

PENGEMBANGAN ROBOT JELAJAH BAWAH AIR UNTUK OBSERVASI TERUMBU KARANG

Andik Yulianto¹⁾, Hadi Puspa Handoyo²⁾

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Internasional Batam^{1),2)}

Jl. Gajah Mada, Baloi Sei Ladi, Batam 29442

Email: andik@uib.ac.id, hadiph@gmail.com²⁾

ABSTRAK

Paper ini menjelaskan perancangan dan pembuatan robot jelajah bawah air sebagai alternatif solusi observasi di perairan laut. Robot yang dirancang menggantikan tugas manusia untuk menyelam dalam rangka observasi terumbu karang. 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.

Kata Kunci: Robot Bawah Air, *Underwater Remotely Operated Vehicle* (ROV), Beaglebone Black

ABSTRACT

This paper describes the design and manufacture of underwater robot as an alternative solution to observation in water. Robot designed to replace human tasks in order to reef observation. Underwater robot in this study controlled remotely (Remotely Operated Vehicle) using a cable from the main station above the water surface. Robot in this study was developed to have the ability to take the visual image and the surrounding temperature. The robot is built has three brushless motor as the driving, among other vertical drive and two horizontal drive right and left. To monitor the underwater situation, robot equipped with a web camera that catches the image and sent to a computer at the main station via a UTP cable. The control panel applications developed by using web-based application. From the results of the field test showed that the robot can take pictures and record temperature well. Robots are still experiencing difficulties in performing the maneuver due to experience of balance problems cause by the difference of rear and back hull air volume.

Key Words: Underwater Robot, *Underwater Remotely Operated Vehicle* (ROV), Beaglebone Black

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara dengan persentase wilayah laut terbesar memiliki kekayaan laut yang luar biasa. Beberapa perhatian terhadap kondisi terumbu karang yang ada di wilayah Indonesia semakin digiatkan mengingat kondisinya yang semakin menurun. Dalam periode 1989-2000 saja kawasan terumbu karang dengan tutupan lebih dari 50% karang hidup menurun dari 36% menjadi 29% [1]. Hasil survey tahun 1998 menunjukkan ada perbedaan kondisi terumbu di Indonesia bagian barat dan Indonesia bagian timur. Di Indonesia bagian barat tutupan karang termasuk kategori baik sekitar 23%, sedangkan di Indonesia bagian Timur luasnya hampir dua kali lipat, yaitu 45% [1].

Kota Batam termasuk pada wilayah Indonesia bagian barat yang sebagian wilayahnya terdiri dari beberapa pulau yang dilingkupi oleh laut. Beberapa penelitian terumbu karang telah dilakukan, diantaranya tentang pengaruh kondisi terumbu karang terhadap kondisi hayati sekitarnya. Kondisi keberadaan terumbu karang juga berpengaruh terhadap kondisi hayati didalamnya, seperti contohnya ikan Chaetodontidae. Penutupan karang keras mampu menjelaskan atau mempengaruhi kelimpahan ikan Chaetodontidae sebesar 56.25% [2]. Faktor lain yang mempengaruhi kelimpahan ikan tersebut adalah keragaman karang yang tinggi, jenis karang sebagai makanannya, jenis biota laut lainnya yang berperan sebagai pemangsa karang [2]. Dengan demikian kondisi tersebut secara tidak langsung juga mempengaruhi keberlangsungan ekonomi masyarakat sekitarnya, seperti yang dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Noveria pada tahun 2010 [3].

Observasi potensi terumbu karang telah dilakukan dengan cara menyelam (*diving*) ataupun *snorkling*. Untuk kondisi tertentu, seperti lokasi yang sulit, tingkat kekeruhan air yang tinggi atau tingkat pencemaran air yang tinggi tidak memungkinkan manusia untuk menyelam dan mengamati secara langsung kondisi terumbu karang. Mengingat pentingnya observasi yang dilakukan secara terus menerus, dengan

demikian diperlukan upaya untuk mencari cara alternatif agar observasi tetap dapat dilakukan.

Penelitian tentang robot bawah air telah banyak dilakukan misalnya tentang perancangan sistem dan perangkat keras "DaryaBird" [4], sebuah robot bawah air yang memiliki misi tertentu dalam sebuah kompetisi. Pembuatan perangkat robot semi-otonom juga dengan biaya murah dikembangkan [5].

Penelitian ini mengajukan alternatif observasi terumbu karang di perairan Batam menggunakan robot. Robot yang akan dikembangkan memiliki kemampuan menyelam dibawah permukaan air dan mengambil beberapa gambar visual tentang kondisi terumbu serta mengukur suhu sekitar terumbu. Dengan pengembangan robot ini diharapkan dapat mengatasi kesulitan observasi yang dilakukan oleh manusia.

Penelitian ini merupakan penelitian awal dalam rangka pembuatan robot bawah air untuk observasi terumbu karang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat robot jelajah bawah air yang dapat digunakan untuk observasi visual lingkungan bawah air, yang memiliki kemampuan untuk bermanuver secara terkendali (*remotely*), merekam suhu dan mengambil gambar bawah air. Harapannya melalui penelitian ini dapat dikembangkan *platform* robot jelajah bawah air yang memiliki berbagai kemampuan untuk keperluan observasi bawah air.

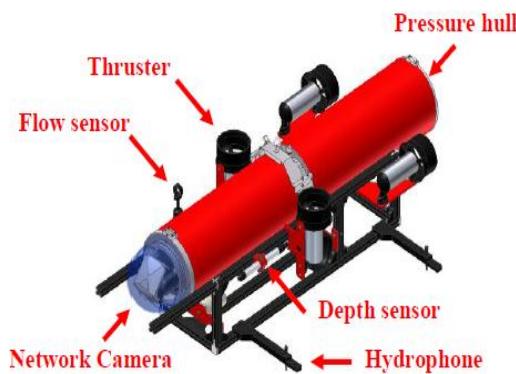
2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Robot Bawah Air

Robot bawah air telah banyak dikembangkan dengan berbagai tujuan, misalnya robot digunakan sebagai alat untuk observasi lingkungan bawah laut, perbaikan atau pemeliharaan pipa minyak atau gas bawah air, penelitian bawah air, dimana area penelitian bidang ini semakin luas dan mendalam [6]. Sebagai alat observasi, robot dilengkapi kamera yang terpasang pada badan robot dan terhubung dengan kontroler yang bertugas mengirimkan hasil tangkapan kamera ke stasiun pusat.

Berdasarkan sistem kontrolnya robot bawah air dibagi menjadi dua tipe, yaitu *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) dan *Remotely Operated Vehicle* (ROV). Pada AUV terdapat beberapa masalah yang harus diselesaikan seperti masalah kontrol gerak, akuisisi informasi sensor, pengambilan keputusan, menghindari halangan, lokalisasi mandiri (*selflocalization*) dan sebagainya [4]. Dengan demikian AUV secara sistem lebih kompleks dibandingkan dengan ROV. Sistem navigasi ROV dikendalikan melalui kabel oleh stasiun monitor dan kontrol yang berada diatas permukaan air.

Gambar 1 merupakan gambar AUV bernama "DaryaBird", yang dikembangkan untuk melakukan misi menjelajahi tempat tertentu dan menembakkan torpedo pada sebuah kompetisi [4]. DaryaBird memiliki kemampuan untuk beraksi otonom dengan mengenali sekitarnya menggunakan beberapa sensor yang terpasang pada robot, seperti *Altitude Sensor* untuk mengukur sudut altitud dan azimuth, kemudian ada *Depth sensor* untuk mengukur kedalaman robot, *Flow Sensor*, *Current Sensor*, *Camera* dan *Hydrophone*.

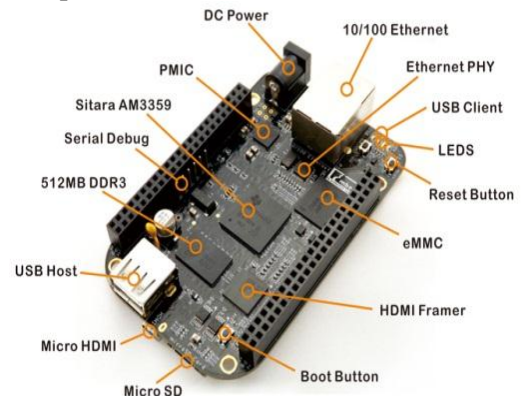


Gambar 1. DaryaBird [4]

B. Beaglebone Black

Beaglebone Black adalah sebuah *embedded system* berukuran relatif kecil dan berharga murah. Beaglebone Black memiliki prosesor Sitara™ XAM3359AZCZ100 Cortex A8 ARM® dari Texas Instruments. Beaglebone Black adalah salah satu keluaran terbaru dari keluarga Beagleboard. Beaglebone telah dirilis beberapa kali diantaranya Beaglebone Black Rev A4, Rev A5A, Rev A5B, Rev

A5C, Rev A6, Rev A6A, Rev B, dan yang terakhir adalah Rev C seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada paket pembelian Beaglebone Black Rev C sudah terinstal dengan sistem operasi Debian GNU Linux™, namun sistem operasi dapat juga *support* dengan Linux Distribution yang lain seperti Angstrom, Ubuntu, Fedora, maupun Android.



Gambar 2. Beaglebone Black Revision C

Kemampuan BeagleBone Black dapat diperluas dengan menggunakan papan *plug-in* yang biasa disebut "cape" yang dapat dipasang ke BeagleBone Black dua buah 46-pin dual-line expansions header.

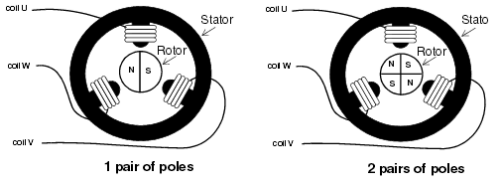
Beaglebone Black dapat diprogram dengan menggunakan berbagai macam bahasa pemrograman termasuk Java, Phyton, C, C++, atau Ruby. Sedangkan untuk *Integrated Development Environment* (IDE), Beaglebone Black dilengkapi dengan Cloud9 untuk menjalankan script Java, C, atau Ruby. Untuk bahasa C++ bisa menggunakan IDE dari Eclipse.

C. Brushless Motor DC [7]

BLDC umumnya terdiri dari tiga bagian, yaitu: stator, rotor dan hall sensor. Sebuah stator dari motor BLDC tiga fasamemiliki tigagulungan. Gambar 3 merupakan diagram skematik dari kumparan stator. Terdiri dari tiga kumparan yang berisi komponen yang tersusun seri yaitu induktansi, resistansi, dan gaya gerak listrik balik (Bemf).

Rotor BLDC terdiri dari magnet permanen yang berjumlah genap. Jumlah kutub magnet pada rotor menentukan ukuran langkah (*step*) dan riak torsi dari motor. Semakin banyak kutub magnet semakin

kecil langkah motor dan sedikit riak torsi. Jumlah magnet permanen bisa dari 1 hingga 5 pasang kutub. Dalam beberapa kasus dapat juga hingga 8 pasang kutub.

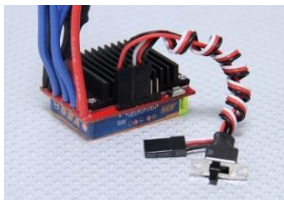


Gambar 3. Motor BLDC Tiga Fasa [8]

Kumparan pada motor tetap/diam sedangkan magnet berputar. Rotor dari BDLC lebih ringan dibandingkan dengan motor DC konvensional umumnya disebabkan kumparannya dipasang pada rotor.

D. Electronic Speed Controller (ESC)

Electronics Speed Controller atau disingkat ESC merupakan rangkaian kompak pengendali kecepatan motor elektronik, arah putarannya, atau dapat juga berlaku sebagai pengerem yang dinamis. ESC biasanya digunakan untuk pengendali motor pada hobi remote control (RC).



Gambar 4. HobbyKing®™ Brushless Car ESC 30A w/ Reverse [9]

Tabel 1. Spesifikasi Electronic Speed Controller (ESC)

No.	Spesifications	Value
1	Input voltage	2-3S Lithium batteries/4-9 Ni-xx
2	Cont. Current	30A
3	BEC output	2A / 5V (Linear)
4	Size (length x width x high)	45x32x20mm
5	Weight	51kg

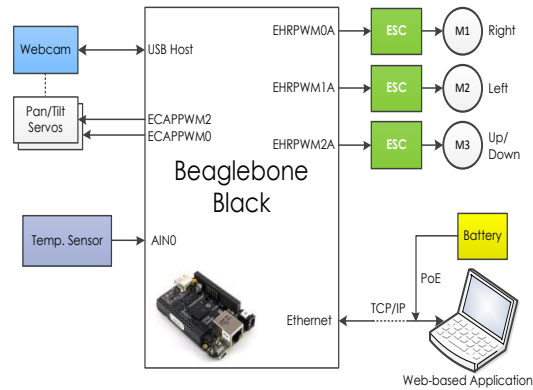
Menurut fungsinya ESC dibagi dua yaitu ESC untuk motor brushed dan motor brushless. Keduanya memiliki desain yang berbeda. Untuk motor brushless, ESC mengendalikan motor tiga fasa dengan menghasilkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) dengan frekuensi 50Hz.

Pengaturan kecepatan motor menggunakan ESC dilakukan dengan memvariasikan nilai lebar pulsa antara 1ms hingga 2ms. Gambar 4 merupakan penampakan fisik dari ESC dengan kemampuan Reverse dan Tabel 1 merupakan daftar spesifikasinya.

3. METODE PERANCANGAN

A. Arsitektur Sistem Robot

Arsitektur sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 5. Robot jelajah ini dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu bagian unit monitor dan kontrol (Monitor and Controlling Unit), serta robot jelajah itu sendiri. Pada unit robot jelajah, untuk pemrosesan data digunakan Beaglebone Black.



Gambar 5. Arsitektur Sistem Robot Jelajah Bawah Air

Sebagai perangkat masukan yang digunakan untuk observasi visual dan suhu digunakan dua sensor, yaitu kamera web (webcam) dan LM35. Kamera dipasang di badan robot terlindung dari air dan dapat digerakkan dalam 2 derajat kebebasan dengan bantuan motor servo. Sebagai sumber daya digunakan baterai kering yang dipasang pada bagian monitor dan kontrol.

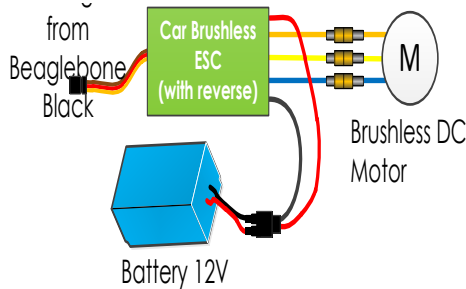
B. Penggerak Thruster

Robot bernavigasi digerakkan oleh 3 motor DC brushless pendorong (thruster) masing-masing adalah satu untuk penggerak arah vertikal, dan dua motor untuk penggerak arah horizontal (kanan dan kiri).

Untuk dapat menggerakkan motor brushless digunakan ESC (Electronic Speed Controller) yang bekerja menggunakan sinyal PWM untuk mengatur arah dan kecepatan motor brushless. ESC yang

dipilih harus memiliki kemampuan menangani arus diatas 18A. Selain itu ESC yang dipilih harus memiliki kemampuan untuk menggerakkan motor dalam dua arah (searah jarum jam dan sebaliknya).

Diagram hubungan ESC, motor dan sumber tenaga dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Diagram Hubungan Penggerak Motor

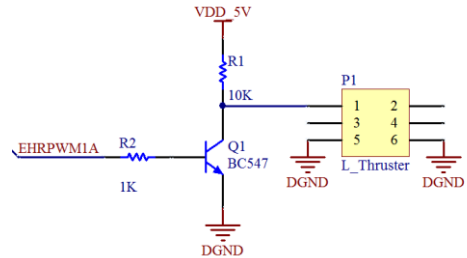
Pada Beaglebone Black tersedia 8 channel PWM yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor. Pada penelitian ini digunakan 5 channel masing-masing adalah pin P9.22 (EHRPWM0A), P9.14 (EHRPWM1A), P8.19 (EHRPWM2A), P9.42 (ECAPPWM0), dan P9.28 (ECAPPWM2). Agar dapat menggunakan pin-pin tersebut untuk menghasilkan sinyal PWM, pin GPIO tersebut harus dikonfigurasi/diaktifkan pada mode PWM.

Sinyal PWM yang dihasilkan oleh BBB berada pada level tegangan 3.3V. Tegangan tersebut masih belum dapat menggerakkan ESC agar dapat bekerja. Untuk itu diperlukan sebuah level converter yang mengubah tegangan logika 3.3V menjadi 5V. Gambar 7 merupakan rangkaian level converter dimaksud.

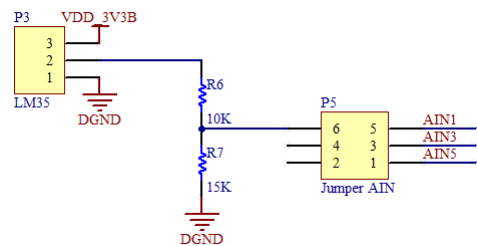
C. Rangkaian Sensor Suhu

Rangkaian sensor suhu perlu disesuaikan level tegangannya dengan level tegangan yang dapat diterima oleh Beaglebone Black. Pada pin Analog Input (AIN) Beaglebone Black dapat menerima tegangan maksimum 1.8V, jika terdapat tegangan yang melebihi nilai ini akan mengakibatkan Beaglebone Black rusak. Tegangan ini berbeda dari standar TTL yang biasa yaitu 5 V, untuk itu rangkaian perlu dirancang agar tegangan yang dikeluarkan oleh rangkaian sensor

tidak melebihi 1.8V namun sudah dapat merepresentasikan suhu dengan resolusi yang baik. Rangkaian sensor suhu yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. 3.3V to 5V Logic Level Converter

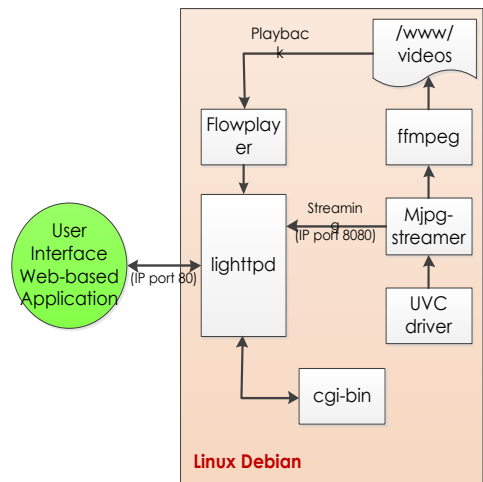


Gambar 8. Rangkaian Sensor Suhu

D. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang meliputi dua bagian, yaitu perangkat lunak pada mikrokomputer Beaglebone Black dan aplikasi kendali dan monitor pada komputer.

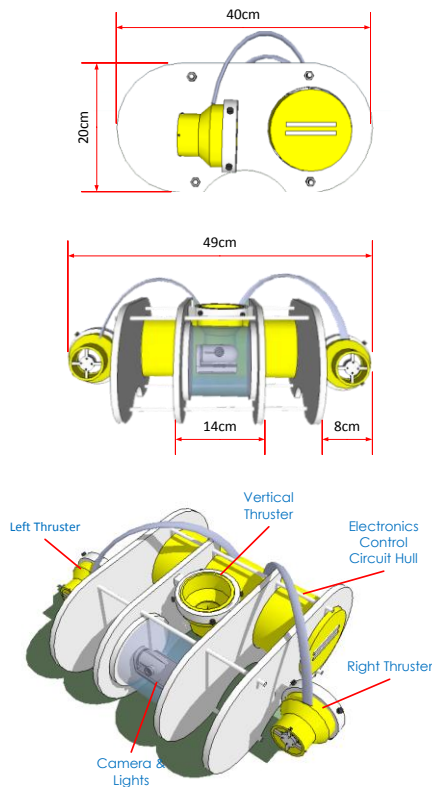
Perangkat lunak pada Beaglebone Black dirancang mengikuti arsitektur seperti pada Gambar 9. Semua library dari tiap perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak open source.



Gambar 9. Arsitektur Perangkat Lunak

E. Robot Jelajah

Secara keseluruhan robot memiliki dimensi panjang 49cm, lebar 40cm dan tinggi 20cm. Untuk keperluan manuver, robot menggunakan 3 motor DC sebagai penggerak. Masing-masing memiliki fungsi untuk menggerakkan robot secara vertikal dan horizontal. Ketiga motor dipasang pada badan robot diatur sedemikian rupa agar robot masih memiliki keseimbangan ketika berada di dalam air. Perancangan mekanik robot ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Rancangan Robot Jelajah Bawah Air

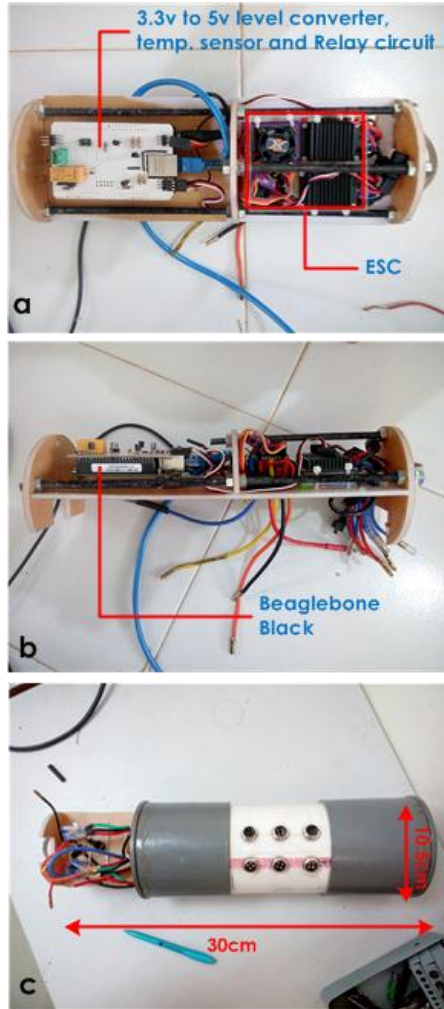
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Hasil Perancangan

Mekanik robot yang dirancang terdiri dari beberapa bagian diantaranya adalah kerangka robot, lambung robot yang berfungsi untuk menyimpan rangkaian elektronik (*payload*), dan bagian *camera housing* untuk meletakkan *webcam* agar terlindung dari air.

Pada badan lambung ditambahkan konektor yang digunakan untuk menghubungkan bagian elektronik yang berada dalam lambung dengan perangkat yang ada diluar

lambung seperti motor *thruster* dan unit kamera. Gambar 11 merupakan hasil perancangan rangkaian kontrol elektronik dan lambung untuk melindungi dari air.

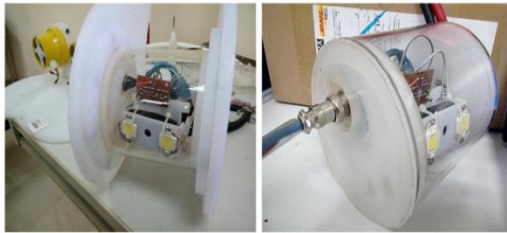


Gambar 11. Komponen Elektronik a. Tampak Bawah, b. Tampak Atas, c. Dalam Lambung (*Hull*)

Sistem elektronik (*payload*) yang dirancang diletakkan dalam sebuah papan yang sedemikian rupa dapat dimasukkan dalam lambung robot. Sistem elektronik yang terpasang terdiri dari ESC, *main board* (Beaglebone Black) dan rangkaian *level converter*, sensor suhu dan rangkaian relay. Semuanya dipasang kompak pada papan berukuran 30 x 10.5cm yang membentuk kerangka tabung yang berukuran sama dengan tabung atau lambung robot.

Sistem visi robot terdiri dari kamera web dan LED dipasang pada wadah kaca yang dilengkapi dengan karet *seal* sehingga kedap air pada tutupnya. Pada ujung tutup,

dipasang konektor untuk menghubungkan kamera dan LED ke bagian rangkaian elektronik utama.



Gambar 12. Sistem Visi

Realisasi perancangan robot jelajah bawah air dapat dilihat pada Gambar 13. Beberapa bagian diberikan warna yang cerah dengan tujuan agar mudah terlihat dibawah air.



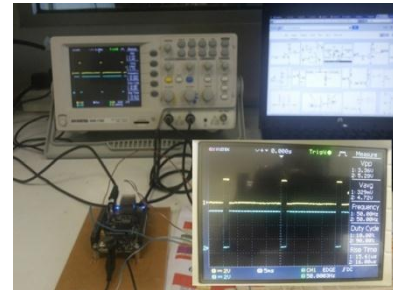
Gambar 13. Realisasi Perancangan Robot Jelajah Bawah Air

B. Uji Pembangkitan Sinyal PWM

Pengujian pembangkitan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dilakukan untuk mengamati apakah pin yang telah dikonfigurasi untuk dapat membangkitkan sinyal PWM dapat bekerja sesuai dengan rencana atau tidak. Level tegangan yang dihasilkan pada pin PWM harus dapat sesuai dengan level tegangan ESC maupun motor servo yang akan dikendalikan, yaitu 5V maksimum.

Motor *thruster (brushless)* dengan ESC dapat digerakkan menggunakan sinyal PWM dengan frekuensi 50Hz, kemudian *duty cycle* diatur pada nilai antara >1500000ns hingga 2000000ns untuk pergerakan searah jarum jam, dan 1000000ns hingga <1500000ns untuk pergerakan berlawanan arah jarum jam. Untuk berhenti, *duty cycle* diberikan nilai 1500000ns.

Gambar 14 adalah hasil pengujian sinyal PWM pada pin P9.14. Tampak bawah sinyal PWM yang dihasilkan sudah sesuai yang direncanakan yaitu memiliki level tegangan maksimum 5V dengan frekuensi 50Hz (pada *channel 2*).



Gambar 14. Pembangkitan Sinyal PWM

C. Pengujian Sistem Visi

Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja dengan baik. Hasil uji yang didapat camera dapat menangkap gambar dan mengirimkan gambar tersebut ke Laptop. Ini berarti konektor yang dibuat sudah sesuai dan dapat bekerja dengan baik. Gambar 15 menunjukkan sistem visi sedang diuji.



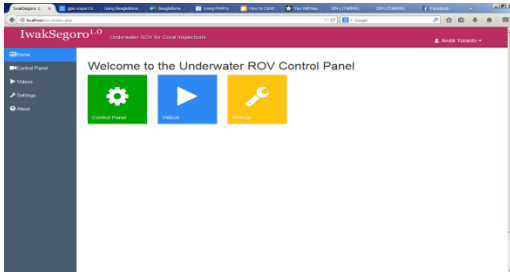
Gambar 15. Pengujian Sistem Visi

D. Halaman Web

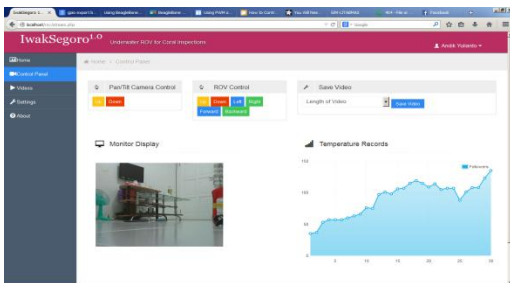
Sebagai media antar muka pengguna (*user*) untuk memonitoring bawah air maka dibuat aplikasi berbasis *web* yang disimpan pada *webserver* (Beaglebone Black). Aplikasi ini kemudian diakses melalui laptop yang terhubung dengan modul Beaglebone Black melalui kabel UTP. Aplikasi ini diberi nama IwakSegoro 1.0.

Aplikasi yang dibangun memiliki beberapa fungsi diantaranya yang utama adalah memonitor hasil tangkapan kamera *web* dan merekam, memonitor suhu sekitar terumbu dan merekamnya, sekaligus mengendalikan pergerakan robot dan kamera. Aplikasi IwakSegoro 1.0 ditulis menggunakan bahasa HTML, PHP, Java, dan

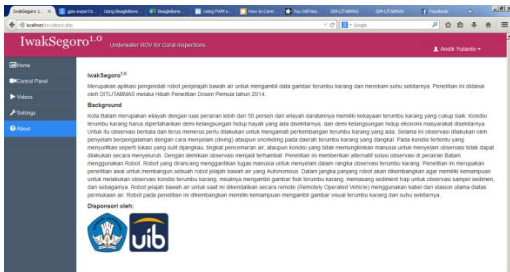
AJAX. Pengambilan video oleh kamera *web* dan hasilnya ditampilkan pada halaman ini. Video dapat ditampilkan dengan cara mengakses alamat IP Beaglebone pada 192.168.1.100:8080. Gambar 16, 17, dan 18 adalah halaman *web* hasil perancangan.



Gambar 16. Halaman Menu Home



Gambar 17. Halaman Control Panel



Gambar 18. Halaman About

E. Pengujian di Lapangan

Pengujian robot di lapangan (perariran) dilakukan setelah semua komponen terpasang. Pengujian dilakukan di perariran yang dangkal untuk melihat kemampuan manuver robot dan keseimbangannya di dalam air.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot masih mengalami kendala dalam kesetimbangannya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan volume ruang pada lambung depan (*camera housing*) dan lambung belakang (elektronik). Lambung belakang memiliki volume ruang yang lebih besar dibandingkan dengan lambung depan, dengan demikian robot bagian belakang lebih mengapung daripada yang belakang.

Gambar 19 adalah dokumentasi selama pengujian robot di lapangan.



Gambar 19. Pengujian di Lapangan

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan bahwa sistem kendali elektronik robot jelajah bawah air dapat dibuat menggunakan bantuan mikrokomputer Beaglebone Black. Pengambilan gambar bergerak (video) dapat dilakukan dan dapat ditampilkan pada aplikasi berbasis web yang diakses melalui *web browser* pada laptop yang terhubung dengan server. Pengendalian motor servo untuk mengatur sudut pergerakan kamera juga dapat dilakukan dengan baik melalui aplikasi yang dibuat.

Pengujian di lapangan menunjukkan bahwa robot masih mengalami kesulitan dalam melakukan manuver. Robot sulit digerakkan dikarenakan mengalami masalah keseimbangan. Keseimbangan robot didalam air tidak stabil dikarenakan perbedaan volume ruang udara pada lambung depan (*camera housing*) dan lambung depan. Kontrol pergerakan juga masih mengalami kesulitan karena kontrol dilakukan melalui tombol yang ada pada aplikasi di laptop.

6. SARAN

Pengendalian pergerakan robot sebaiknya tidak dilakukan melalui tombol pada aplikasi berbasis web, tetapi melalui *joystick* sehingga lebih mudah. Sehingga aplikasi pada laptop hanya berfungsi sebagai monitor hasil rekaman gambar kamera dan rekaman suhu.

Perlu diperhatikan keseimbangan robot pada saat di air, karena keseimbangan yang baik akan menentukan kemudahan robot bermanuver.

Kamera yang digunakan untuk menangkap gambar sebaiknya menggunakan spesifikasi yang lebih tinggi, terutama pada jumlah piksel keluarannya. Paling tidak diperlukan kamera HD untuk dapat menghasilkan gambar yang lebih baik, terutama pada kondisi air yang keruh atau kurang cahaya.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan manipulator pada badan robot sehingga dapat melaksanakan tugas seperti misalnya mengambil sampel karang dan sebagainya.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M) DIKTI atas pembiayaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noveria, Mita, Aswatini.[2010]. "Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat di Lokasi COREMAP II", Kelurahan Karas, Kota Batam: Hasil BME, Jakarta: CRITC-LIPI.
- [2] Maharbhakti.[2009]. Harlym Raya. "Hubungan Kondisi Terumbu Karang dengan Keberadaan Ikan Chaetodontidae di Perairan Pulau Abang", Batam. Thesis, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [3] Noveria, Mita dan Meirina Ayumi Malamassam, [2010]. Perkembangan Pendapatan Masyarakat di Lokasi COREMAP II, Pulau Abang, Kota Batam, Jakarta: CRITC-LIPI.
- [4] Takemitsu, T., Honda, M., Ogura M., Tasaka, T., Minami, A., Yokomichi, T.,[2011], "System Design and Increment Hardware Development of an Autonomous Underwater Robot "DaryaBird"", AUVSI&ONR's 14th RoboSub Competition Journal Paper, pp.1 to 8.
- [5] Chotikarn, P., Koedsin, W., Phongdara, B., Aiyarak, P. [2010], "Low Cost Submarine Robot", Songklanakarin Journal of Science and Technology, pp. 513-518.
- [6] Sattar, J., Dudek, G., Chiu, O., Rekleitis, I., Giguere, P., Mills, A., Plamondon, N., Prahacs, C., Girdhar, Y., Nahon, M., Lobos, J.P., [2008]. "Enabling Autonomous Capabilities In Underwater Robotics," Intelligent Robots and Systems. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference on , vol., no., pp.3628,3634, 22-26 Sept.
- [7] ATMEL, AVR194. [2008]. Brushless DC Motor Control using ATmega32M1, ATMEL Corporation.
- [8] Hobbyking, http://hobbyking.com/hobbyking/store/_11742_HobbyKing_Brushless_Car_ESC_30A_w_Reverse.html, diakses tanggal 10 November 2014.