} = 1,7 \text{ [cm]}$$

Maka, volume dudukan silinder tengah pada robot adalah:

$$\begin{aligned} V_{\text{dst}} &= \pi r^2 \times p \\ &= 3,14 \times 1,7^2 \times 24 \\ &= 217,901 \text{ [cm}^3\text{]} \end{aligned}$$

$$= 217,901 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

9. Alcopan Penutup Belakang Robot

Diketahui: Jari-jari luar penutup (r_1) = 7,25 [cm]

Jari-jari dalam penutup (r_2) = 5,5 [cm]

Tebal Alcopan (t) = 0,6 [cm]

Maka, volume alcopan penutup belakang pada robot adalah:

$$\begin{aligned} V_{\text{pb1}} &= (\pi r_1^2 \times t) - (\pi r_2^2 \times t) \\ &= (3,14 \times 7,25^2 \times 0,6) - (3,14 \times 5,5^2 \times 0,6) \\ &= 99,078 - 57,019 \\ &= 42,059 \text{ [cm}^3\text{]} \end{aligned}$$

$$= 42,059 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

10. Akrilik Penutup Belakang Robot

Diketahui: Jari-jari akrilik penutup (r) = 6 [cm]

Tebal akrilik penutup (t) = 0,3 [cm]

Maka, volume akrilik penutup belakang pada robot adalah:

$$\begin{aligned}V_{pb2} &= \pi r^2 \times t \\ &= 3,14 \times 6^2 \times 0,3 \\ &= 33,929 \text{ [cm}^3\text{]}\end{aligned}$$

$$= 33,929 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

11. Cincin Pelindung Propeller Robot

Diketahui: Jari-jari luar cincin (r_1) = 2,4 [cm]

Jari-jari dalam cincin (r_2) = 1,9 [cm]

Tebal cincin (t) = 1 [cm]

Maka, volume cincin pelindung propeller pada robot adalah:

$$\begin{aligned}V_{cpp} &= (\pi r_1^2 \times t) - (\pi r_2^2 \times t) \\ &= (3,14 \times 2,4^2 \times 1) - (3,14 \times 1,9^2 \times 1) \\ &= 18,095 - 11,341 \\ &= 6,754 \text{ [cm}^3\text{]}\end{aligned}$$

Karena robot memiliki cincin pelindung propeller empat buah,

maka volume total cincin pelindung propeller adalah:

$$\begin{aligned}&= 27,016 \text{ [cm}^3\text{]} \\ &= 27,016 \times 10^{-6} \text{ [cm}^3\text{]}\end{aligned}$$

12. Pelindung Propeller

Diketahui: Jari-jari luar pelindung (r_1) = 5,5 [cm]

Jari-jari dalam pelindung (r_2) = 5,1 [cm]

Tebal pelindung (t) = 2 [cm]

Maka, volume pelindung propeller pada robot adalah:

$$\begin{aligned}V_{pp} &= (\pi r_1^2 \times t) - (\pi r_2^2 \times t) \\&= (3,14 \times 5,5^2 \times 2) - (3,14 \times 5,1^2 \times 2) \\&= 190,066 - 163,425 \\&= 26,64 [\text{cm}^3]\end{aligned}$$

Karena robot memiliki pelindung propeller empat buah, maka volume total pelindung propeller adalah:

$$\begin{aligned}&= 106,56 [\text{cm}^3] \\&= 106,56 \times 10^{-6} [\text{m}^3]\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dari bentuk bangun robot diatas maka volume total robot adalah:

$$\begin{aligned}V_{\text{total}} &= V_{bu} + V_d + V_p + V_k + V_{sdb} + V_{dsb} + V_{sdt} + V_{dst} + V_{pb1} \\&\quad + V_{pb2} + V_{cpp} + V_{pp} \\&= (4.921,148 \times 10^{-6}) + (430,144 \times 10^{-6}) + (37,8 \times 10^{-6}) + (\\&\quad 3.654,52 \times 10^{-6}) + (217,9 \times 10^{-6}) + (136,188 \times 10^{-6}) + (\\&\quad 181,584 \times 10^{-6}) + (217,901 \times 10^{-6}) + (42,059 \times 10^{-6}) + (\\&\quad 33,929 \times 10^{-6}) + (27,016 \times 10^{-6}) + (106,56 \times 10^{-6})\end{aligned}$$

$$V_{\text{total}} = 10.006,749 \times 10^{-6} [\text{m}^3]$$

Jadi, volume total robot bawah air adalah $10.006,749 \times 10^{-6}$

[m^3] d) Massa Jenis Robot Bawah Air (ρ_r [kg/m^3])

Komponen - komponen robot terdiri dari beberapa jenis material yang memiliki massa jenis yang berbeda-beda. Beberapa material tersebut diantaranya *Polymethyl Propenoate* atau akrilik, *Polyvinhyl Chloride* (PVC), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* atau ABS, *Polylactic Acid* atau PLA, dan Semen. Material akrilik pada komponen robot meliputi penyeimbang robot, *dome*, dan penutup belakang. Massa jenis akrilik adalah $1.180 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Material PVC digunakan pada *main body*, silinder dudukan motor, dudukan silinder, dan kaki robot. Massa jenis PVC adalah $1.440 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Material ABS digunakan pada propeller, dan cincin pelindung propeller. Massa jenis ABS adalah $1.060 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Material PLA digunakan pada pelindung propeller. Massa jenis PLA adalah $1.210 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Material semen digunakan di kaki robot sebagai pemberat. Massa jenis semen adalah $3.150 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ Robot yang terdiri dari beberapa material dapat dihitung menggunakan rumus massa yang dipengaruhi oleh massa dan volume benda. Adapun massa jenis keseluruhan robot dapat dihitung menggunakan perhitungan dari persamaan (2.2):

Diketahui: $\text{Massa robot (m}_r\text{)} = 8,2 \text{ [kg]}$
 $\text{Volume robot (V}_r\text{)} = 10.006,749 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$

Maka, massa jenis robot adalah:

$$\rho_r = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{8,2}{10.006,749 \times 10^{-6}}$$

$$= 819,446 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Jadi, massa jenis robot adalah $819,446 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Karena massa jenis robot lebih kecil dari massa jenis air ($1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$) maka kondisi robot adalah terapung. Untuk membuat massa jenis robot sama dengan massa jenis air maka diperlukan tambahan beban agar robot dapat melayang di dalam air. Untuk menghitung beban tambahan yang diperlukan oleh robot maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui: Massa robot (m_r) = $8,2 \text{ [kg]}$

Volume robot (V_r) = $10.006,749 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$

Massa jenis air tawar (ρ_{zc}) = $1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Maka, massa beban tambahan yang diperlukan oleh robot adalah:

$$\rho_{zc} = \frac{m_r + m_x}{V_r}$$
$$1000 = \frac{8,2 + m_x}{10.006,749 \times 10^{-6}}$$

$$10,007 = 8,2 + m_x$$

$$m_x = 10,007 - 8,2$$

$$m_x = 1,807 \text{ [kg]}$$

Jadi, massa beban tambahan yang diperlukan oleh robot agar robot dapat melayang di dalam air adalah $1,807 \text{ [kg]}$

Karena robot memerlukan massa beban tambahan sebanyak $1,807 \text{ [kg]}$, maka dari itu kita harus menghitung massa kaki pemberat per centimeter. Untuk bisa mendapatkan massa beban tambahan maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui: Massa kaki pemberat (m_k) = 1,4 [kg]

Panjang kaki pemberat (p_k) = 27 [cm]

Maka, massa kaki robot per centimeter adalah:

$$m_{kpcm} = m_k / p_k$$

$$= 1,4 / 27$$

$$m_{kpcm} = 0,05 \text{ [kg/cm]}$$

Jadi, massa kaki pemberat per centimeter adalah 0,05 [kg/cm].

Dari hasil perhitungan diatas, panjang tambahan kaki pemberat yang dibutuhkan adalah:

Diketahui: Massa kaki pemberat per centimeter (m_{kpcm}) = 0,05 [kg/cm]

Massa beban tambahan (m_x) = 1,807 [kg]

Maka, panjang tambahan kaki pemberat yang dibutuhkan adalah:

$$p_{tk} = m_{kpcm} / m_x$$

$$= 1,807 / 0,05$$

$$p_{tk} = 36,14 \text{ [cm]}$$

Karena robot memiliki ujung kaki pemberat sebanyak empat ujung, maka panjang tambahan kaki pemberat untuk masing-masing ujung sebesar:

$$p_{tk} = 36,14 / 4$$

$$p_{tk} = 9,035 \text{ [cm]}$$

Sehingga diperlukan pipa 2 inch sepanjang 9,035 [cm] untuk masing-masing ujung kaki pemberat untuk mendapatkan beban tambahan agar robot dapat melayang di dalam air. Gambar 4.21 menunjukkan tambahan kaki pemberat yang telah dibuat agar robot dapat melayang di dalam air.



Gambar 4. 21 Tambahan Kaki Pemberat

e) Pengujian Gaya Apung Robot (F_a [N])

Untuk mengetahui gaya apung robot ketika berada di dalam air, maka dilakukan perhitungan dan analisis menggunakan rumus dari persamaan (2.2):

Diketahui: Massa jenis air tawar (ρ_{ze}) = 1000 [kg/m³]
 Volume robot (V_r) = 10.006,749 x 10⁻⁶ [m³]
 Percepatan gravitasi bumi (g) = 9,8 [m/s²]

Maka, gaya apung robot adalah:

$$\begin{aligned}
 F_a &= \rho_{ze} \times V_r \times g \\
 &= 1000 \times (10.006,749 \times 10^{-6}) \times 9,8 \\
 &= 98,068 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

f) Pengujian Kecedapan Robot Bawah Air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui material bahan lapisan *body* robot yang kedap terhadap air. Hasil pengujian kekedapan bahan lapisan *body* robot bawah air ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kecedapan Bahan Lapisan Body Robot

Percobaan	Bahan Lapisan	Kondisi
1	Lem Pipa	Bocor
2	Lem Silicon	Bocor
3	Lem Alteco	Bocor
4	Lem Alteco + Lem Silicon	Bocor
5	Lem Epoxy Non-Sag	Kedap

Dari hasil pengujian material kekedapan tersebut dapat kita simpulkan bahwa diantara beberapa material yang digunakan sebagai bahan lapisan *body* robot, material Lem Epoxy Non-Sag merupakan material yang cocok digunakan untuk robot bawah air karena kedap terhadap air.

Selain pengujian kekedapan terkait material bahan lapisan *body* robot, metode pengujian kekedapan juga dilakukan dengan cara menenggelamkan robot pada kedalaman 50 [cm] dari permukaan air untuk mengetahui seberapa lama robo mampu menahan tekanan air dalam satuan waktu.

Dalam pengujian tersebut dilakukan perhitungan dan analisis terkait tekanan yang dialami oleh robot di dalam air, baik tekanan hidrostatik maupun gaya tekan yang diberikan oleh robot untuk mencapai kedalaman 50 [cm] dari permukaan air. Adapun perhitungan tekanan hidrostatik yang dialami oleh robot dihitung menggunakan rumus dari persamaan (2.3):

Diketahui: Tinggi robot dari permukaan air (h) = 50 [cm]

Maka, tekanan hidrostatik robot adalah :

$$P_h = \rho_r \times g \times h$$

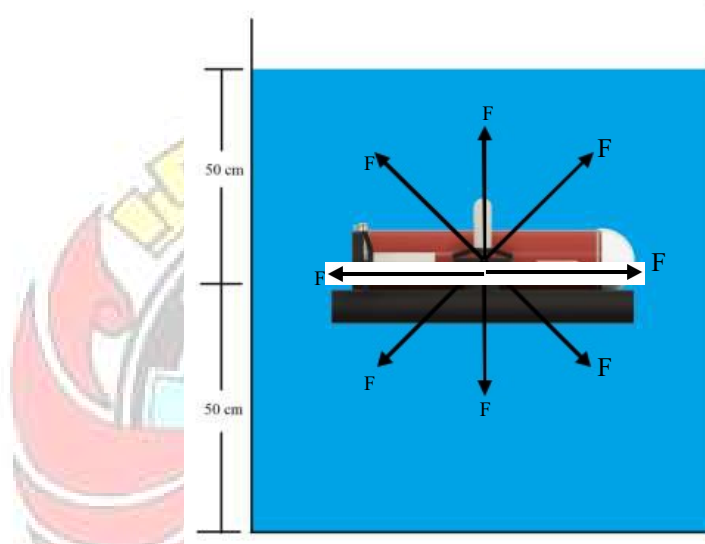
$$= 819,446 \times 9,8 \times 0,5$$

$$= 4.015,285 \text{ [Pa]}$$

Jadi, tekanan hidrostatik yang dialami oleh robot adalah 4.015,285 [Pa].

Analisis tekanan hidrostatik yang dialami oleh robot ditunjukkan pada

Gambar 4.22 berikut:



Gambar 4. 22 Analisis Tekanan Hidrostatik yang dialami oleh Robot

Gambar 4.21 menampilkan arah gaya pada permukaan robot yang menekan ke segala arah. Hal tersebut sesuai dengan prinsip tekanan hidrostatik dimana pada fluida, molekul terus bergerak secara acak dan bertumbukan satu dengan yang lain menyebabkan terjadinya perubahan momentum sehingga akan menghasilkan gaya ke segala arah yang pada akhirnya mengakibatkan tekanan ke segala arah pada suatu titik di dalam fluida. Jika pada benda padat yang memberikan gaya pada permukaan

adalah bagian bawah saja, maka pada fluida memberikan gaya ke segala arah.

Perhitungan gaya tekan yang diberikan kepada robot agar robot dapat tenggelam sejauh 50 cm dari permukaan air dihitung menggunakan rumus berikut:

Diketahui:	Gaya apung robot (F_a)	= 98,068 [N]
	Percepatan gravitasi robot (g)	= 9,8 [m/s^2]
	Massa robot	= 8,2 [kg]

Maka, gaya tekan yang dialami oleh robot adalah:

$$\Sigma F = 0$$

$$N = m \cdot g + F$$

$$F_a = m \cdot g + F$$

$$98,068 = 8,2 \times 9,8 + F$$

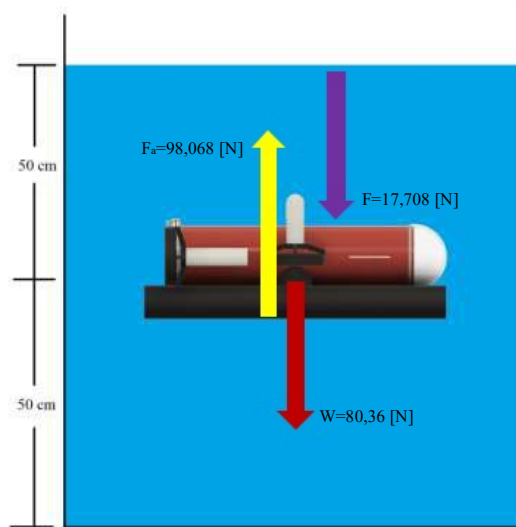
$$98,068 = 80,36 + F$$

$$F = 98,068 - 80,36$$

$$F = 17,708 \text{ [N]}$$

Jadi, gaya tekan yang dialami robot adalah 17,708 [N]

Analisis gaya-gaya yang dialami oleh robot pada saat robot berada di dalam air ditunjukkan pada Gambar 4.23 berikut:



Gambar 4. 23 Analisis gaya tekan yang dialami oleh robot

Robot yang terletak secara horizontal di dalam air kemudian ditekan dengan gaya F menggunakan tangan atau kaki sampai pada kedalaman 50 cm dari permukaan air, maka dalam arah vertikal pada robot tersebut bekerja tiga buah gaya yaitu gaya normal (N) atau gaya apung robot (F_a) yang arahnya ke atas, gaya berat (W) dan gaya tekan (F) yang arahnya ke bawah. Gaya F bekerja dalam arah vertikal, sehingga gaya ini mempengaruhi besarnya gaya normal atau gaya apung robot.

g) Titik Berat Robot

Pengujian titik berat dilakukan untuk mengetahui posisi titik berat robot agar mencegah robot tidak stabil saat berada di dalam air dan dikontrol. Pengujian ini meliputi pada sumbu X dan Y.

1. Titik Berat Robot Sumbu X

a. Badan Utama

Diketahui: Titik berat badan utama (x_{bu}) = 20,4 [cm]

$$\text{Massa jenis badan utama } (\rho_{bu}) = 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volume badan utama } (V_{bu})$$

$$= 327,983 \text{ [cm}^3\text{]}$$

b. *Dome*

$$\text{Diketahui: Titik berat } dome (x_d) = 20,4 \text{ [cm]}$$

$$\text{Massa jenis } Dome (\rho_d) = 1,18 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volume } Dome (V_d) = 42,277 \text{ [cm}^3\text{]}$$

c. Penyeimbang Robot

$$\text{Diketahui: Titik berat penyeimbang kanan } (x_{p1}) = 31,4 \text{ [cm]}$$

$$\text{Titik berat penyeimbang kiri } (x_{p2}) = 9,38 \text{ [cm]}$$

$$\text{Massa jenis penyeimbang robot } (\rho_p) = 1,18 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volume satu penyeimbang robot } (V_p) = 18,9 \text{ [cm}^3\text{]}$$

d. Kaki Robot

$$\text{Diketahui: Titik berat kaki kanan } (x_{k1}) = 27,6 \text{ [cm]}$$

$$\text{Titik berat kaki kiri } (x_{k2}) = 13,2 \text{ [cm]}$$

$$\text{Massa jenis kaki robot } (\rho_k) = 3,15 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volume satu kaki robot } (V_k)$$

$$= 1.827,251 \text{ [cm}^3\text{]}$$

e. Silinder Dudukan Motor Belakang

$$\text{Diketahui: Titik berat dudukan motor kanan } (x_{sdb1})$$

$$= 35,1 \text{ [cm]}$$

$$\text{Titik berat dudukan motor kiri } (x_{sdb2})$$

$$= 5,7 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan motor belakang (ρ_{sdb})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu dudukan motor belakang (V_{sdb})

$$= 108,95 \text{ [cm}^3\text{]}$$

f. Dudukan Silinder Motor Belakang

Diketahui: Titik berat dudukan silinder kanan (x_{dsb1})

$$= 29,84 \text{ [cm]}$$

Titik berat dudukan silinder kiri (x_{dsb2})

$$= 10,95 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan silinder belakang (ρ_{dsb})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu dudukan silinder belakang (V_{dsb})

$$= 68,094 \text{ [cm}^3\text{]}$$

g. Silinder Dudukan Motor Tengah

Diketahui: Titik berat dudukan motor kanan (x_{sdt1})

$$= 33,9 \text{ [cm]}$$

Titik berat dudukan motor kiri (x_{sdt2})

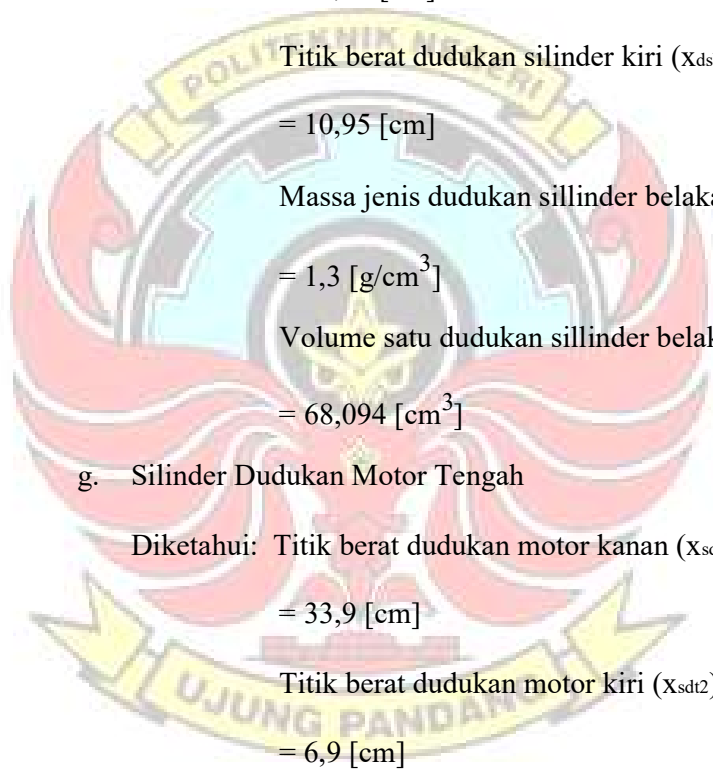
$$= 6,9 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan motor tengah (ρ_{sdt})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu dudukan motor tengah (V_{sdt})

$$= 90,792 \text{ [cm}^3\text{]}$$



h. Dudukan Silinder Motor Tengah

Diketahui: Titik berat dudukan silinder tengah (x_{dst})

$$= 20,4 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan silinder tengah (ρ_{dst})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume dudukan silinder tengah (V_{dst})

$$= 217,901 \text{ [cm}^3\text{]}$$

i. Alcapan Penutup Belakang Robot

Diketahui: Titik berat alcapan penutup belakang (x_{pb1})

$$= 20,4 \text{ [cm]}$$

Massa jenis alcapan penutup belakang (ρ_{pb1})

$$= 1,05 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume alcapan penutup belakang (V_{pb1})

$$= 42,059 \text{ [cm}^3\text{]}$$

j. Akrilik Penutup Belakang Robot

Diketahui: Titik berat akrilik penutup belakang (x_{pb2})

$$= 20,4 \text{ [cm]}$$

Massa jenis akrilik penutup belakang (ρ_{pb2})

$$= 1,18 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume akrilik penutup belakang (V_{pb2})

$$= 33,929 \text{ [cm}^3\text{]}$$

k. Cincin Pelindung Propeller Robot

Diketahui: Titik berat cincin pelindung propeller tengah kanan

$$(x_{cppt1}) = 33,9 \text{ [cm]}$$

Titik berat cincin pelindung propeller tengah kiri

$$(x_{cppt2}) = 6,9 \text{ [cm]}$$

Titik berat cincin pelindung propeller belakang

$$\text{kanan } (x_{cppb1}) = 35,1 \text{ [cm]}$$

Titik berat cincin pelindung propeller belakang kiri

$$(x_{cppb2}) = 5,7 \text{ [cm]}$$

Massa jenis cincin pelindung propeller (ρ_{cpp})

$$= 1,06 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu cincin pelindung propeller (V_{cpp})

$$= 6,754 \text{ [cm}^3\text{]}$$

l. Pelindung Propeller

Diketahui: Titik berat pelindung propeller tengah kanan (x_{ppt1})

$$= 33,9 \text{ [cm]}$$

Titik berat pelindung propeller tengah kiri (x_{ppt2})

$$= 6,9 \text{ [cm]}$$

Titik berat pelindung propeller belakang kanan

$$(x_{ppb1}) = 35,1 \text{ [cm]}$$

Titik berat pelindung propeller belakang kiri (x_{ppb2})

$$= 5,7 \text{ [cm]}$$

Massa jenis pelindung propeller (ρ_{pp})

$$= 1,06 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu pelindung propeller (V_{pp})

$$= 26,64 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Berdasarkan pengambilan data dari bentuk bangun robot diatas maka titik berat robot pada sumbu X dengan menggunakan persamaan (2.9) adalah:

$$\begin{aligned}
 X_p &= (X_{bu}(\rho_{bu}V_{bu}) + X_d(\rho_dV_d) + X_{p1}(\rho_pV_{p1}) + X_{p2}(\rho_pV_{p2}) \\
 &+ X_{k1}(\rho_kV_{k1}) + X_{k2}(\rho_kV_{k2}) + X_{sdb1}(\rho_{sdb}V_{sdb1}) + X_{sdb2}(\rho_{sdb}V_{sdb2}) \\
 &+ X_{dsb1}(\rho_{dsb}V_{dsb1}) + X_{dsb2}(\rho_{dsb}V_{dsb2}) + X_{sdt1}(\rho_{sdt}V_{sdt1}) \\
 &+ X_{sdt2}(\rho_{sdt}V_{sdt2}) + X_{dst}(\rho_{dst}V_{dst}) + X_{pb1}(\rho_{pb1}V_{pb1}) + X_{pb2}(\rho_{pb2}V_{pb2}) \\
 &+ X_{cppt1}(\rho_{cpp}V_{cppt1}) + X_{cppt2}(\rho_{cpp}V_{cppt2}) + X_{cppb1}(\rho_{cpp}V_{cppb1}) \\
 &+ X_{cppb2}(\rho_{cpp}V_{cppb2}) + X_{ppt1}(\rho_{pp}V_{ppt1}) + X_{ppt2}(\rho_{pp}V_{ppt2}) \\
 &+ X_{ppb1}(\rho_{pp}V_{ppb1}) + X_{ppb2}(\rho_{pp}V_{ppb2})) / ((\rho_{bu}V_{bu}) + (\rho_dV_d) \\
 &+ (\rho_pV_p) + (\rho_kV_k) + (\rho_{sdb}V_{sdb}) + (\rho_{dsb}V_{dsb}) + (\rho_{sdt}V_{sdt}) \\
 &+ (\rho_{dst}V_{dst}) + (\rho_{pb1}V_{pb1}) + (\rho_{pb2}V_{pb2}) + (\rho_{cpp}V_{cpp}) + (\rho_{pp}V_{pp})) \\
 X_p &= ((20,4 \times (1,3 \times 327,983)) + (20,4 \times (1,18 \times 42,277)) \\
 &+ (31,4 \times (1,18 \times 18,9)) + (9,38 \times (1,18 \times 18,9)) \\
 &+ (27,6 \times (3,15 \times 1.827,251)) + (13,2 \times (3,15 \times 1.827,251)) \\
 &+ (35,1 \times (1,3 \times 108,95)) + (5,7 \times (1,3 \times 108,95)) \\
 &+ (29,84 \times (1,3 \times 68,094)) + (10,95 \times (1,3 \times 68,094)) \\
 &+ (33,9 \times (1,3 \times 90,792)) + (6,9 \times (1,3 \times 90,792)) \\
 &+ (20,4 \times (1,3 \times 217,901)) + (20,4 \times (1,05 \times 42,059)) \\
 &+ (20,4 \times (1,18 \times 33,929)) + (33,9 \times (1,06 \times 6,754))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (6,9 \times (1,06 \times 6,754)) + (35,1 \times (1,06 \times 6,754)) \\
& + (5,7 \times (1,06 \times 6,754)) + (33,9 \times (1,06 \times 26,64)) \\
& + (6,9 \times (1,06 \times 26,64)) + (35,1 \times (1,06 \times 26,64)) \\
& + (5,7 \times (1,06 \times 26,64)) / ((1,3 \times 327,983) \\
& + (1,18 \times 42,277) + (1,18 \times 37,8) + (3,15 \times 3.654,502) \\
& + (1,3 \times 217,9) + (1,3 \times 136,188) + (1,3 \times 181,584) \\
& + (1,3 \times 217,901) + (1,05 \times 42,059) + (1,18 \times 33,929) \\
& + (1,06 \times 27,016) + (1,06 \times 106,56)) \\
x_p & = (8.698,109 + 969,548 + 700,283 + 209,193 \\
& + 158.861,202 + 75.977,096 + 4.971,388 + 807,319 \\
& + 2.639,174 + 968,464 + 4.001,203 + 813,866 \\
& + 5.778,734 + 900,903 + 816,739 + 242,698 + 49,399 \\
& + 251,289 + 40,807 + 957,282 + 194,844 + 991,168 \\
& + 160,959) / 13.237,983 \\
x_p & = 270.001,667 / 13.237,293 \\
x_p & = 20,397 \text{ [cm]}
\end{aligned}$$

Jadi, titik berat robot bawah air pada sumbu X yaitu 20,397 [cm]

2. Titik Berat Robot padaa Sumbu Y

a. Badan Utama

Diketahui: Titik berat badan utama (y_{bu}) = 28,5 [cm]

Massa jenis badan utama (ρ_{bu}) = 1,3 [g/cm³]

Volume badan utama (V_{bu})

= 327,983 [cm³]

b. *Dome*

Diketahui: Titik berat *dome* (y_d) = 53,5 [cm]

Massa jenis *Dome* (ρ_d) = 1,18 [g/cm³]

Volume *Dome* (V_d) = 42,277 [cm³]

c. Penyeimbang Robot

Diketahui: Titik berat penyeimbang kanan (y_{p1}) = 42,35 [cm]

Titik berat penyeimbang kiri (y_{p2}) = 42,35 [cm]

Massa jenis penyeimbang robot (ρ_p) = 1,18 [g/cm³]

Volume satu penyeimbang robot (V_p) = 18,9 [cm³]

d. Kaki Robot

Diketahui: Titik berat kaki kanan (y_{k1}) = 28,6 [cm]

Titik berat kaki kiri (y_{k2}) = 28,6 [cm]

Massa jenis kaki robot (ρ_k) = 3,15 [g/cm³]

Volume satu kaki robot (V_k)

= 1.827,251 [cm³]

e. Silinder Dudukan Motor Belakang

Diketahui: Titik berat dudukan motor kanan (y_{sdb1})

= 13,25 [cm]

Titik berat dudukan motor kanan (y_{sdb2})

= 13,25 [cm]

Massa jenis dudukan motor belakang (ρ_{sdb})

= 1,3 [g/cm³]

Volume satu dudukan motor belakang (V_{sdb})

$$= 108,95 \text{ [cm}^3\text{]}$$

f. Dudukan Silinder Motor Belakang

Diketahui: Titik berat dudukan silinder kanan (y_{dsb1})

$$= 15,09 \text{ [cm]}$$

Titik berat dudukan silinder kiri (y_{dsb2})

$$= 15,09 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan silinder belakang (ρ_{dsb})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu dudukan silinder belakang (V_{dsb})

$$= 68,094 \text{ [cm}^3\text{]}$$

g. Silinder Dudukan Motor Tengah

Diketahui: Titik berat dudukan motor kanan (y_{sdt1})

$$= 28,6 \text{ [cm]}$$

Titik berat dudukan motor kiri (y_{sdt2})

$$= 28,6 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan motor tengah (ρ_{sdt})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu dudukan motor tengah (V_{sdt})

$$= 90,792 \text{ [cm}^3\text{]}$$

h. Dudukan Silinder Motor Tengah

Diketahui: Titik berat dudukan silinder tengah (y_{dst})

$$= 28,6 \text{ [cm]}$$

Massa jenis dudukan silinder tengah (ρ_{dst})

$$= 1,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume dudukan silinder tengah (V_{dst})

$$= 217,901 \text{ [cm}^3\text{]}$$

i. Alcopan Penutup Belakang Robot

Diketahui: Titik berat alcopan penutup belakang (y_{pb1})

$$= 5,5 \text{ [cm]}$$

Massa jenis alcopan penutup belakang (ρ_{pb1})

$$= 1,05 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume alcopan penutup belakang (V_{pb1})

$$= 42,059 \text{ [cm}^3\text{]}$$

j. Akrilik Penutup Belakang Robot

Diketahui: Titik berat akrilik penutup belakang (y_{pb2})

$$= 5,25 \text{ [cm]}$$

Massa jenis akrilik penutup belakang (ρ_{pb2})

$$= 1,18 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume akrilik penutup belakang (V_{pb2})

$$= 33,929 \text{ [cm}^3\text{]}$$

k. Cincin Pelindung Propeller Robot

Diketahui: Titik berat cincin pelindung propeller tengah kanan

$$(y_{cppt1}) = 28,6 \text{ [cm]}$$

Titik berat cincin pelindung propeller tengah kiri

$$(y_{cppt2}) = 28,6 \text{ [cm]}$$

Titik berat cincin pelindung propeller belakang

$$\text{kanan } (y_{cppb1}) = 7,4 \text{ [cm]}$$

Titik berat cincin pelindung propeller belakang kiri

$$(y_{cppb2}) = 7,4 \text{ [cm]}$$

Massa jenis cincin pelindung propeller (ρ_{cpp})

$$= 1,06 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu cincin pelindung propeller (V_{cpp})

$$= 6,754 \text{ [cm}^3\text{]}$$

1. Pelindung Propeller

Diketahui: Titik berat pelindung propeller tengah kanan (y_{ppt1})

$$= 28,6 \text{ [cm]}$$

Titik berat pelindung propeller tengah kiri (y_{ppt2})

$$= 28,6 \text{ [cm]}$$

Titik berat pelindung propeller belakang kanan

$$(y_{ppb1}) = 4,9 \text{ [cm]}$$

Titik berat pelindung propeller belakang kiri (y_{ppb2})

$$= 4,9 \text{ [cm]}$$

Massa jenis pelindung propeller (ρ_{pp})

$$= 1,06 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Volume satu pelindung propeller (V_{pp})

$$= 26,64 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Berdasarkan pengambilan data dari bentuk bangun robot diatas maka titik berat robot pada sumbu Y dengan menggunakan persamaan (2.10) adalah:

$$\begin{aligned}
 X_p &= (y_{bu}(\rho_{bu}V_{bu}) + y_d(\rho_dV_d) + y_{p1}(\rho_pV_{p1}) + y_{p2}(\rho_pV_{p2}) \\
 &+ y_{k1}(\rho_kV_{k1}) + y_{k2}(\rho_kV_{k2}) + y_{sdb1}(\rho_{sdb}V_{sdb1}) + y_{sdb2}(\rho_{sdb}V_{sdb2}) \\
 &+ y_{dsb1}(\rho_{dsb}V_{dsb1}) + y_{dsb2}(\rho_{dsb}V_{dsb2}) + y_{sdt1}(\rho_{sdt}V_{sdt1}) \\
 &+ y_{sdt2}(\rho_{sdt}V_{sdt2}) + y_{dst}(\rho_{dst}V_{dst}) + y_{pb1}(\rho_{pb1}V_{pb1}) + y_{pb2}(\rho_{pb2}V_{pb2}) \\
 &+ y_{cppt1}(\rho_{cpp}V_{cppt1}) + y_{cppt2}(\rho_{cpp}V_{cppt2}) + y_{cppb1}(\rho_{cpp}V_{cppb1}) \\
 &+ y_{cppb2}(\rho_{cpp}V_{cppb2}) + y_{ppt1}(\rho_{pp}V_{ppt1}) + y_{ppt2}(\rho_{pp}V_{ppt2}) \\
 &+ y_{ppb1}(\rho_{pp}V_{ppb1}) + y_{ppb2}(\rho_{pp}V_{ppb2})) / ((\rho_{bu}V_{bu}) + (\rho_dV_d) \\
 &+ (\rho_pV_p) + (\rho_kV_k) + (\rho_{sdb}V_{sdb}) + (\rho_{dsb}V_{dsb}) + (\rho_{sdt}V_{sdt}) \\
 &+ (\rho_{dst}V_{dst}) + (\rho_{pb1}V_{pb1}) + (\rho_{pb2}V_{pb2}) + (\rho_{cpp}V_{cpp}) + (\rho_{pp}V_{pp})) \\
 y_p &= ((28,5 \times (1,3 \times 327,983)) + (53,5 \times (1,18 \times 42,277)) \\
 &+ (42,35 \times (1,18 \times 18,9)) + (42,35 \times (1,18 \times 18,9)) \\
 &+ (28,6 \times (3,15 \times 1.827,251)) + (28,6 \times (3,15 \times 1.827,251)) \\
 &+ (13,25 \times (1,3 \times 108,95)) + (13,25 \times (1,3 \times 108,95)) \\
 &+ (15,09 \times (1,3 \times 68,094)) + (15,09 \times (1,3 \times 68,094)) \\
 &+ (28,6 \times (1,3 \times 90,792)) + (28,6 \times (1,3 \times 90,792)) \\
 &+ (28,6 \times (1,3 \times 217,901)) + (5,5 \times (1,05 \times 42,059)) \\
 &+ (5,25 \times (1,18 \times 33,929)) + (28,6 \times (1,06 \times 6,754)) \\
 &+ (28,6 \times (1,06 \times 6,754)) + (7,4 \times (1,06 \times 6,754)) \\
 &+ (7,4 \times (1,06 \times 6,754)) + (28,6 \times (1,06 \times 26,64)) \\
 &+ (28,6 \times (1,06 \times 26,64)) + (4,9 \times (1,06 \times 26,64))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (4,9 \times (1,06 \times 26,64))) / ((1,3 \times 327,983) \\
& + (1,18 \times 42,277) + (1,18 \times 37,8) + (3,15 \times 3.654,502) \\
& + (1,3 \times 217,9) + (1,3 \times 136,188) + (1,3 \times 181,584) \\
& + (1,3 \times 217,901) + (1,05 \times 42,059) + (1,18 \times 33,929) \\
& + (1,06 \times 27,016) + (1,06 \times 106,56)) \\
y_p & = (12.151,77 + 2.668,947 + 944,490 + 944,490 \\
& + 164.617,043 + 164.617,043 + 1.876,664 + 1.876,664 \\
& + 1.335,8 + 1.335,8 + 3.375,647 + 3.375,647 \\
& + 8.101,559 + 242,891 + 210,190 + 204,754 + 204,754 \\
& + 52,978 + 52,978 + 807,618 + 807,618 + 138,368 \\
& + 138,368) / 13.237,983 \\
y_p & = 370.082,08 / 13.237,983 \\
y_p & = 27,956 \text{ [cm]}
\end{aligned}$$

Jadi, titik berat robot bawah air pada sumbu Y yaitu 27,956 [cm]

Dari seluruh perhitungan pada sumbu X dan sumbu Y, maka titik berat robot berada pada koordinat $X = 20,397$ dan $Y = 27,956$ atau $Q (20,397, 27,956)$.

Parameter keberhasilan kedekatan robot terhadap air dapat diketahui secara visual maupun secara fisik. Parameter kedekatan robot secara visual dilakukan dengan cara pengamatan terhadap robot ketika berada di dalam air. Hal yang diamati pada proses tersebut adalah gelembung udara yang naik ke permukaan. Jika robot mengalami kebocoran, maka udara yang ada di dalam rongga robot akan berusaha naik ke permukaan dan menimbulkan gelembung

udara. Parameter secara fisik dilakukan setelah robot dikeluarkan dari dalam air. Pada proses ini, bagian penutup robot dibuka dan dilakukan pengecekan dengan menyentuh bagian dalam robot secara keseluruhan dan merata. Jika robot mengalami kebocoran maka air akan masuk dan membasahi dinding-dinding bagian dalam robot. Untuk mengetahui ketahanan kedap robot maka dilakukan pengujian dengan menenggelamkan robot pada kedalaman 50 cm selama 300 detik. Hasil pengujian kedap robot air ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kedap Robot Bawah Air

Percobaan	Waktu [s]	Kondisi
1	30	Diam, Kedap
2	60	Diam, Kedap
3	90	Diam, Kedap
4	120	Diam, Kedap
5	150	Diam, Kedap
6	180	Diam, Kedap
7	210	Diam, Kedap
8	240	Diam, Kedap

Lanjutan Tabel 4.4

9	270	Diam, Kedap
10	300	Diam, Kedap

Adapun proses pengujian kedap robot dapat dilihat pada Gambar dan 4.24.



(a)



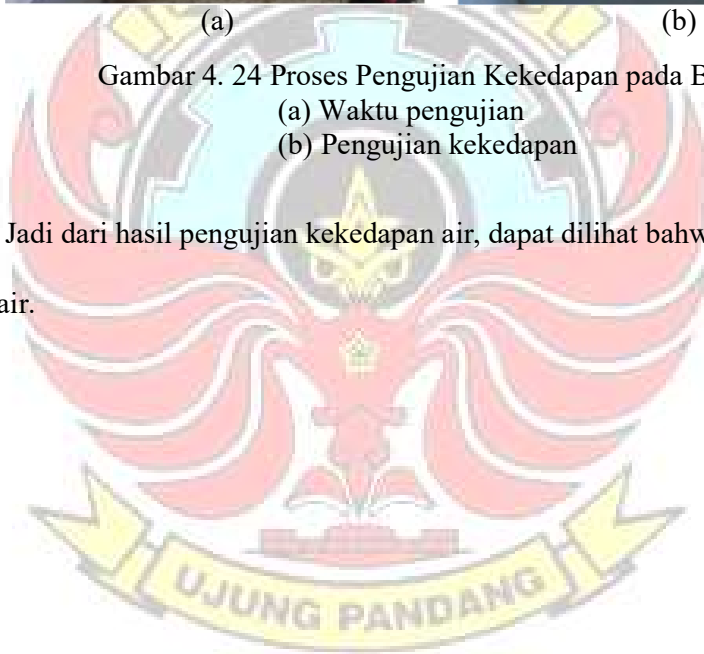
(b)

Gambar 4. 24 Proses Pengujian Kekedapan pada Bak Air

(a) Waktu pengujian

(b) Pengujian kekedapan

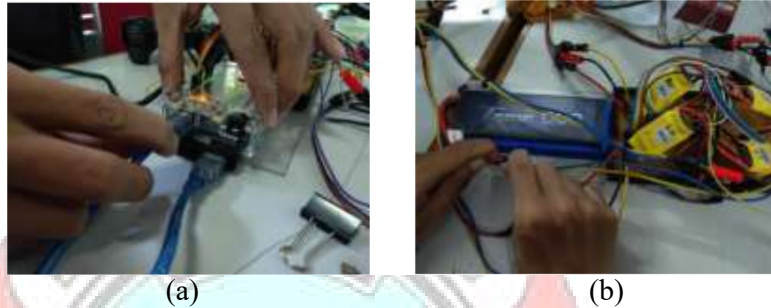
Jadi dari hasil pengujian kekedapan air, dapat dilihat bahwa robot air telah kedap air.



4.2 Pembahasan

4.2.1 Proses Pengujian Alat

1. Menyambungkan Arduino ke *Power Bank* dan ESC ke Baterai LiPo



Gambar 4. 25 Penyambungan Komponen Elektronik dengan Sumber Daya
(a) Arduino ke *Power Bank*
(b) ESC ke Baterai

2. Menutup penutup belakang dengan erat agar tidak terjadi kebocoran



Gambar 4. 26 Menutup Penutup Belakang

3. Mengetes respon motor *brushless* yang dikontrol oleh *joystick*.

4. Mengetes seluruh tombol pada *joystick* dan mengobservasi eksekusi Arduino terhadap motor *brushless*.



Gambar 4. 27 Kontrol *Joystick* terhadap motor *brushless*
(a) Kontroler *joystick*
(b) Respon motor *brushless*

4.2.2 Analisis Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap konektivitas *joystick* dengan robot diperoleh bahwa jarak jangkauan maksimal respon *joystick* adalah 5 meter sesuai dengan panjang kabel yg digunakan.

Pengujian kekedapan robot meliputi dua jenis pengujian, diantaranya pengujian material bahan lapisan robot dan pengujian ketahanan robot menahan tekanan di dalam air dalam satuan waktu. Pada pengujian material bahan lapisan robot diperoleh hasil data bahwa bahan Epoxy Non-Sag merupakan bahan yang cocok digunakan sebagai bahan lapisan untuk *body* robot karena bahan tersebut kedap terhadap air. Hasil data pengujian ketahanan robot juga menunjukkan bahwa robot mampu menahan tekanan air sebesar 4.000 [Pa] sedalam 50 [cm] dari permukaan air selama 300 detik waktu percobaan.

Data hasil analisis dan perhitungan diperoleh massa jenis robot sebesar 784,95 [kg/m³] yang artinya lebih kecil dari massa jenis air tawar (1000 [kg/m³]) sehingga membuat robot terapung diatas permukaan air. Diperlukan beban tambahan sebesar 2,25 [kg] agar robot dapat melayang di dalam air. Beban tambahan yang sebesar 2,25 [kg] telah dibuat menggunakan pipa 2 [inch] dengan panjang 11,25 [cm] sebanyak empat buah untuk menutupi beban robot yang kurang untuk membuat robot melayang di dalam air.

Dengan seluruh rumus, persamaan, dan perhitungan diatas robot menerima beberapa gaya baik gaya berat, gaya apung, gaya dari tekanan hidrostatik, gaya dorong, dan gaya gesek air. Sehingga persamaan diagram benda bebas dari robot dapat dilihat pada persamaan (4.1) berikut:

$$\begin{aligned}
 \Sigma F &= 0 \\
 W + F_h &= F_a + F_h \\
 m_b \cdot g + \rho_{zc} \cdot g \cdot A_b \cdot h &= \rho_{zc} \cdot V_{zc} \cdot g + \rho_{zc} \cdot g \cdot A_{zc} \cdot h \\
 \rho_b \cdot V_b \cdot g + \rho_{zc} \cdot g \cdot A_b \cdot h &= \rho_{zc} \cdot V_{zc} \cdot g + \rho_{zc} \cdot g \cdot A_{zc} \cdot h \dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

- dimana:
- F_a = Gaya apung (N)
 - W = Berat benda (N)
 - F_h = Gaya hidrostatik (N)
 - m_b = Massa benda (kg)
 - g = Gaya gravitasi (m/s²)
 - ρ_b = Massa jenis benda (kg/m³)

ρ_{zc} = Massa jenis zat cair (kg/m^3)

V_b = Volume benda (m^3)

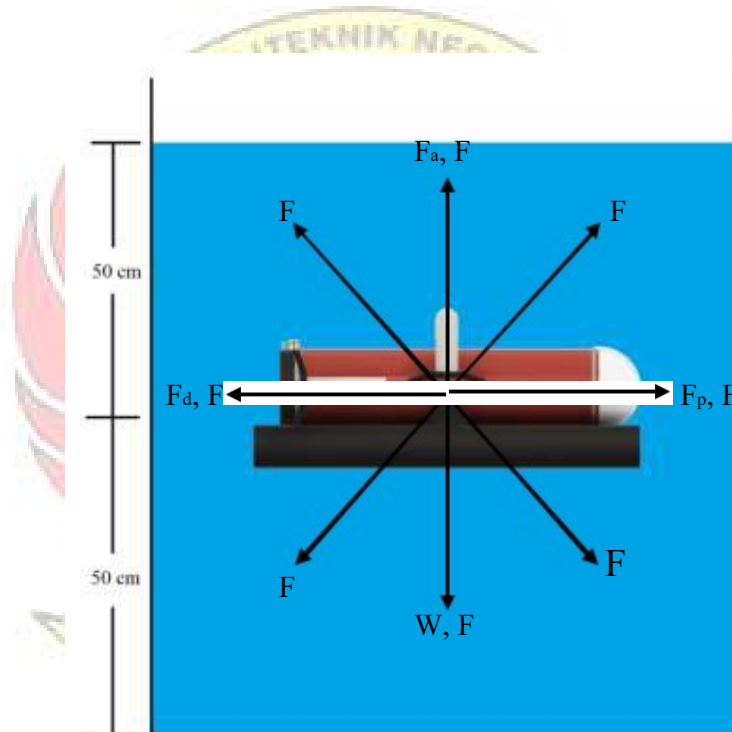
V_{zc} = Volume zat cair yang dipindahkan (m^3)

A_b = Luas permukaan benda (m^2)

A_{zc} = Luas permukaan zat cair yang dipindahkan (m^2)

h = Jarak benda dari permukaan (m)

Gambar 4.28 menunjukkan seluruh gaya yang terjadi pada robot bawah air.



Gambar 4. 28 *Free Body Diagram*

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

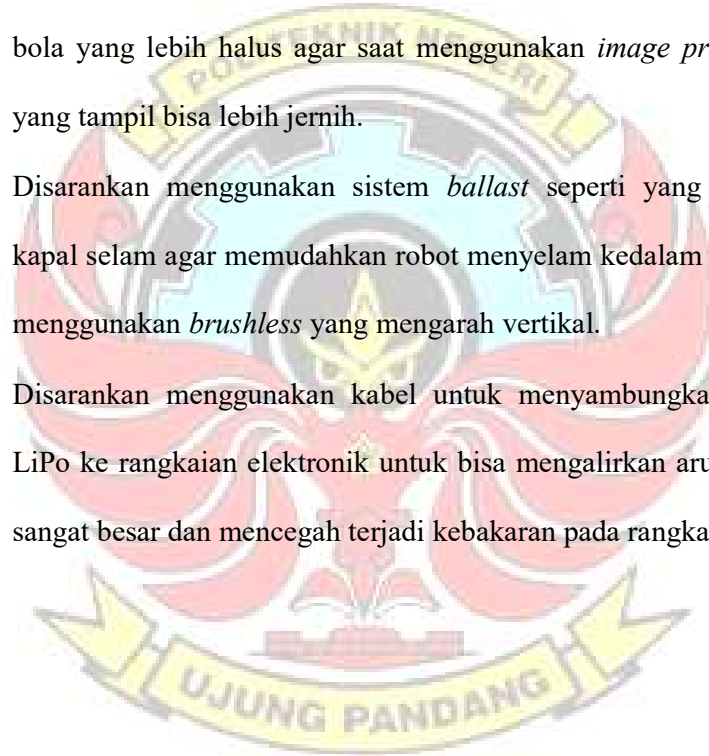
Berdasarkan perancangan dan pengujian sistem dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560 telah dibuat dengan menggunakan pipa PVC sebagai *body* utama robot dan direkatkan menggunakan Lem Epoxy Non-Sag atau biasa disebut Lem Kapal sebagai bahan pelapis dan perekat. Hasil Pengujian kedalaman robot bawah air menunjukkan bahwa robot bawah air tersebut telah kedap. Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560 dapat bergerak menyelam hingga kedalaman 0,6 [m] dan masih bisa lebih dalam, mengapung dengan mematikan motor *brushless* yg menghadap vertikal untuk kembali ke permukaan, dan dapat bergerak dalam air dengan mengontrol seluruh motor *brushless*.
2. Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560 dapat dikontrol menggunakan *Joystick* melalui media kabel. Jarak maksimal komunikasi data antara *joystick* dengan robot bawah air yang telah dicapai adalah 5 meter sesuai dengan panjang kabel yang dibuat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai saran untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut yaitu:

1. Disarankan menambahkan dan menggunakan *Bluetooth HC-05* agar lebih memudahkan saat mengontrol robot dan tidak kesusahan karena memegang kabel karena dikontrol menggunakan *joystick*.
2. Menambahkan lampu dan kamera agar pengguna robot dapat menggunakan *image processing* dan melihat kondisi dan situasi yang terjadi dalam air dan penerangan jika air tersebut keruh atau gelap.
3. Lebih baik mengganti *Dome* dari robot dengan material akrilik setengah bola yang lebih halus agar saat menggunakan *image processing* gambar yang tampil bisa lebih jernih.
4. Disarankan menggunakan sistem *ballast* seperti yang diterapkan oleh kapal selam agar memudahkan robot menyelam kedalam air dibandingkan menggunakan *brushless* yang mengarah vertikal.
5. Disarankan menggunakan kabel untuk menyambungkan antara baterai LiPo ke rangkaian elektronik untuk bisa mengalirkan arus dan daya yang sangat besar dan mencegah terjadi kebakaran pada rangkaian elektronik.



DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah dan Mirna Santi. 2019. *Rancang Bangun Robot Bawah Air*. Makasar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Andik Yulianto dan Hadi Puspa Handoyo. 2015. *Pengembangan Robot Jelajah Bawah Air Untuk Observasi Terumbu Karang*. Batam: Universitas Internasional Batam.
- Antonelli, Gianluca. 2006. *Underwater Robots: Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems Second Edition*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Firmansyah, Alfian Dicky, . dkk. 2012. *Perancangan Controllable Pitch Propeller pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- I Dewa Made Bayu Atmaja Darmawan. 2015. *Modul Praktikum Jaringan Komputer*. Bali: Universita Udayana.
- Junan, Poekoel, dan Putro, Muhammad Dwisanto. 2018. *Rancang Bangun Robot Bawah Air*. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Koli, Marindani, dan Hartoyo. 2015. *Rancang Bangun Robot Bawah Air Mini ROV (Remotely Operated Vehicles) Berbasis Mikrokontroler ATMega16*. Pontianak: Universita Tanjungpura.
- Mooney, Jr., J.B. “Brad”, et al. 1996. *Undersea Vehicles and National Needs*. Washington, DC: National Academy Press.
- Mulyana, Adiningsih dan Fauzi. 2016. *Rancang Bangun Robot Bawah Air Menggunakan Sistem Ballast Berbasis Rov (Remotely Operated Vehicle) Dengan Frekuensi 433 Mhz*. Bandung: Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.
- Pratama, Putra HP, dkk. 2016. *Perancangan Motor listrik BLDC 10 KW untuk Sepeda Motor Listrik*. Mataram: FT Universitas Mataram.
- Soemartojo, dan Wardana. 2008. *Studi Penencanaan Sistem Ballast pada Kapal Selam Baby Submarine TNI AL*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sears, F. W. 1984. Mekanika Panas dan Bunyi. Penerbit Bina Cipta. Jakarta; dalam Anwar B.2008 [Jurnal]. Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes. SDM Teknologi Nuklir , Yogyakarta, 25-26 ; ISSN 1978-0176

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengerjaan Sistem Mekanik Robot



Lampiran 2 Dokumentasi Pengerjaan Sistem Elektronik Robot

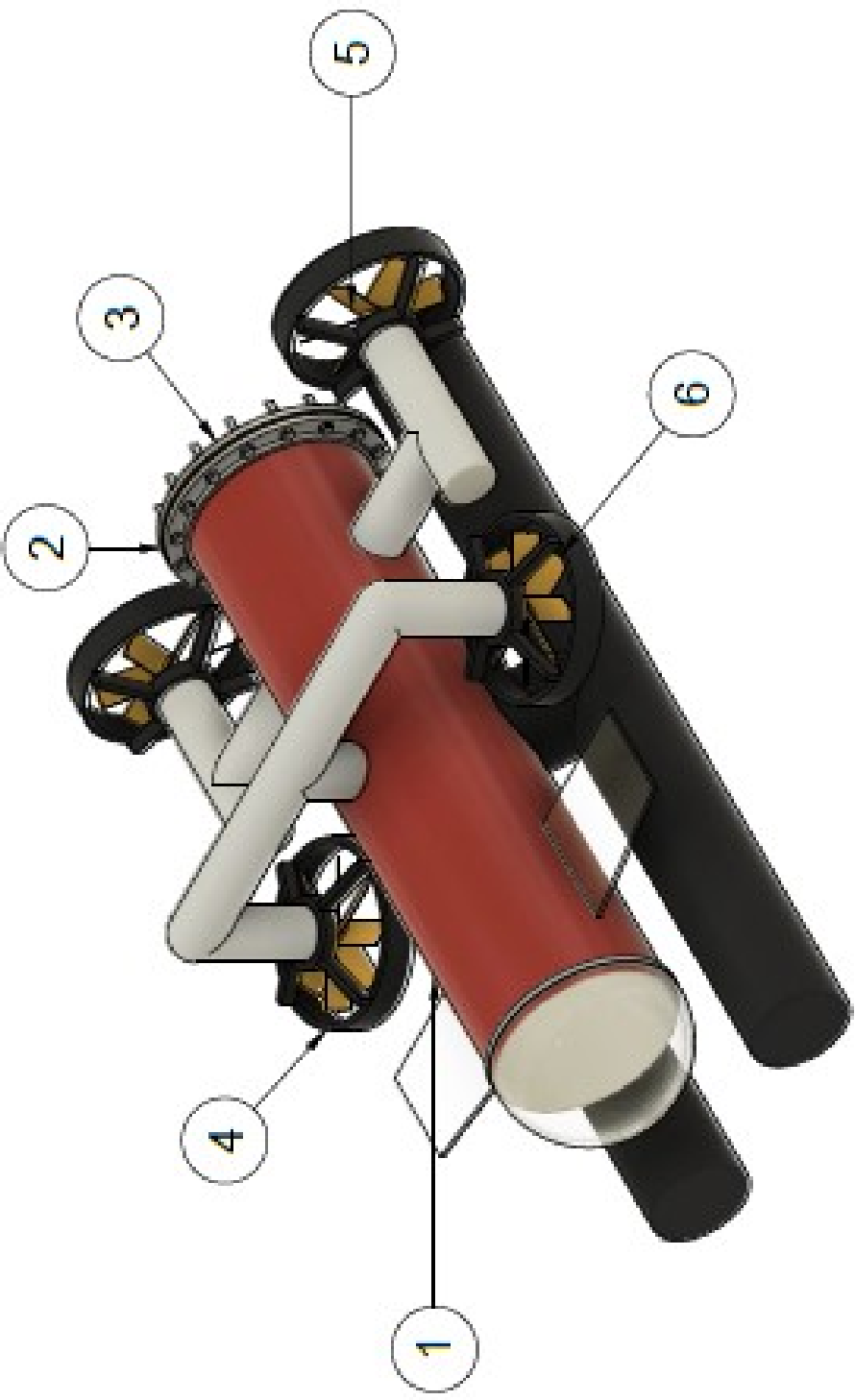





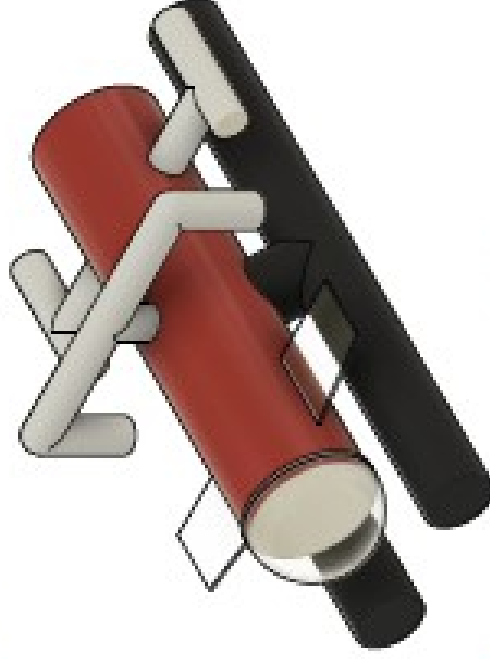
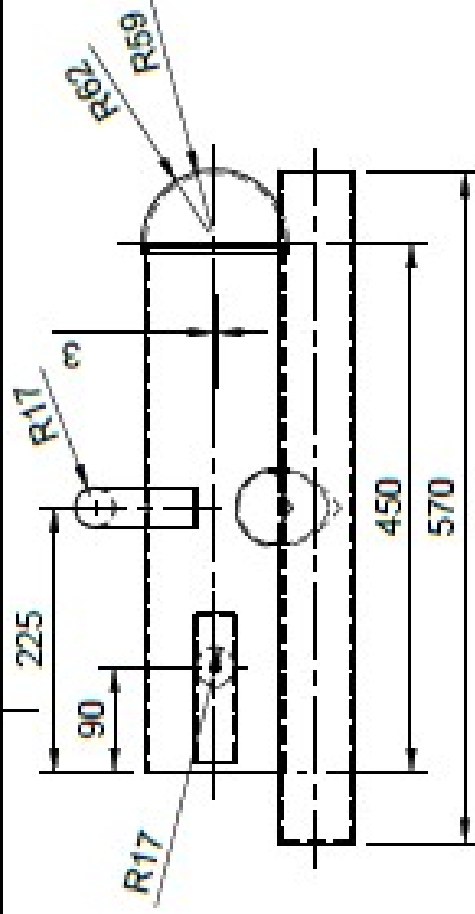
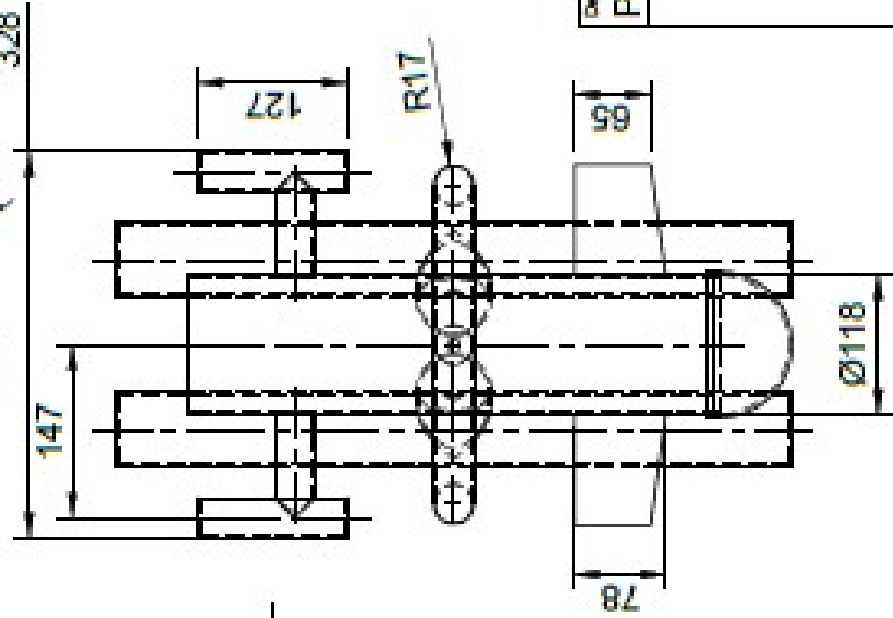
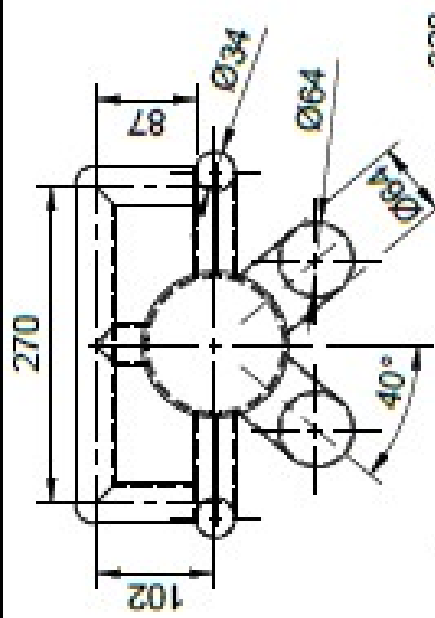
Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian Robot Bawah Air



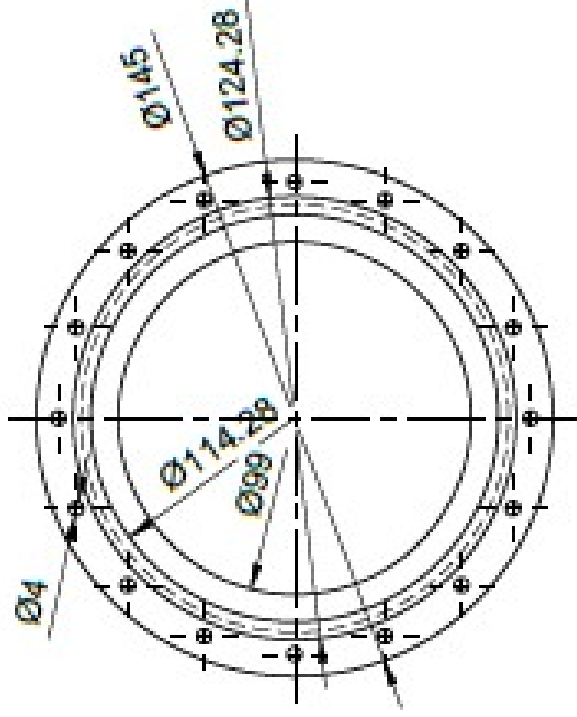
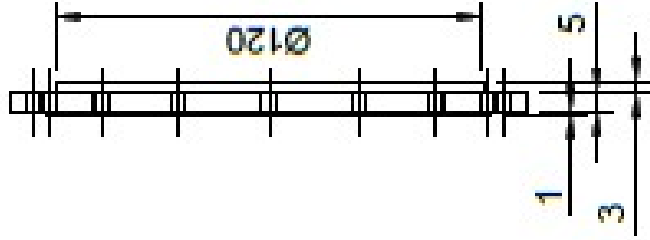




Dept. POLIUPG	Major MECH. ENG.	Created by Ryan Mahardhika	Scale 1:4
		Designed for UNDERWATER ROBOT	Unit MILIMETERS
		Title FULL BODY	
DWG No. MAIN			Date of issue 23/09/2020
			Sheet 1/7



Dept.	Major	Created by	Scale
POLIUPG	MECH. ENG.	Ryan Mahardhika	1:6
		Designed for	Unit
		UNDERWATER ROBOT	MILIMETERS
		Title	DWG No.
		MAIN BODY	1
		Date of Issue	Sheet
		23/09/2020	1/6



Dept. POLIUPG MAJOR MECH. ENG.

Created by Ryan Mahardhika

Scale 1:2



Designed for UNDERWATER ROBOT

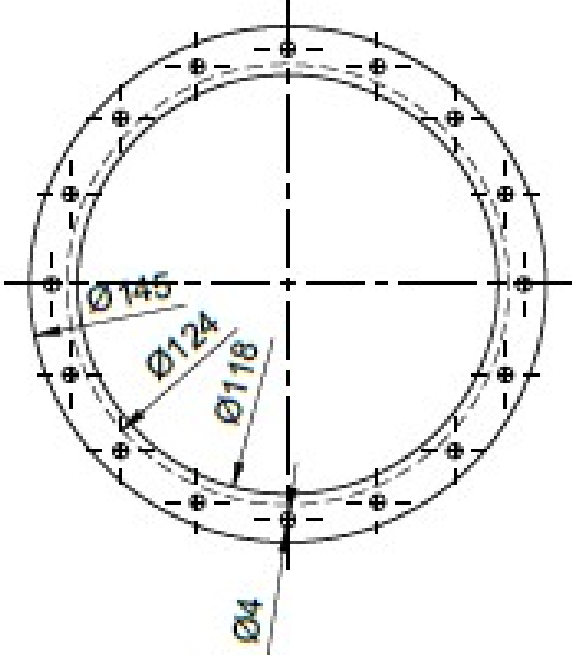
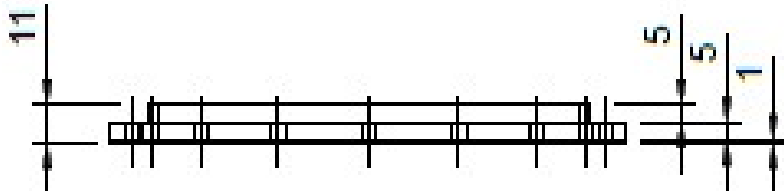
Unit Millimeters


Title REAR COVER

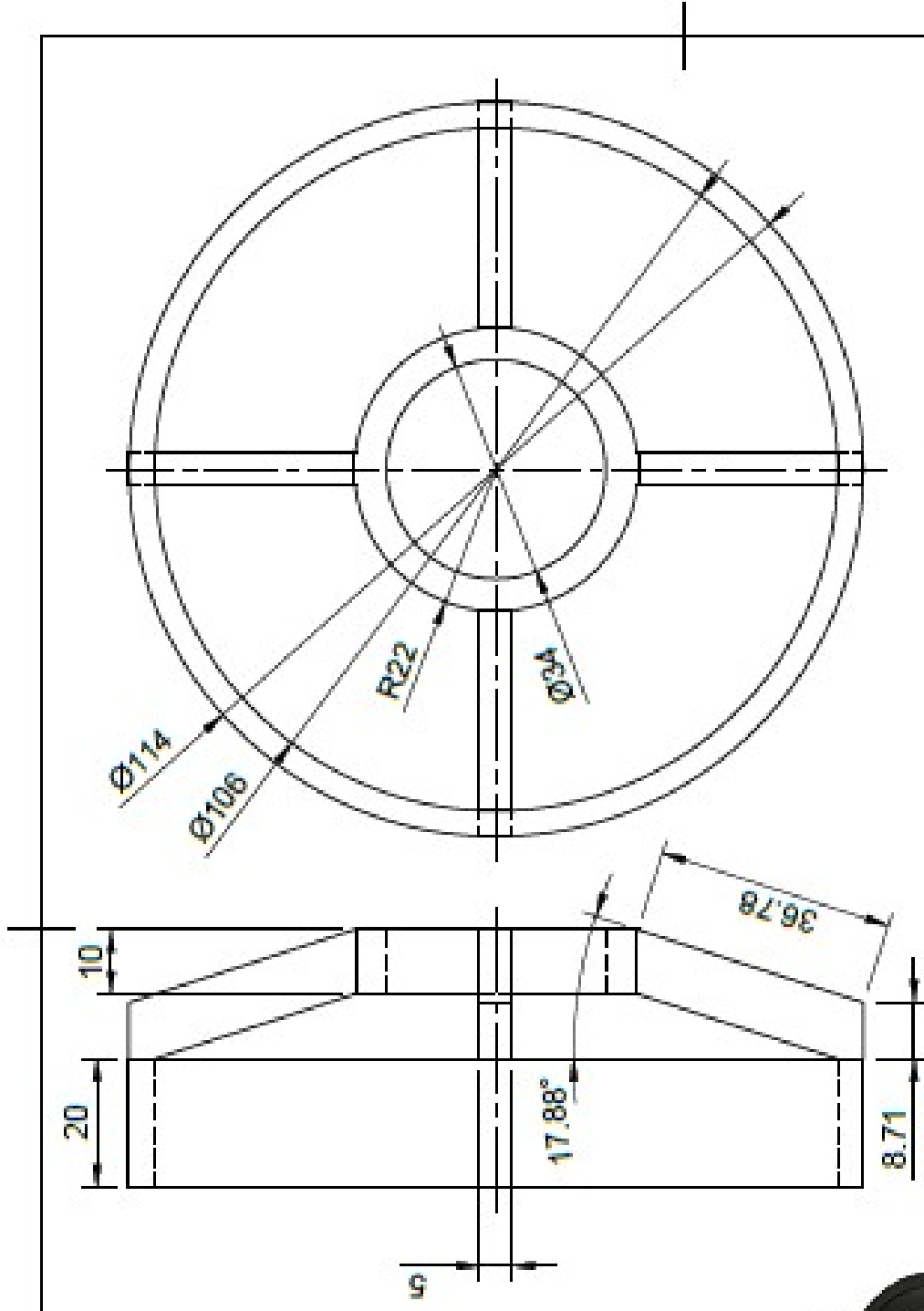
Sheet 2

Date of issue 23/09/2020

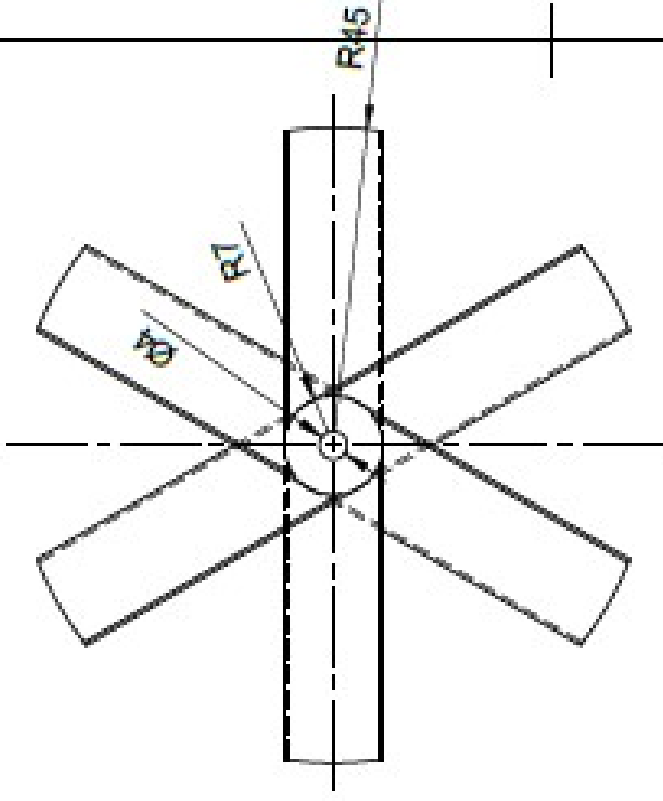
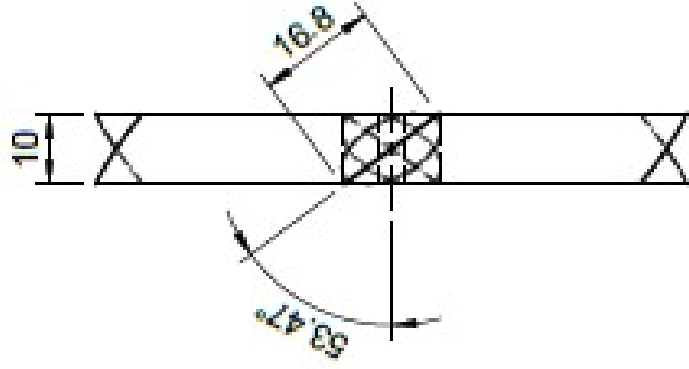
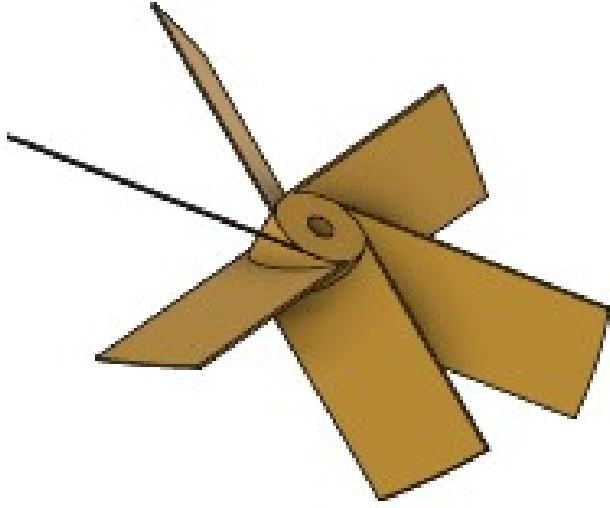
Sheet 3/7



Dept.	Major	Created by	Scale
POLIUPG	MECH. ENG.	Ryan Mahardhika	1:2
		Designed for	Unit
		UNDERWATER ROBOT	MILIMETERS
		Title	DWG No.
		REAR SEAL	3
		Date of issue	Sheet
		23/09/2020	4/7



Dept. POLIUPG	Major MECH. ENG.	Created by Ryan Mahardhika	Scale 1:1
		Designed for UNDERWATER ROBOT	Unit Millimeters
		Title PROPELLER SHIELD	
			DWG No. 4
			Date of Issue 23/09/2020
			Sheet 5/7



Dept. POLIUPG MECH. ENG.

Created by Ryan Mahardhika

Scale 1:1



Designed For UNDERWATER ROBOT

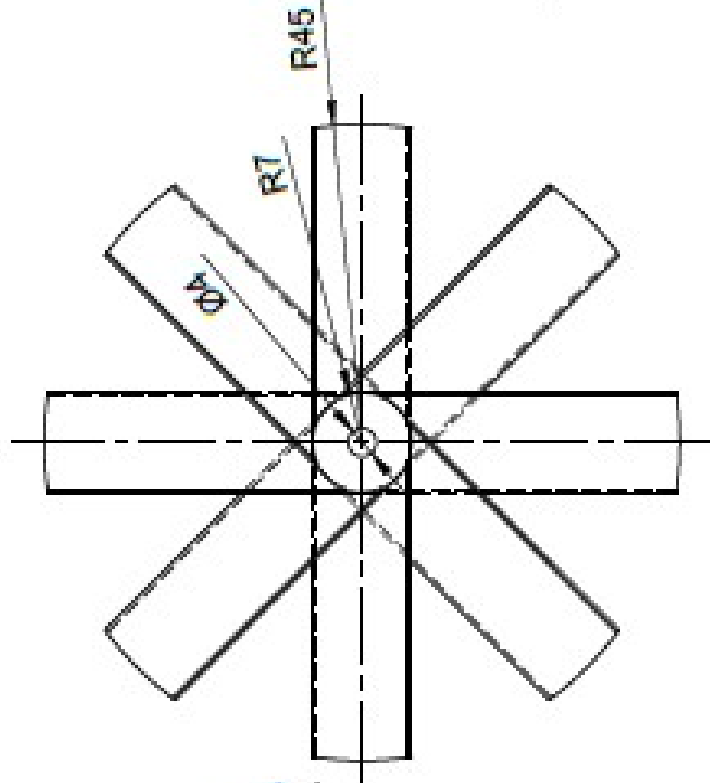
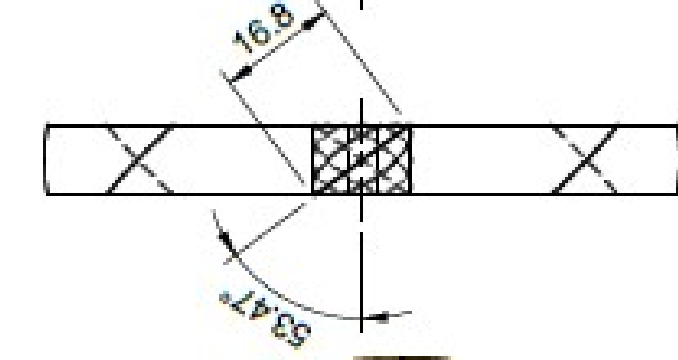
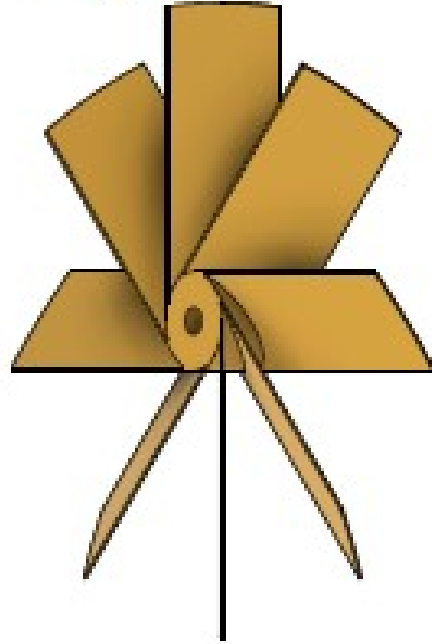
Unit Millimeters

Title PROPELLER 6 BLADE(S)

5

Date of Issue 23/09/2020

Sheet 6/7



Dept.	Major	Created by	Scale
POLIUPG MECH. ENG.		Ryan Mahardhika	1:1
		Designed For	Unit
		UNDERWATER ROBOT	Millimeters
		Titik	DWG No.
		PROPELLER 8 BLADE(S)	6
		Date of Issue	Sheet
		23/09/2020	7/7

Lampiran 5 Program Aplikasi Perangkat Bluetooth

a) Program *On-Off*

```
when Screen1 BackPressed
do
  call BluetoothClient1 Disconnect
  close application

when ListPicker1 BeforePicking
do
  set ListPicker1 Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

when ListPicker1 AfterPicking
do
  if call BluetoothClient1 Connect
     address ListPicker1 Selection
  then
    set ListPicker1 Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

when Clock1 Timer
do
  if BluetoothClient1 IsConnected
  then
    set Label1 Text to "Connected"
    set Label1 TextColor to green
  else
    set Label1 Text to "Disconnected"
    set Label1 TextColor to red
```

b) Program Kecepatan Motor yang Dapat Diatur

```
when SForward PositionChanged
thumbPosition
do
  set NilaiSF Text to floor SForward ThumbPosition
  if BluetoothClient1 IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
      number floor SForward ThumbPosition

when SBackward PositionChanged
thumbPosition
do
  set NilaiSB Text to floor SBackward ThumbPosition
  if BluetoothClient1 IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
      number floor SBackward ThumbPosition

when SLeft PositionChanged
thumbPosition
do
  set NilaiSL Text to floor SLeft ThumbPosition
  if BluetoothClient1 IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
      number floor SLeft ThumbPosition

when SRight PositionChanged
thumbPosition
do
  set NilaiSR Text to floor SRight ThumbPosition
  if BluetoothClient1 IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 Send1ByteNumber
      number floor SRight ThumbPosition
```

c) Program Kecepatan Motor Secara Konstan

The image displays eight Scratch code blocks arranged in a 4x2 grid, each representing a button click event. Each block contains a sequence of actions: setting the button's visibility to false, setting the opposite button's visibility to true, sending a specific byte number via a Bluetooth client, and setting a label's background color to either green or red. The blocks are as follows:

- Block 1 (Top Left):** When BForward1 is clicked, set BForward1 visible to false, set BForward2 visible to true, call BluetoothClient1 to send byte number 1, and set Label2 background color to green.
- Block 2 (Top Right):** When BForward2 is clicked, set BForward1 visible to true, set BForward2 visible to false, call BluetoothClient1 to send byte number 2, and set Label2 background color to red.
- Block 3 (Second Row Left):** When BBackward1 is clicked, set BBackward1 visible to false, set BBackward2 visible to true, call BluetoothClient1 to send byte number 3, and set Label3 background color to green.
- Block 4 (Second Row Right):** When BBackward2 is clicked, set BBackward1 visible to true, set BBackward2 visible to false, call BluetoothClient1 to send byte number 4, and set Label3 background color to red.
- Block 5 (Third Row Left):** When BLeft1 is clicked, set BLeft1 visible to false, set BLeft2 visible to true, call BluetoothClient1 to send byte number 5, and set Label4 background color to green.
- Block 6 (Third Row Right):** When BLeft2 is clicked, set BLeft1 visible to true, set BLeft2 visible to false, call BluetoothClient1 to send byte number 6, and set Label3 background color to red.
- Block 7 (Bottom Row Left):** When BRight1 is clicked, set BRight1 visible to false, set BRight2 visible to true, call BluetoothClient1 to send byte number 7, and set Label4 background color to green.
- Block 8 (Bottom Row Right):** When BRight2 is clicked, set BRight1 visible to true, set BRight2 visible to false, call BluetoothClient1 to send byte number 8, and set Label4 background color to red.

d) Tampilan Aplikasi Pada Smartphone



Lampiran 6 Program Arduino

```
#include <PS2X_lib.h>
```

```
#include <Servo.h>
```

```
PS2X ps2x;
```

```
Servo escLF, escRF, escLU, escRU; //L,R = Left, Right and F,U = Forward, Upward
```

```
int error = 0; //Error for Joystick
```

```
int value = 0; //set values you need from zero for
```

```
ESC byte type = 0; //Type for Joystick
```

```
byte vibrate = 0; //vibration for joystick
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600); //start serial at 9600
```

```
  baud pinMode(22, OUTPUT);
```

```
  escLF.attach(9); //esc attach to pin 9 etc.
```

```
  escRF.attach(10);
```

```
  escLU.attach(11);
```

```
  escRU.attach(12);
```

```
  error = ps2x.config_gamepad(5,3,2,4, true, true); //pin from joystick  
  to arduino
```

```
  if(error == 0) {
```

```
    Serial.println("Kontrol Joystick Siap Digunakan");
```

```
  }
```

```
  else if(error == 1) {
```

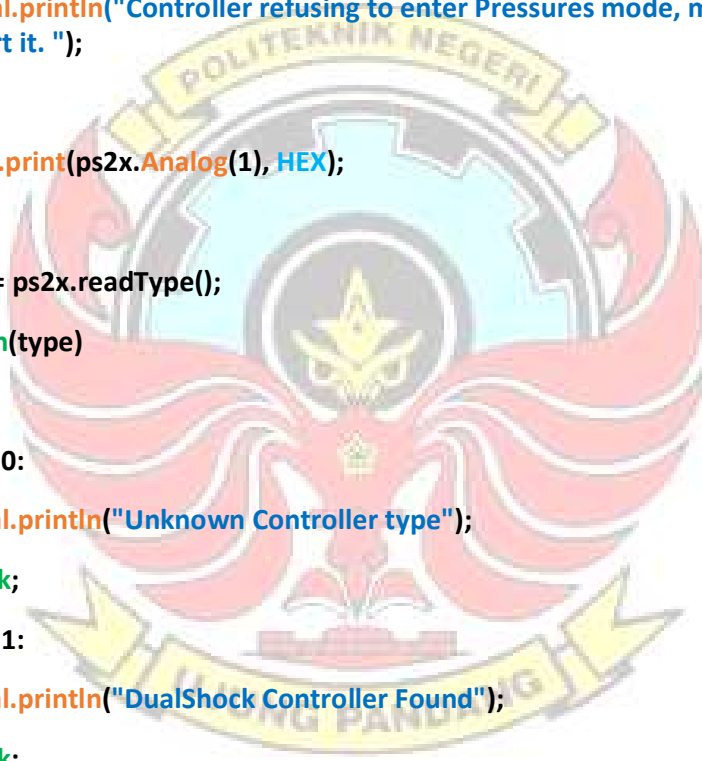


```

Serial.println("No controller found, check wiring, see readme.txt to
enable debug. visit www.billporter.info for troubleshooting tips");
}
else if(error == 2) {
Serial.println("Controller found but not accepting commands. see readme.txt to
enable debug. Visit www.billporter.info for troubleshooting tips");
}
else if(error == 3) {
Serial.println("Controller refusing to enter Pressures mode, may not
support it. ");
}
Serial.print(ps2x.Analog(1), HEX);

type = ps2x.readType();
switch(type)
{
case 0:
Serial.println("Unknown Controller type");
break;
case 1:
Serial.println("DualShock Controller Found");
break;
case 2:
Serial.println("GuitarHero Controller Found");
break;
}
}

```



```

void loop() {

  if(error == 1)
  {
    return;
  }

  if(type == 2) //tipe joystick gitar
  {
    ps2x.read_gamepad();
    if(ps2x.ButtonPressed(GREEN_FRET))
    Serial.println("Green Fret Pressed");
    if(ps2x.ButtonPressed(RED_FRET))
    Serial.println("Red Fret Pressed");
    if(ps2x.ButtonPressed(YELLOW_FRET))
    Serial.println("Yellow Fret Pressed");
    if(ps2x.ButtonPressed(BLUE_FRET))
    Serial.println("Blue Fret Pressed");
    if(ps2x.ButtonPressed(ORANGE_FRET))
    Serial.println("Orange Fret Pressed");
    if(ps2x.ButtonPressed(STAR_POWER))
    Serial.println("Star Power Command");
    if(ps2x.Button(UP_STRUM))
    Serial.println("Up Strum");
    if(ps2x.Button(DOWN_STRUM))
    Serial.println("DOWN Strum");
    if(ps2x.Button(PSB_START))
    Serial.println("Start is being held");
  }
}

```

```

if(ps2x.Button(PSB_SELECT))
Serial.println("Select is being held");

if(ps2x.Button(ORANGE_FRET)) // print stick value IF TRUE
{
Serial.print("Wammy Bar Position:");
Serial.println(ps2x.Analog(WHAMMY_BAR), DEC);
}
}
else //tipe joystick playstation
{
ps2x.read_gamepad(false, vibrate);
if (ps2x.NewButtonState(PSB_START))
{
if(ps2x.Button(PSB_START)==1)
{
Steady();
Serial.println("Start is being held");
}
else
{
Serial.println("Start is released");
}
}
}

if (ps2x.NewButtonState(PSB_SELECT))
{
if(ps2x.Button(PSB_SELECT)==1)
{

```

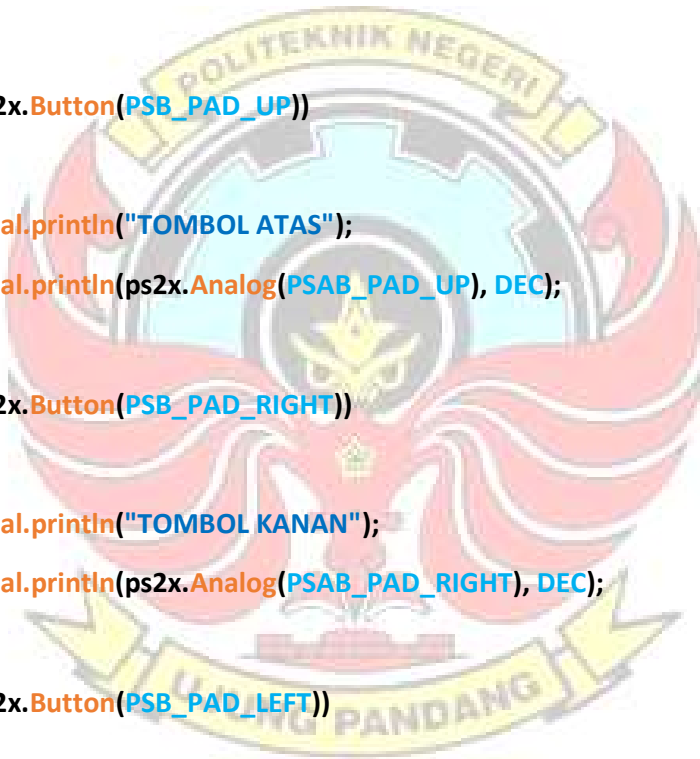



```

Zero());
Serial.println("Select is being held");
}
else
{
Serial.println("Select is being released");
}
}

if(ps2x.Button(PSB_PAD_UP))
{
Serial.println("TOMBOL ATAS");
Serial.println(ps2x.Analog(PSAB_PAD_UP), DEC);
}
if(ps2x.Button(PSB_PAD_RIGHT))
{
Serial.println("TOMBOL KANAN");
Serial.println(ps2x.Analog(PSAB_PAD_RIGHT), DEC);
}
if(ps2x.Button(PSB_PAD_LEFT))
{
Serial.println("TOMBOL KIRI");
Serial.println(ps2x.Analog(PSAB_PAD_LEFT), DEC);
}
if(ps2x.Button(PSB_PAD_DOWN))
{
Serial.println("TOMBOL BAWAH");

```



```

Serial.println(ps2x.Analog(PBAB_PAD_DOWN), DEC);
}

vibrate = ps2x.Analog(PBAB_BLUE);
if (ps2x.NewButtonState(PAB_L3))
{
  if(ps2x.Button(PAB_L3)==1)
  {
    DownwardMax();
    Serial.println("L3 pressed");
  }
  else
  {
    Serial.println("L3 released");
  }
}
if (ps2x.NewButtonState(PAB_R3))
{
  if(ps2x.Button(PAB_R3)==1)
  {
    ForwardMax();
    Serial.println("R3 pressed");
  }
  else
  {
    Serial.println("R3 released");
  }
}

```



```

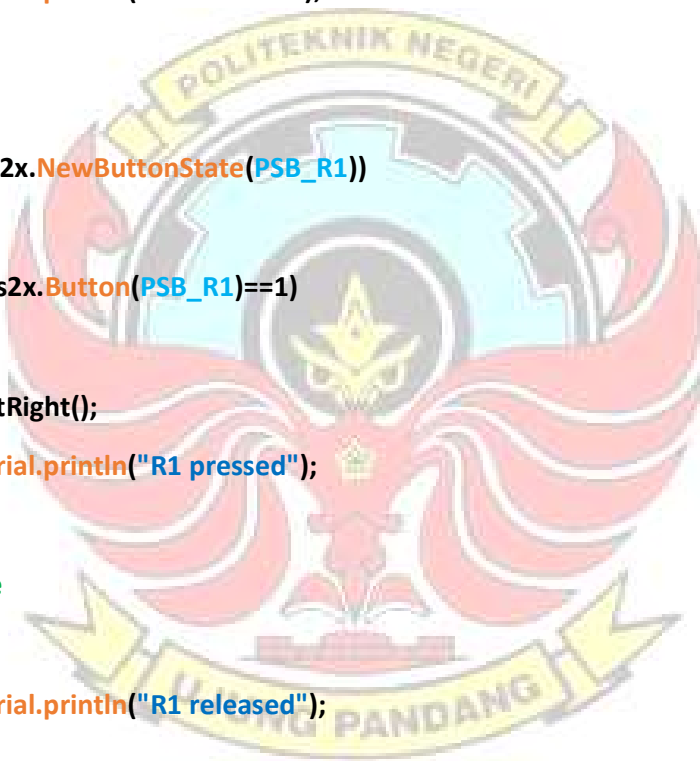
}
if (ps2x.NewButtonState(PSB_L2))
{
    if(ps2x.Button(PSB_L2)==1)
    {
        TurnLeft();
        Serial.println("L2 pressed");
    }
    else
    {
        Serial.println("L2 released");
    }
}
if (ps2x.NewButtonState(PSB_R2))
{
    if(ps2x.Button(PSB_R2)==1)
    {
        TurnRight();
        Serial.println("R2 pressed");
    }
    else
    {
        Serial.println("R2 released");
    }
}
if (ps2x.NewButtonState(PSB_L1))
{

```



```
if(ps2x.Button(PSB_L1)==1)
{
  TiltLeft();
  Serial.println("L1 pressed");
}
else
{
  Serial.println("L1 released");
}
}
if(ps2x.NewButtonState(PSB_R1))
{
  if(ps2x.Button(PSB_R1)==1)
  {
    TiltRight();
    Serial.println("R1 pressed");
  }
  else
  {
    Serial.println("R1 released");
  }
}
}

if(ps2x.NewButtonState(PSB_GREEN))
{
  if(ps2x.Button(PSB_GREEN)==1)
  {
```



```

ForwardFast();
Serial.println("Triangle just pressed");
}
else{
Serial.println("Triangle just released");
}
}
if(ps2x.NewButtonState(PSB_RED))
{
if(ps2x.Button(PSB_RED)==1)
{
DownwardFast();
Serial.println("Circle just pressed");
}
else{
Serial.println("Circle just released");
}
}
if(ps2x.NewButtonState(PSB_PINK))
{
if(ps2x.Button(PSB_PINK)==1)
{
DownwardSlow();
Serial.println("Square just pressed");
}
else{
Serial.println("Square just released");
}
}

```



```
    }  
  }  
  if(ps2x.NewButtonState(PSB_BLUE))  
  {  
    if(ps2x.Button(PSB_BLUE)==1)  
    {  
      ForwardSlow();  
      Serial.println("X just pressed");  
    }  
    else{  
      Serial.println("X just released");  
    }  
  }  
  }  
  }  
  delay(50);  
  return;  
}  
  
void Steady () {  
  escLF.write(50);  
  escRF.write(50);  
  escLU.write(50);  
  escRU.write(50);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Calibrating Motor");  
}
```



```
void Zero () {  
  escLF.write(0);  
  escRF.write(0);  
  escLU.write(0);  
  escRU.write(0);  
  digitalWrite(22, LOW);  
  Serial.println("Motor Stop");  
}
```

```
void ForwardSlow () {  
  escLF.write(65);  
  escRF.write(70);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Going Forward Slowly");  
}
```

```
void ForwardFast () {  
  escLF.write(75);  
  escRF.write(80);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Going Forward Fast");  
}
```

```
void ForwardMax () {  
  escLF.write(95);  
  escRF.write(100);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Going Forward Max");  
}
```



```
}
```

```
void TurnLeft () {  
  escLF.write(50);  
  escRF.write(80);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Turn Left");  
}
```

```
void TurnRight () {  
  escLF.write(75);  
  escRF.write(50);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Turn Right");  
}
```

```
void DownwardSlow () {  
  escLU.write(70);  
  escRU.write(65);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Going Downward Slowly");  
}
```

```
void DownwardFast () {  
  escLU.write(85);  
  escRU.write(80);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
}
```




```
Serial.println("Going Downward Fast");  
}
```

```
void DownwardMax () {  
  escLU.write(100);  
  escRU.write(95);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Going Downward Max");  
}
```

```
void TiltRight () {  
  escLU.write(80);  
  escRU.write(50);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Tilting Right");  
}
```

```
void TiltLeft () {  
  escLU.write(50);  
  escRU.write(75);  
  digitalWrite(22, HIGH);  
  Serial.println("Tilting Left");  
}
```



Lampiran 5 Biodata Penulis

Biodata Penulis Skripsi “Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560”



Agus Nara Dewa. lahir pada tanggal 6 Agustus 1997 dari Ayah Gede Sukayasa dan Ibu Ketut Panca Putri. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara. Tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 204 Kalaena Kiri III. Pada tahun itu juga penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 2 Angkona dan tamat pada tahun 2013 kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Kalaena dan selesai pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis diterima sebagai mahasiswa program studi Teknik Mekatronika jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penulis pernah mengikuti Praktek Lapangan di Balai Penelitian Mesin Perkakas, Produksi, dan Otomasi (BT MEPPPO) di Tangerang Selatan pada tahun 2019.



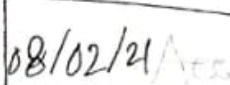



RM. Ryan Mahardhik Dewa. lahir pada tanggal 10 Juni 1998 dari ayah Muh. Ridwan, S.E. dan ibu Manyang Sari. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara. Tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 6 Bontokamase. Pada tahun itu juga penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 4 Sungguminasa dan tamat pada tahun 2013 kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMKN 3 Makassar Jurusan Teknik Komputer dan Jaringan dan selesai pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis diterima sebagai mahasiswa program studi Teknik Mekatronika jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penulis pernah mengikuti praktek lapangan di PT. Semen Tonasa, Kab. Pangkajene Kepulauan pada tahun 2019.


LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN
UJIAN SIDANG SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Rm. Ryan Mahardika D / Agus Nara
NIM : 4416015 / 4416001

Catatan/Daftar Revisi Penguji:

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1	Abdul Salam	<ul style="list-style-type: none"> - Daftar Isi dan Tampilan - Ruang lingkup pembahasan - pengalihan & referensi - metode pengujian & desain 	 15/12/2020
2	Abdul Rahman	<ul style="list-style-type: none"> - Buatlah bentuk masalah yg jelas seperti: fluida air laut? - persamaan matematika → Diagram benda bebas (dbb) → hal. 76 	 05/12/21
3	Abdul Radir Muhammad	<ul style="list-style-type: none"> - Desain Blok 	 08/02/21
4	Samon Kaka	<ul style="list-style-type: none"> - metode perhitungan gaya angkat - penulisan 	

Makassar, 27 Sept 2020
Sekretaris Penguji


Abdul Rahman, S.T., M.T.
NIP. 19750803 200604 1 001

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi ke bagian Akademik.