

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 13 NOMOR 1

APRIL 2017

Autonomous Underwater Vehicle untuk Survei dan Pemantauan Laut

27-34

Henry M. Manik, Agung D. Syakti, Jales Veva Jaya, Dony Apdillah, Steven Solikin, Angga Dwinovantyo, Rina Fajaryanti, Bagas O. Siahaan, dan Muhammad Sanubari

JRE	Vol. 13	No. 1	Hal 1-64	Banda Aceh, April 2017	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Autonomous Underwater Vehicle untuk Survei dan Pemantauan Laut

Henry M. Manik^{1,3}, Agung D. Syakti², Jales Veva Jaya², Dony Apdillah^{2,3}, Steven Solikin³, Angga Dwinovantyo³, Rina Fajaryanti¹, Bagas O. Siahaan¹, Muhammad Sanubari¹

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor
Gedung Marine Center Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

²Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH), Tanjung Pinang 29111

³Program Studi Teknologi Kelautan Sekolah Pascasarjana IPB
e-mail: henrymanik@ipb.ac.id

Abstrak—Autonomous Underwater Vehicle (AUV) adalah wahana bawah air tanpa awak untuk menjalankan misi tertentu. Sensor yang ada pada AUV diantaranya *side scan sonar*, *single beam echosounder*, *Conductivity Temperature Depth (CTD)*, dan kamera video bawah air. Sensor tersebut dapat dijadikan alat untuk mengetahui kondisi di kolom dan dasar laut. Pengujian gerak dilakukan untuk melihat kestabilan AUV. Data hasil survey AUV di perairan Malang Rapat Tanjung Pinang diolah menggunakan perangkat lunak Neptus. Visualisasi *side scan sonar (SSS)* dibandingkan dengan hasil rekaman kamera video. Pemrosesan sinyal SSS memiliki pola yang dapat diidentifikasi sesuai dengan tampilan video. Karakteristik substrat dasar laut memiliki sinyal yang berbeda. Pengamatan sensor CTD menghasilkan profil suhu dan salinitas perairan. Hubungan antara kenampakan visual kondisi dasar laut hasil video dan hasil citra SSS dapat dijadikan acuan untuk identifikasi habitat bentik.

Kata kunci: *autonomous, hambur balik, kamera video bawah air, side scan sonar, wahana bawah air*

Abstract—Autonomous Underwater Vehicle (AUV) is unmanned submersible platform for a certain mission. The sensor on AUV were including *side scan sonar*, *single beam echosounder*, *Conductivity Temperature Depth (CTD)*, and *underwater video camera*. These sensors were used as a tool to determine the condition of water column and the seabed. AUV data obtained in Malang Rapat of Tanjung Pinang seawater was processed using Neptus software. Motion testing was conducted to see the stability of AUV. Visualization of *side scan sonar (SSS)* was compared to *underwater video camera*. The processing of SSS produce a unique signal pattern and it can be identified according to the video display. Diverse of seabed substrate was followed by different SSS signal. CTD sensor produce water temperature and salinity profiles in the survey area. The relationship between the visual condition of the seabed obtained by *underwater video* and *SSS imagery* may serve as a reference for *benthic habitat identification*.

Keywords: *autonomous, backscatter, underwater video camera, side scan sonar, underwater vehicle*

Copyright © 2017 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Teknologi dan penerapan robot bawah air terus berkembang secara cepat, baik dari sisi kehandalan, jangkauan jelajah maupun harganya [1]. Di dalam teknologi robot, tergabung beberapa tema-tema penelitian yang juga berkembang, seperti teknologi sensor, teknologi motor, teknologi suplai daya, teknologi telekomunikasi, teknologi pengendalian dan teknologi kecerdasan buatan [2]. Perkembangan masing-masing teknologi tersebut saling menyempurnakan untuk mendukung kemajuan teknologi robot [3]. Oleh karena itu, riset di bidang teknologi robot menjadi topik yang memiliki daya tarik yang cukup kuat bagi para peneliti [4].

Perancangan robot bawah air pada umumnya adalah sebuah kegiatan yang amat menantang. Kompleksitas

dan ketidaktahuan yang sempurna tentang lingkungan dan situasi yang akan dihadapi oleh robot adalah suatu kebutuhan yang rumit baik bagi komponen perangkat keras robot maupun perangkat lunaknya [5]. Robot juga harus memiliki kemampuan untuk mempersepsikan keadaan berdasarkan informasi yang didapati dari sensor yang terkadang tidak akurat [6]. Selain itu, robot juga harus mampu mengambil keputusan tentang pergerakannya dalam waktu yang terbatas [7].

Kebutuhan terhadap penelitian bawah air cukup tinggi, khususnya bagi negara-negara yang daerah lautnya memiliki cakupan yang luas, seperti Indonesia. Beberapa urgensi penelitian bawah air, antara lain adalah: kebutuhan terhadap pemeliharaan sumber-sumber air bersih dari pencemaran, pencarian potensi laut dalam, kajian arkelologi bawah air, penyelidikan sains samudera, pemetaan dan

pengukuran bawah air, sehingga tingginya kebutuhan terhadap kajian-kajian untuk melakukan penyelamatan bawah air [8]. Hal ini menyebabkan kegiatan penelitian robot bawah air menjadi salah satu bidang teknologi kelautan yang penting dan terus berkembang [9].

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) merupakan wahana tanpa awak bawah air yang sekarang memiliki berbagai kegunaan. AUV dapat melakukan survey bawah air untuk mengidentifikasi komponen biologi dan fisika bawah air [10]. AUV dapat melakukan pekerjaan yang sulit dilakukan penyelam karena batasan kedalaman dan bahaya yang mengancam nyawa penyelam [11]. Kebanyakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi sedimen di daerah pantai dapat merusak ekosistem dan menghancurkan terumbu. Penggunaan AUV dapat menjadi jawaban untuk mengidentifikasi kondisi bentik perairan pantai [12]. Sensor yang dibawa AUV mencakup ADCP, CTD, echosounder, side scan sonar, dan kamera. Semua sensor ini sangat berguna untuk melakukan survey di perairan [13].

Side Scan Sonar (SSS) adalah salah satu sensor akustik yang dapat menghasilkan output profil intensitas hambur balik dasar perairan [14]. Penggunaannya telah berkembang dalam berbagai bidang kelautan. Aspek geologi dan sedimen perairan dapat disajikan secara detail berkat teknologi SSS [15]. Data yang dihasilkan SSS dapat berupa gambar yang memperlihatkan kekuatan hambur balik objek sehingga mudah diinterpretasi terutama jika didukung data video bawah air.

AUV telah menarik minat banyak penelitian dalam beberapa tahun terakhir. AUV dapat digunakan untuk survei bawah air jangka panjang dan diaplikasikan pada daerah-daerah yang memerlukan pengamatan jarak dekat, misalnya operasi pertambangan, terumbu karang, eksplorasi minyak lepas pantai, atau kecelakaan laut [15]. AUV dirancang secara umum berbentuk torpedo, digerakkan pada medium air dengan sistem propulsi, dikontrol, dan dikemudikan oleh komputer *onboard* dengan gerak manuver *six degree of freedom (DOF)* [16]. Penelitian bawah air menggunakan AUV memberi banyak kemudahan yaitu semua data akan diakuisi secara terpadu sehingga sangat menghemat tenaga dan biaya.

Pada penelitian ini perangkat AUV digunakan untuk eksplorasi sumberdaya dan lingkungan laut perairan Malang Rapat Tanjung Pinang.

II. METODE

Instrumen yang digunakan adalah satu perangkat *Light Autonomous Underwater Vehicle (LAUV)* yang diklasifikasikan sebagai “*One-man portable AUV*” dan dapat dikontrol oleh seorang operator (Gambar 1). Perangkat LAUV yang digunakan telah dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan riset. Adapun konfigurasi LAUV dapat dilihat pada Tabel 1 [17]. Sistem koordinat pada AUV diberikan pada Gambar 2 [1].

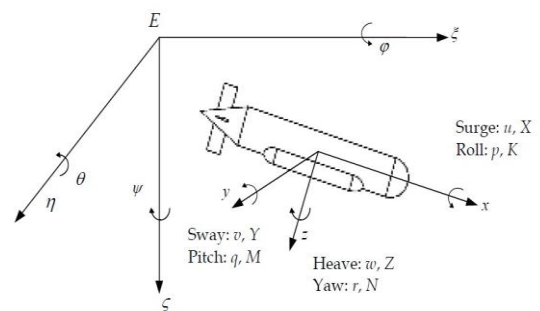
Alat yang digunakan dalam pemrosesan data adalah satu set laptop, perangkat lunak *Neptus 4.3.4_R15.12*,



Gambar 1. Perangkat instrumen LAUV [17]

Tabel 1. Spesifikasi dari LAUV [17]

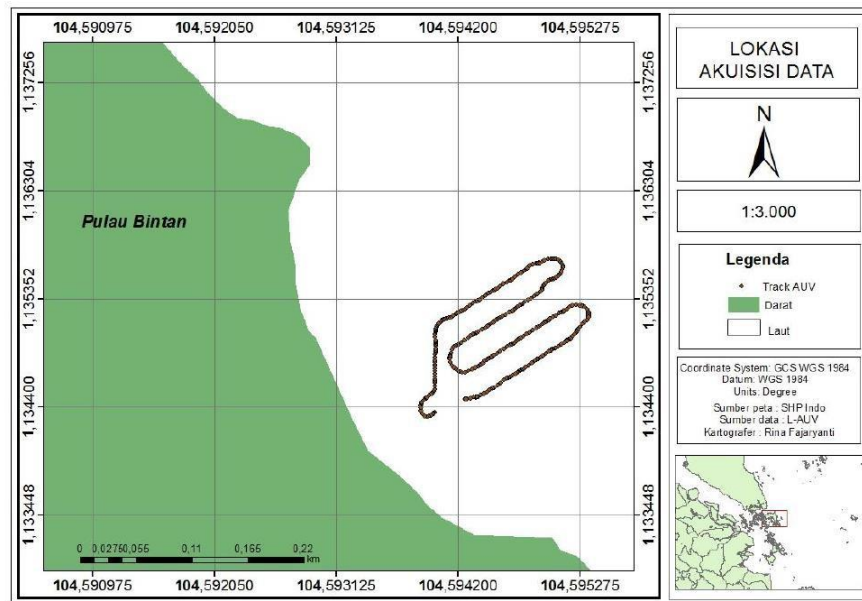
Keterangan	Spesifikasi
<i>Depth rate</i>	<i>Maximum 100 m</i>
<i>Endurance</i>	<i>Up to 8 hours @ 3 knot</i>
<i>Speed</i>	<i>Up to 4 knot</i>
<i>Dimensions</i>	<i>0.15 m hull diameter; 1.9 m length</i>
<i>Weight</i>	<i>25 kg</i>
<i>Power</i>	<i>546 Wh rechargeable lithium-ion batteries; High efficiency DC/DC converters with FET controlled power outputs;</i>
<i>CPU</i>	<i>Low power, fan-less PC104 CPU; 10x RS232 channels; 1x RS485 channel; high speed solid state disk;</i>
<i>Navigation</i>	<i>GPS, AHRS, Depth Sensor</i>
<i>Communication</i>	<i>Wifi; GSM; Acoustic Modem.</i>
<i>Sensor</i>	<i>Side Scan Sonar, Forward Looking Sonar, Single Beam Echosounder, HD Digital Camera, CTD, Water Quality, DVL, LBL</i>



Gambar 2. Sistem koordinat inersial AUV [18]

Surfer 13, Matlab R2010a, ArcMap 10.2.2, dan Ms. Office. Tahapan pelaksanaan pengolahan data yaitu ekstraksi data LAUV, pengolahan data parameter suhu, salinitas, klorofil, dan batimetri perairan.

Akuisisi data dilakukan di Perairan Malang Rapat, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau pada selang koordinat 1.134313° LU–1.135711° LU dan 1.104.5939° BT–1.104.5954° BT menggunakan perangkat *Light-Autonomous Underwater Vehicle (LAUV)*. Tracking AUV dilakukan dengan membentuk seperti huruf S dan berbelok 3 kali (Gambar 3).



Gambar 3. Peta lokasi akuisisi data LAUV di Perairan Malang Rapat, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau

A. Sistem Operasional LAUV

Perangkat LAUV merupakan komponen penting sebagai wahana survei termasuk perangkat lunak Neptus untuk data akuisisi dan sistem komunikasi *gateway* yang dikembangkan oleh Universitas do Porto. Neptus merupakan perangkat lunak yang didesain untuk mendukung pengguna dalam melakukan misi LAUV termasuk perencanaan, desain, simulasi, eksekusi, pemantauan dan data analisis. Komunikasi *gateway* merupakan sebuah hub yang mendukung sistem nirkabel dan komunikasi terhadap LAUV [17].

Baterai charger dan power supply eksternal, LBL *acoustic beacons* dan *acoustic marker receiver* merupakan hal penting dalam pengoperasian LAUV.

Untuk sistem navigasi, LAUV menggunakan sensor tekanan untuk pengukuran kedalaman, GPS, LBL untuk koreksi posisi, kompas dan giro untuk ketinggian, *Doppler Velocity Log* (DVL) dan odometri untuk estimasi kecepatan. LAUV menggunakan IMU iMAR iFOG-1-A dan IMU ADIS 164xx. Selain itu, perangkat ini

menggunakan *acoustic transponders* untuk mengetahui posisi yang akurat saat pemasangan [9].

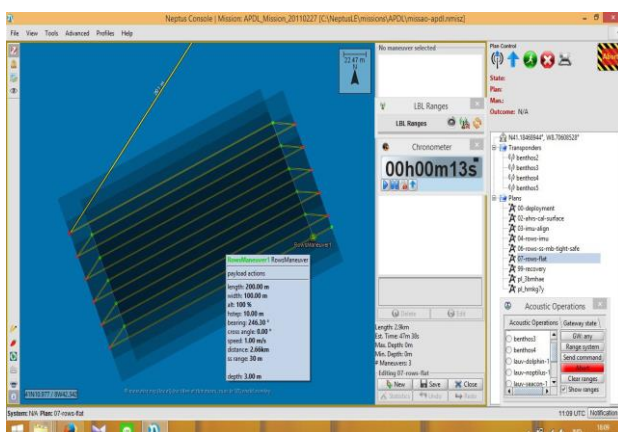
Algoritma deteksi dasar laut dapat diaplikasikan wahana tersebut untuk melakukan pengukuran jarak vertikal ke dasar laut dalam keadaan konstan. Hal ini dilakukan untuk menjaga kualitas data *side scan sonar*, *multibeam sonar* dan kamera. Beberapa algoritma yang dapat dilakukan antara lain: pengukuran kedalaman atau jarak vertikal terhadap permukaan laut menggunakan sensor kedalaman, pengukuran ketinggian atau jarak vertikal ke dasar laut menggunakan DVL, dan pengukuran jarak ke depan (*forward distance*) menggunakan *single beam echosounder* yang di-install pada bagian depan LAUV [10].

B. Perangkat Lunak LAUV

Pengoperasian LAUV didasarkan pada sistem rekayasa bawah air dan teknologi yang berbasis *open source software*. *Inter Module Communications* (IMU) merupakan protokol yang berbasis pesan. Pesan ini dapat diserialkan dan kemudian ditransmisikan menggunakan UDP, TCP atau perangkat komunikasi lainnya yang digunakan untuk pemantauan, *logging*, dan kontrol. Definisi pesan dibuat dalam XML file. Kode pesan kemudian dibangkitkan menggunakan C++ dan Java [11].

Dune Uniform Navigation Environment (DUNE) merupakan perangkat lunak pada wahana LAUV dan ditulis dalam C++ dan kompatibel dengan Linux 2.6+, QNX v6x, Solaris, Mac OS X, eCos, RTEMS, dan Microsoft Windows. Dune terdiri dari beberapa sensor, *estimators*, *monitors*, *supervisors*, *controllers*, dan *transports* (Gambar 4) [12].

Perangkat lunak *command* dan kontrol pada perangkat LAUV adalah Neptus. Perangkat lunak tersebut dapat melakukan pekerjaan sistem *autonomous* yang heterogen, perencanaan misi, eksekusi, review, dan analisis.



Gambar 4. Perangkat lunak dan sistem komunikasi LAUV

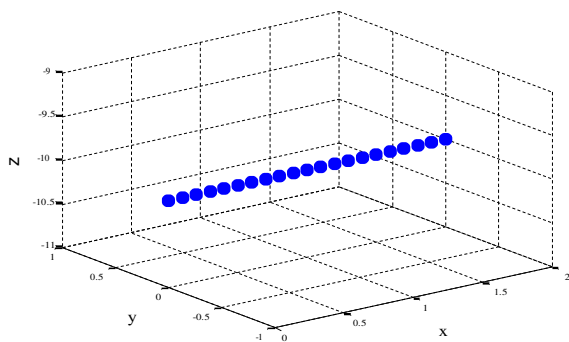
Proses komputasi data dilakukan di Laboratorium Pemrosesan Sinyal Akustik Bawah Air Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

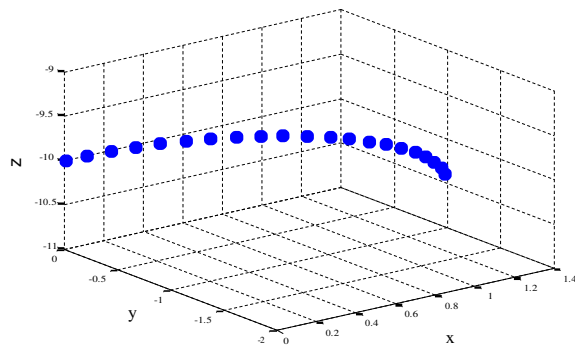
Data akselerasi AUV diproses menggunakan perangkat lunak matlab untuk mendapatkan nilai *pitch*, *roll*, dan *yaw* pada pergerakan AUV. Langkah awal yang dilakukan adalah dengan membuat *syntax* untuk memanggil data dengan format .txt. Data x, y, dan z di plot 3 dimensi untuk melihat fluktuasi dari pergerakan AUV. Hasil plot disimpan dalam format matlab. Gambar 5 menunjukkan pergerakan *surge* AUV dimana AUV bergerak secara translasi, searah dengan sumbu x. Pergerakan ini terjadi dengan hanya mengaktifkan pasangan motor pendorong dengan kecepatan dan arah yang sama.

Pergerakan AUV yang ditampilkan pada Gambar 6 adalah pergerakan *yaw*, yaitu pergerakan rotasi AUV yang bertumpu pada sumbu Z. Pergerakan ini terjadi dengan mengaktifkan motor kiri dan kanan dengan kecepatan yang berbeda, dimana kecepatan motor kanan lebih besar dari kecepatan motor kiri. Akibatnya, terjadi kecepatan rotasi ke kanan.

Gambar 7 merupakan pergerakan AUV ke atas. Hal ini diperoleh dengan mengatur kecepatan motor tengah. Jika kecepatan gerak AUV lebih besar dibanding dengan kecepatan motor pendorong akan didapat pergerakan *up* dengan kecepatan translasi, searah dengan sumbu z.



Gambar 5. Pergerakan *surge* AUV



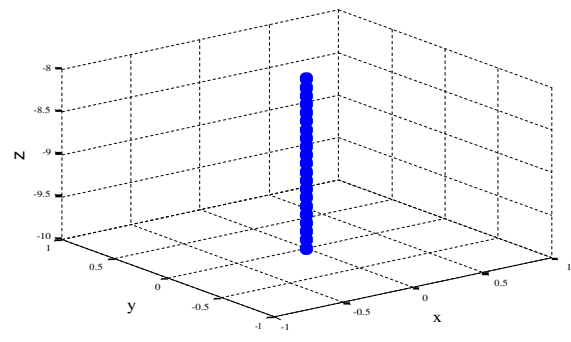
Gambar 6. Pergerakan *yaw* AUV

Gambar 8 merupakan pergerakan AUV ke atas dan membelok. Hal ini didapat dengan mengatur kecepatan motor tengah. Jika kecepatan AUV lebih besar dibanding dengan kecepatan motor pendorong akan didapat pergerakan *up* dengan kecepatan translasi, searah dengan sumbu z. Jika kecepatannya berbeda akan terjadi pergerakan *pitch* dengan kecepatan rotasi yang berporoskan sumbu x.

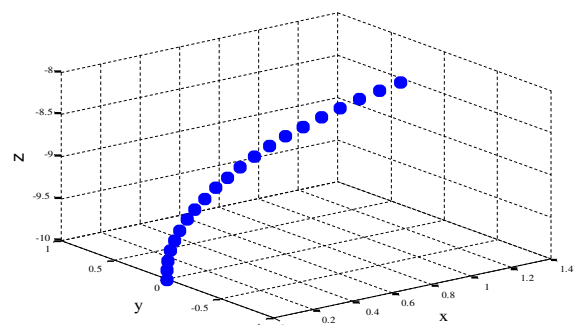
Ekstraksi data AUV bertujuan untuk menghasilkan data sensor AUV dalam format *.csv. Perangkat yang digunakan adalah *Neptus 4.3.4_R15.12*. Tahapan awal dengan menjalankan perangkat lunak *Neptus 4.3.4_R15.12* dan gunakan *Tools-MRA (Mission Review and Analysis)* untuk melihat rekaman data yang telah tersimpan. Pada bagian visualisasi, setiap hasil visualisasi data yang ingin dilihat, misal data CTD maka diagram data CTD terhadap kedalaman akan dimunculkan dan dapat pula disimpan. Untuk melakukan penyimpanan data menjadi berformat *.csv maka perintah yang dilakukan adalah *Tools-Exportes-Exportes CTD data to CSV*. Data yang akan di-export disesuaikan dengan kebutuhan.

Pengolahan peta batimetri perairan Bintang dilakukan pada perangkat lunak *Surfer 13*. Penyiapan data pada *worksheet* berupa bujur (x), lintang (y), dan kedalaman perairan (z).

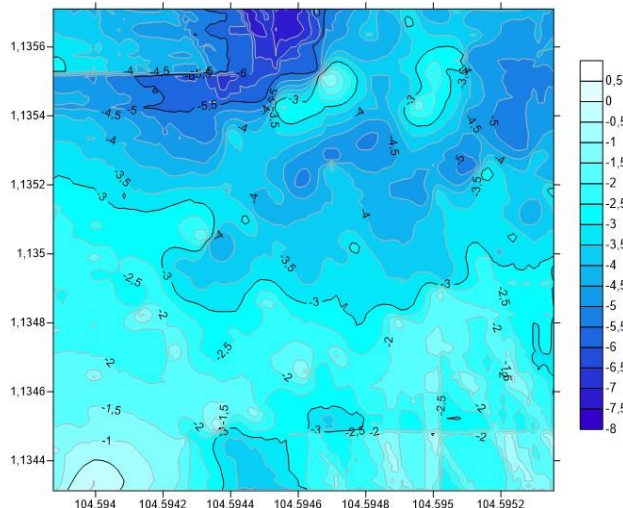
Untuk melihat pola *tracking* AUV, pola grafik suhu dan salinitas terhadap kedalaman, dan pola suhu terhadap nilai klorofil-a di Perairan Malang Rapat, Bintang dapat dilakukan visualisasi atau plot menggunakan perangkat lunak *Matlab R10a*.



Gambar 7. Gerak *up* AUV



Gambar 8. Gerak *pitch* AUV

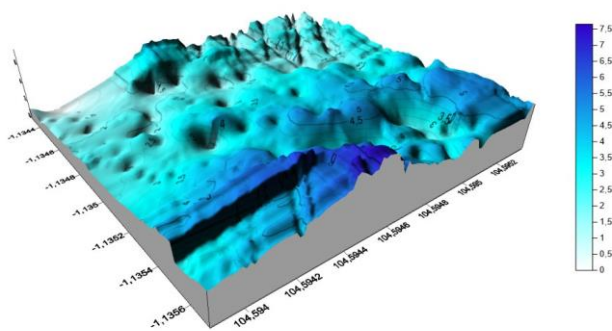


Gambar 9. Profil batimetri 2D perairan Pulau Bintan

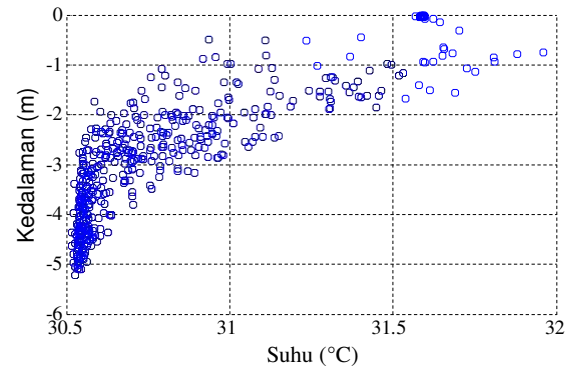
Batimetri perairan dapat diketahui dari data sensor CTD pada LAUV yang diolah dengan memplotkan koordinat lintang, bujur, dan data kedalaman. Batimetri suatu wilayah sangat penting diketahui karena semakin beragamnya aktivitas yang berhubungan dengan laut, seperti pembangunan pelabuhan, pemasangan kabel dan pipa bawah laut, eksplorasi minyak dan gas. Gambar 9 merupakan profil batimetri perairan Malang Rapat, Pulau Bintan. Gradien warna yang semakin gelap menandakan kedalaman perairan semakin bertambah.

Kontur kedalaman perairan secara dua dimensi menunjukkan kedalaman perairan berkisar 0 hingga 5.5 meter. Kedalaman perairan maksimal yang direkam yaitu 5.5 meter dengan rata-rata kedalaman berkisar 2.8 meter. Warna kontur dominan pada biru muda hingga cyan menunjukkan bahwa perairan tersebut sangat dangkal.

Profil batimetri tiga dimensi pada Gambar 10 menginformasikan bahwa dasar perairan relatif datar pada $104.504\text{--}104.5042^\circ$ BT namun pada 1.1354° LS terlihat seperti kenaikan dasar laut dengan kedalaman yang lebih tinggi dibanding wilayah di sekitarnya yang cenderung homogen. Namun fenomena tersebut hanya terjadi pada koordinat 1.1354° LS dan terus membujur hingga 104.5044° , dugaan sementara yaitu adanya cekungan dangkal di wilayah tersebut. Semakin menuju ke arah bujur yang makin ke timur, relief dasar laut mulai



Gambar 10. Profil batimetri 3D perairan Pulau Bintan



Gambar 11. Sebaran menegak suhu perairan

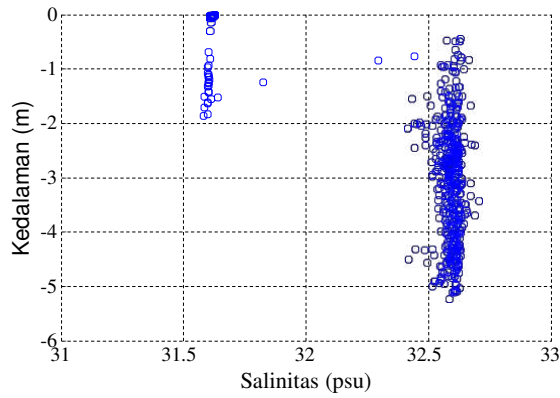
fluktuatif dengan kedalaman relatif homogen yaitu 0.5 hingga 4 meter. Pada koordinat 104.5048° terlihat adanya lembah di perairan tersebut.

Data suhu dan salinitas perairan sekitar Pulau Bintan diperoleh dari akuisisi sensor CTD yang terpasang pada LAUV kemudian ditampilkan dalam bentuk sebaran menegak berdasarkan kedalaman (m) menggunakan perangkat lunak *Matlab* (Gambar 11).

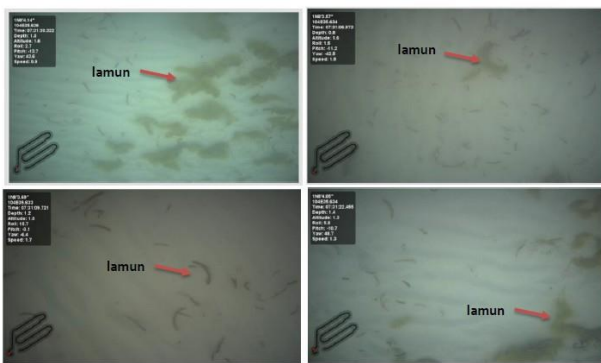
Berdasarkan grafik sebaran vertikal suhu terhadap kedalaman, dapat diketahui bahwa nilai temperatur akan menurun seiring bertambahnya kedalaman perairan. Secara keseluruhan nilai temperatur yang terukur relatif homogen. Pada kedalaman 0-1 meter, temperatur perairan berkisar 31.5° hingga 32.0°C . Pada kedalaman 1-2 meter, suhu berkurang menjadi berada di kisaran berkisar 31.0° hingga 31.5° , dan pada kedalaman 3-6 meter, suhu terus berkurang hingga pada kisaran 30.5° . Suhu suatu perairan dipengaruhi oleh posisi matahari, letak geografis, musim, dan kondisi atmosfer [16]. Faktor lain yang mempengaruhi adalah batimetri perairan dan topografi pegunungan di daratan [18]. Nilai suhu yang terukur di perairan Malang Rapat tergolong tinggi, diduga dipengaruhi cuaca yang panas serta kondisi perairan yang lebih terbuka. Secara vertikal, profil suhu suatu perairan terbagi pada 3 lapisan utama, yaitu lapisan tercampur, lapisan termoklin, dan lapisan dalam. Hasil pengukuran suhu di perairan Malang Rapat menunjukkan bahwa suhu sangat homogen, berada di kisaran 30.5° hingga 32°C . Hal ini lumrah terjadi karena proses pengukuran suhu hanya pada kedalaman 0 sampai 6 meter yang tergolong lapisan homogen/mix layer dengan gradien suhu sangat kecil pada kedalaman dangkal [19].

Secara horizontal, salinitas suatu perairan dipengaruhi oleh pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan, dan air sungai [20]. Secara vertikal, nilai salinitas perairan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman meskipun perubahan itu tidak linear. Pada Gambar 12, terlihat bahwa salinitas pada kedalaman 0-2 meter bernilai 31.6 psu, namun semakin menuju pada kedalaman 6 meter, nilai salinitas berada pada kisaran $32.4\text{--}32.6$ psu. Meskipun perbedaan 1 psu namun hasil penelitian ini membuktikan peneliti sebelumnya bahwa salinitas bertambah tinggi dengan naiknya kedalaman, kebalikan dengan suhu [20].

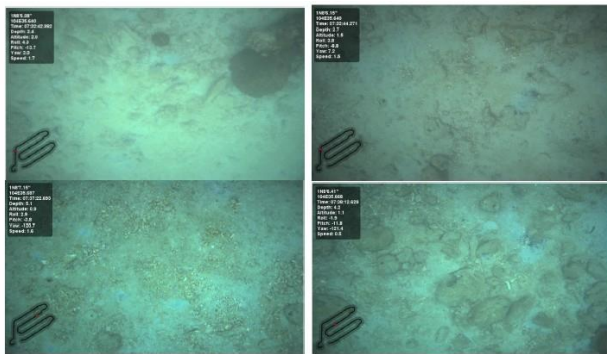
Berdasarkan hasil visualisasi dengan video, tipe substrat perairan Malang Rapat berbeda pada kedalaman



Gambar 12. Sebaran menegak salinitas



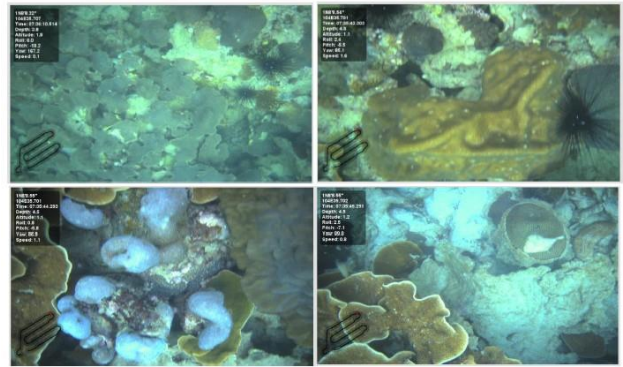
Gambar 13. Lamun dengan sedimen halus terlihat pada hasil video LAUV



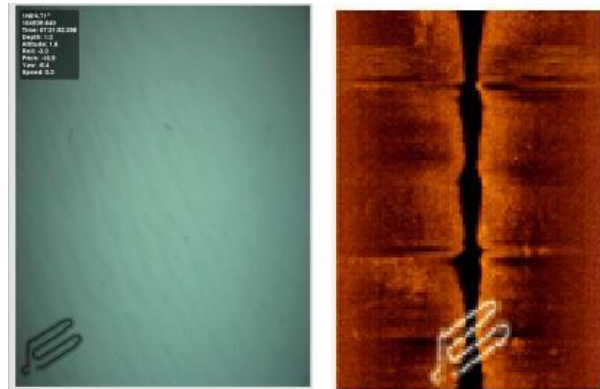
Gambar 14. Substrat rubble yang teramati dari video kamera

yang berbeda. Namun, yang paling dominan adalah pasir berlumpur pada kedalaman yang lebih dangkal. Sedimen yang halus memiliki kandungan bahan organik lebih banyak dibanding substrat yang kasar. Namun secara keseluruhan, kondisi substrat masih layak bagi kehidupan dan pertumbuhan lamun karena umumnya lamun dapat tumbuh pada berbagai macam tipe substrat, namun pada ekosistem padang lamun yang luas umumnya dijumpai pada substrat lumpur berpasir yang tebal [21].

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan 9 jenis lamun di perairan Malang Rapat, yaitu *Cymodocea serrulata*, *Cymodocea rotundata*, *Syringodium isoetifolium*, *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichii*, *Thalassodendron ciliatum*, *Halodule pinifolia*, *Halodule*



Gambar 15. Karang hidup di perairan Malang Rapat



Gambar 16. Tampilan video bawah air dan citra SSS pada sedimen pasir halus

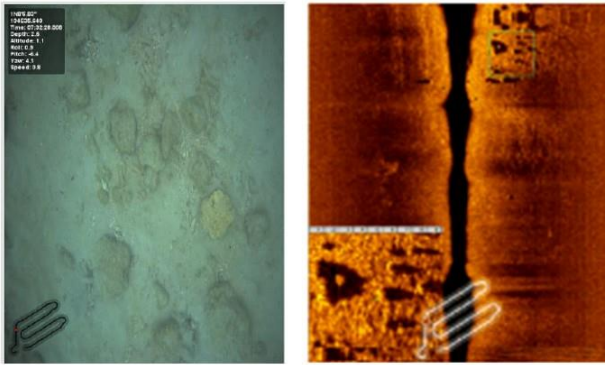
uninervis, *Halophila spinulosa*, *Halophila decipiens*, *Halophila minor*, dan *Halophila sulawesii* [22]. Gambar 13 s.d 15 merupakan karakter habitat dasar laut berdasarkan hasil video bawah air.

Kondisi habitat bentik di suatu perairan dapat diketahui melalui LAUV, yaitu berdasarkan hasil rekaman video selama tracking. Seperti yang terlihat pada Gambar 13 terdapat sekumpulan lamun pada kisaran kedalaman 1 meter di area yang masih dekat dengan daratan. Lamun tersebut tumbuh pada substrat pasir halus, tidak membentuk suatu padang, namun tumbuh jarang dan spesies tertentu terlihat hidup berkelompok.

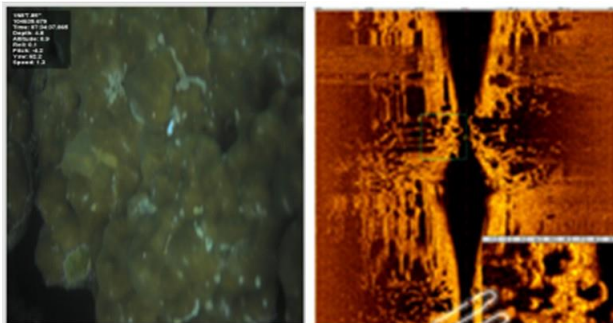
Semakin jauh dari daratan, kedalaman bertambah dan substrat bawah air didominasi oleh rubble, dan ditemukan pada kisaran kedalaman 2 hingga 2.7 meter sampai kedalaman 4.2 meter hingga 5 meter.

Pada kisaran kedalaman 3 hingga 4.5 meter ditemukan terumbu karang hidup dan biota asosiasi yang terlihat adalah beberapa bulu babi yang hidup terpisah. Terumbu karang yang ditemukan cukup banyak, contohnya adalah terumbu karang submassiv, foliose, dan tabular.

Pada perangkat LAUV terdapat instrumen *Side Scan Sonar* (SSS). Instrumen SSS merupakan alat penginderaan jauh (*remote sensing*) untuk memvisualisasi keadaan dasar perairan menggunakan gelombang suara yang di-transmisikan lewat medium air [22]. Dengan menggunakan SSS kita dapat mengidentifikasi profil hambur balik objek dan membandingkannya dengan kenampakan visual melalui video yang ada (Gambar 16, 17, 18).



Gambar 17. Hasil visualisasi pada sedimen pasir halus dengan pecahan karang



Gambar 18. Hasil visualisasi dengan tutupan karang

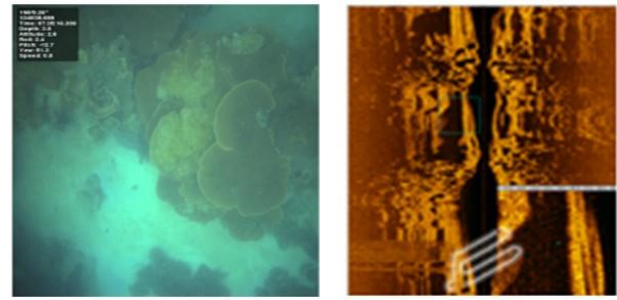
Hasil visualisasi pada sedimen dengan pecahan karang memperlihatkan warna-warna gelap pada hasil SSS yang menunjukkan pecahan-pecahan karang dengan pasir halus di sekelilingnya. Hasil riset ini mendukung peneliti sebelumnya di mana objek yang berada di bawah transduser merefleksikan sinyal akustik dan membuat bayangan pada citra sonar [9].

Objek yang berada dekat dengan AUV seperti karang yang terlihat pada Gambar 15 divisualisasikan pada SSS dengan sinyal yang berada dekat dengan garis tengah. Bagian gelap di tengah visualisasi SSS adalah kolom perairan sehingga apabila objek berada dekat dan tepat di bawah AUV maka akan membuat sinyal yang simetris dekat garis tengah [23]. Bentuk sinyal yang dihasilkan juga menyerupai tampilan visual. Pada Gambar 17 terlihat bentuk bulatan-bulatan seperti kontur asli karang dan pada Gambar 19 bentuk karang pipih ditampilkan dengan sinyal berupa garis vertikal.

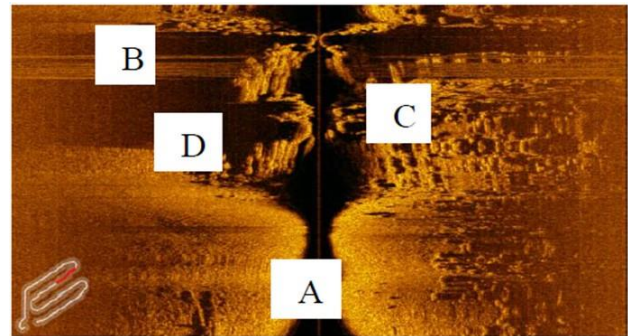
Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa visualisasi SSS memiliki hubungan dengan kenampakan dasar perairan yang diamati. Karakteristik dasar perairan dan terumbu karang terlihat dari pola sinyal yang diterima sensor transduser [24]. Visualisasi SSS menunjukkan pola yang khas pada bagian gelap di tengah yang merupakan kolom perairan. Pola ini disebabkan gerakan naik turun AUV sehingga menyebabkan distorsi seperti pada Gambar 7 [10].

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan uji performa dari LAUV. Pengukuran terhadap parameter laut telah



Gambar 19. Hasil visualisasi pada tutupan karang dengan bentuk pipih



A. Kolom perairan; B. Distorsi akibat gerakan AUV; C. Objek yang sangat dekat dengan AUV; D. Dead zone

Gambar 20. Interpretasi hasil visualisasi SSS

berhasil dilakukan seperti kecepatan suara, temperatur, salinitas. Citra dasar laut menggunakan *side scan sonar* menunjukkan permukaan dasar laut yang kasar. Hal ini didukung oleh gambar dasar laut menggunakan *underwater video camera*. Perangkat LAUV efektif digunakan dalam eksplorasi sumberdaya kelautan.

Analisis data x , y , dan z dapat dilakukan dengan *software Matlab* untuk mendapatkan plot tiga dimensi dan dua dimensi. Analisis dilakukan untuk melihat pergerakan *surge*, *yaw*, *up*, dan *pitch* dari pergerakan AUV.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa suhu perairan berkisar antara 30.5° hingga 32°C , salinitas perairan berkisar 31.5 hingga 32.7 psu, dan konsentrasi klorofil 0.342 hingga $0.389 \mu\text{g/L}$. Semakin dalam, suhu perairan akan menurun dan salinitas akan meningkat. Konsentrasi klorofil akan meningkat seiring bertambahnya salinitas dan berkurangnya suhu. Tipe substrat pada perairan Malang Rapat dibedakan menjadi tiga, yaitu substrat pasir halus dengan ekosistem lamun berada pada kedalaman 0–2 meter di wilayah paling dekat darat, substrat *rubble* atau pecahan karang terdapat pada kedalaman 2 meter dan 4 meter, serta substrat berupa karang keras berada pada kedalaman 3 hingga 5 meter pada area yang jauh dari darat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Tim Peneliti AUV Jurusan Ilmu Kelautan FIKP UMRAH, dan Laboratorium Pemrosesan Sinyal Akustik Bawah Air

Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK IPB. Penulis juga berterima kasih kepada tim reviewer yang memberikan komentar dan saran yang konstruktif untuk meningkatkan kualitas paper.

REFERENSI

- [1] Xiao Liang, Yongjie Pang, Lei Wan and Bo Wang (2009). Dynamic Modelling and Motion Control for Underwater Vehicles with Fins, *Underwater Vehicles*, Alexander V. Inzartsev (Ed.), ISBN: 978-953-7619-49-7
- [2] Blidberg D.R. (1991). Autonomous underwater vehicles: a tool for the ocean, *Unmanned Systems*, Vol. 9, No. 2, 10-15, 1991.
- [3] Xu Y.R. & Xiao K. (2007). Technology development of autonomous ocean vehicle. *Journal of Automation*, Vol. 33, No. 5, 518-521, 2007.
- [4] Giuseppe C. (1999). Robust Nonlinear Motion Control for AUVs. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. pp. 33-38, May 1999
- [5] Peng L.; Lu Y.C. & Wan L. (1995). Neural network control of autonomous underwater vehicles. *Ocean Engineering*, Vol.12, No.2, 38-46, December 1995.
- [6] Johnson AE, Hebert M. Seafloor Map Generation for Autonomous Underwater Vehicle Navigation. In: Junku Yuh GAB Tamaki Ura, editor. *Underwater Robots*. Springer US; 1996. p. 71–94.
- [7] Blondel P. *The Handbook of Sidescan Sonar*. Springer; 2009.
- [8] Singh H, Roman C, Pizarro O, Eustice R. Advances in High Resolution Imaging from Underwater Vehicles. In: Thrun S, Brooks R, Durrant-Whyte H, editors. *Robotics Research*. vol. 28 of Springer Tracts in Advanced Robotics. Springer Berlin Heidelberg; 2007. p. 430–448.
- [9] Kleeman L, Kuc R. Sonar Sensing. In: Siciliano B, Khatib O, editors. *Springer Handbook of Robotics*. Springer Berlin Heidelberg; 2008. p. 491–519.
- [10] Chang YC, Hsu SK, Tsai CH. Sidescan Sonar Image Processing: Correcting Brightness Variation and Patching Gaps. *Journal of Marine Science and Technology*. 2010; 18:785–789.
- [11] Gafurov SA, Klochkov EV. 2015. Autonomous unmanned underwater vehicles development tendencies. *Dynamics and Vibroacoustics of Machines (DVM2014)*. 106(2015): 141-148.
- [12] Gonzalez LA. 2004. Design, modelling and control of an Autonomous Underwater Vehicle [Thesis]. Crawley WA (AU): University of Western Australia. 156 pp.
- [13] Hyakudome T. 2011. Design of Autonomous Underwater Vehicle. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 8(1): 122-130.
- [14] Allota B, Caiti A, Costanzi R, Fanelli F, Fenucci D, Meli E, Ridolfi A. 2016. A New AUV Navigation System Exploiting Unscented Kalman filter. *Ocean Engineering*. 113(1): 121-132.
- [15] Hyakudome T. 2011. Design of autonomous underwater vehicle. *International Journal of Advanced Robotic System*. 8(1) : 131-139.
- [16] Yu Z, Dickey T, Bellingham J, Manov D, Streitlien K. 2002. The application of autonomous underwater vehicles for interdisciplinary measurements in Massachusetts and Cape Cod bays. *Continental Shelf Research*. 22 : 2225-2245.
- [17] LAUV Operation Manual *Release 2.3*. OceanScan – Marine Systems & Technology, Lda Polo do Mar do UPTEC, Avenida da Liberdade 4450-718 Matosinhos, Portugal.
- [18] Kalangi PNI, Mandagi A, Masengi KWA. 2013. Sebaran suhu dan salinitas di Teluk Manado. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*. 9 (2) : 71-75.
- [19] [19] Kitoh A. 2001. Effect of orography on land and ocean surface temperature. *Toyota Conference : Present and future of modelling global environment change toward integrated modelling*. [waktu tidak diketahui]. Shizouka (JP) : 427-431.
- [20] Garisson T. 2004. *Essentials of oceanography*. Cole (AT): Brooks. 352 pp.
- [21] Yu Z, Dickey T, Bellingham J, Manov D, Streitlien K. 2002. The application of autonomous underwater vehicles for interdisciplinary measurements in Massachusetts and Cape Cod bays. *Continental Shelf Research*. 22 : 2225-2245.
- [22] Gafar A. 2013. Struktur komunitas gastropoda kawasan konservasi laut daerah desa Malang Rapat Kabupaten Bintan. [Skripsi]. Bintan (ID): Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- [23] Manik HM, Junaedi L, Harsono G. 2016. Pemrosesan citra *side scan sonar* untuk pemetaan dasar laut pelabuhan Benoa. *JNTEI.5* (2): 93-100.
- [24] Manik HM. 2016. Acoustical Measurement and Biot Model for Coral Reef Detection and Quantification. *Advances in Acoustics and Vibration* 2016, Article ID 2350615: 1-11. doi:10.1155/2016/2350615

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

