

Perkembangan Peran "*Autonomous Underwater Vehicles*" dalam Misi Pencarian dan Penyelamatan: Sebuah Kajian Operasional

The development of "Autonomous Underwater Vehicles" Role in Search and Rescue Missions: An Operational Review

Widiharto¹, Trianggo Budhi Sukarso², dan Achmad Faisol³

^{1, 2, 3}Sekolah Staff dan Komando TNI Angkatan Laut. Jakarta, Indonesia

E-mail: ¹kurosyiwo@gmail.com

Abstrak

Perkembangan wahana robotika bawah air telah mengkerucut pada dua jenis instrument secara umum yaitu, *Remotely operated underwater vehicle* (ROVs) dan *Autonomous underwater vehicle* (AUVs), digunakan untuk menggantikan manusia saat melakukan kegiatan bawah air dalam untuk tujuan komersial, militer, dan ilmiah. Makalah ini menggambarkan secara deskriptif perkembangan AUV khususnya dalam misi pencarian dan penyelamatan (SAR). Dalam perkembangannya, hingga kini sebagian besar teknologi AUV digunakan untuk memantau dan melakukan eksplorasi lautan baik dangkal maupun dalam, namun tidak menutup kemungkinan digunakan sebagai metode pencarian dan penyelamatan (SAR) seperti pada Model SAR M and SAR S *workhorse AUVs* yang digunakan secara bersamaan sebagai "master" dan "slave" untuk mengumpulkan data, serta kalkulasi rute terbaik untuk menemukan serpihan kompartemen pasca kecelakaan dengan menggunakan SAR-A* *path planner*, sehingga waktu pencarian dapat dimanfaatkan secara efisien.

Kata kunci: *Autonomous underwater vehicle* (AUVs), Pencarian dan Penyelamatan (SAR), dan eksplorasi

Abstract

The development of underwater robotics has led to two types of instruments in general, namely, Remotely operated underwater vehicles (ROVs) and Autonomous underwater vehicles (AUVs), which are used to replace humans when carrying out deep underwater activities for commercial, military, and scientific purposes. This paper describes descriptively the development of AUV, especially in search and rescue (SAR) missions. In its development, until now most AUV technology is used to monitor and explore both shallow and deep oceans, but it is possible to use it as a search and rescue (SAR) method such as the SAR M Model and SAR S workhorse AUVs which are used simultaneously as "master" and "slave" to collect data, as well as calculate the best route to find post-accident compartment debris using the SAR-A path planner, so that search time can be utilized efficiently.*

Keywords: Autonomous underwater vehicles (AUVs), Search and Rescue (SAR), and exploration.

1. PENDAHULUAN

Lautan menutupi lebih dari dua pertiga planet Bumi. Hanya setara dengan 15% lautan yang telah dieksplorasi [1], dimana Lautan menyimpan sumber daya yang sangat besar yang dapat memperkaya dan memberi manfaat bagi umat manusia. Ini mendukung rantai makanan penting dan juga menyimpan mineral bernilai tinggi yang menjaga industri dan ekonomi berfungsi [2]. Eksploitasi sumber daya laut yang tersedia sebagian besar terkait dengan penangkapan ikan, pariwisata, dan produksi minyak dan gas lepas pantai, dengan aktivitas terbatas yang sedang berlangsung di pertambangan atau sektor lain dengan kepentingan industri dan masyarakat yang signifikan. Kebutuhan muncul dalam hal inspeksi bawah air yang melibatkan instrument

pengeruman untuk identifikasi instalasi bawah air. Berbagai masalah timbul karena keterbatasan manusia dalam beraktivitas di bawah air, sebagai contohnya adalah bernafas secara bebas. Perkembangan teknologi membawa dampak positif dalam melakukan observasi bawah air, mulai dari instrument snorkel konvensional hingga kapal selam modern [1].

Atas dasar kepentingan bersama, penelitian dan pengembangan mengenai observasi laut seperti lingkungan laut, gempa bumi bawah laut, biota laut, penelitian sumber daya laut dan sebagainya terus berkembang dan dilakukan. Kegiatan tersebut berkembang mencakup penelitian dan survei dengan metode konvensional hingga berteknologi tinggi. Karena manusia hanya mampu melihat keadaan lautan di permukaan, survei dan pengamatan melalui atas kapal dianggap belum memadai [3]. Berkembangnya teknologi pemetaan dalam dua dekade terakhir memungkinkan manusia mampu memonitoring permukaan dan laut dalam berbagai skala spasial dan temporal. Penemuan kendaraan bawah air otonom (AUV) membuat manusia mampu mengeksplorasi lebih jauh pada kedalaman yang tidak dapat dijangkau oleh instrument tradisional, baik pada studi geologi, sumber daya perikanan, maupun alternatif kebencanaan [4].

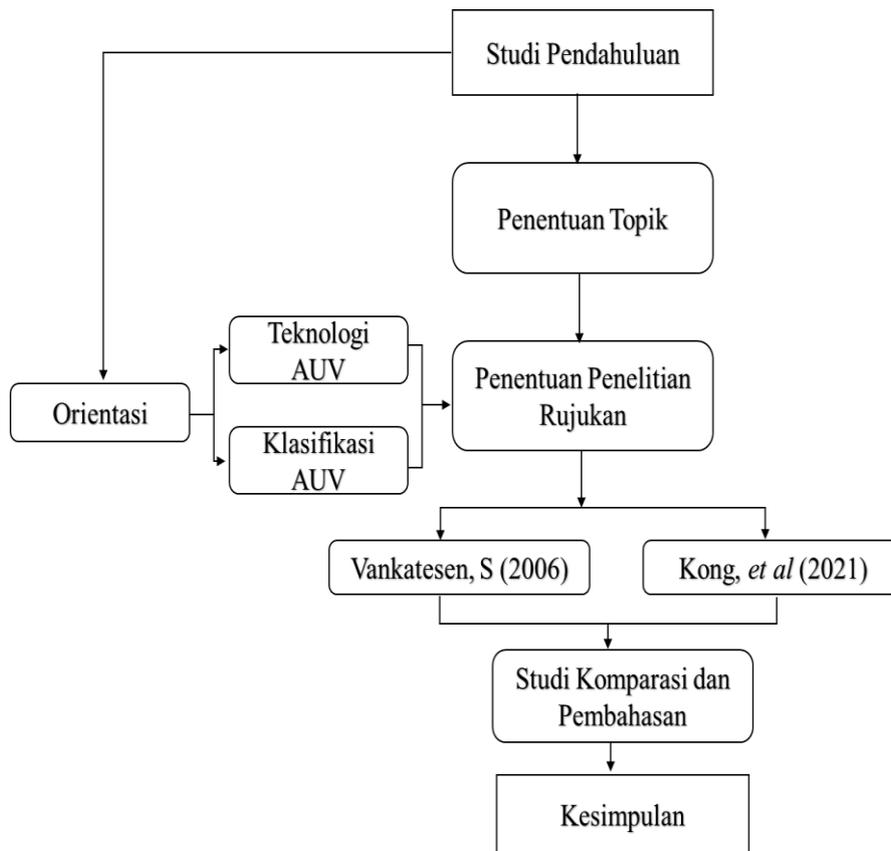
Sejumlah besar AUV dalam beberapa tahun terakhir dirancang dalam berbagai aplikasi di bidang ilmuwan, komersial, dan militer. Pada bidang studi oseanografi, AUV telah menjadi sangat populer untuk mengeksplorasi, mengumpulkan data, dan untuk membuat rekonstruksi atau peta 3D. Di industri minyak dan gas, AUV digunakan dalam kegiatan inspeksi untuk memeriksa dan memperbaiki infrastruktur bawah air dengan potensi besar dalam tugas pencarian, pengenalan, dan identifikasi lokasi kotak hitam pesawat [3,4]. Pelabuhan juga memanfaatkan AUV untuk tugas keamanan pelabuhan dalam berbagai inspeksi lingkungan, pengawasan, dan deteksi ranjau [5]. Selain AUV, *remotely operated vehicle* (ROV) berkembang sejalan dan beriringan. ROV memiliki teknologi untuk terhubung dan dikendalikan dari jarak jauh. Penggunaan ROV saat ini masih terbatas karena berbagai permasalahan yang berhubungan dengan harga operasional, kurangnya operator, dan masalah keamanan. ROV yang berkembang menjadi robot yang otomatis secara penuh dan andal, umumnya disebut *autonomous underwater vehicle* (AUV). Sistem navigasi dan kontrol adalah dua tantangan utama dalam pengembangan AUV [6].

Berdasarkan kapabilitas yang dimiliki, AUV berpotensi digunakan dalam pencarian dan penyelamatan di Laut dengan kondisi yang tidak dapat diprediksi. Teknologi terbaru yang ada pada kapal selam dan mampu diakomodasi oleh AUV dengan sonar untuk menangkap frekuensi sinyal ultrasonik yang dipancarkan oleh kotak hitam untuk operasi pencarian. Pendekatan inovatif baru ini menggunakan *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) multiguna untuk Pencarian & Penyelamatan di laut. Pendekatan matematis dalam beberapa aspek memegang peran penting untuk menemukan subjek yang hilang dan mengambilnya menggunakan AUV[7]. Makalah ini mencoba melihat perkembangan penggunaan AUV dalam berbagai misi pencarian dan penyelamatan, serta menjabarkannya secara komperhensif melalui studi berbasis deskriptif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif deskriptif dengan memfokuskan pada aspek studi literasi dari berbagai lintas waktu. Melalui kegiatan studi literatur dengan melakukan Analisa komperhensif terhadap artikel penelitian terkait dan mengkoneksikannya secara ilmiah untuk mengambil kesimpulan dari perkembangan pemanfaatan AUV, khususnya dalam misi SAR. Pendekatan dilakukan dengan mempelajari berbagai perkembangan teknologi *autonomous underwater vehicle* (AUV) maupun kendaraan tanpa awak bawah air lainnya yang berkaitan. Penelitian dimulai dengan melakukan orientasi atau pemahaman terhadap AUV, secara beriringan menentukan penelitian terkait yang menjadi rujukan. Kemudian, deskripsi komparasi dibuat dan dilakukan Analisa secara deskriptif sehingga dapat melihat sudut pandang yang berbeda dari masing – masing penulis dengan AUV yang diusulkan. Gambar 1 mencoba

memberikan gambaran mengenai metode penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Kerangka kerja penelitian dalam menganalisa perkembangan berbagai macam UAV untuk kepentingan SAR

2.1 Teknologi AUV Masa Kini

AUV modern, sebagai contohnya adalah REMUS 600 dikembangkan oleh *Woods Hole Oceanographic Institution* dengan sistem navigasi inersia ring laser gyro yang terintegrasi penuh dengan *Doppler velocity log* (DVL) memiliki sistem penentuan posisi secara akustik. REMUS 600 dapat melakukan kontrol independen dari sirip yang mampu mengontrol gerakan *yaw, pitch and roll*, ketinggian, kedalaman, dan *track-line following* dengan adanya perangkat lunak autopilot. Sirip depan secara opsional dapat ditambahkan untuk mempertahankan arah lurus dan silang, dimana penjarangan dan stabilitas merupakan hal penting untuk mengoptimalkan kinerja sonar aperture sintetis. Berbagai jenis sensor seperti *synthetic aperture sonar* (SAS), *side scan sonar* (SSS), dan *multibeam echo sounder* (MBES) dapat dimuat dalam platform ini. AUV ini mampu beroperasi selama 24 jam dengan baterai isi ulang lithium-ion dan juga memungkinkan penggunaan sonar untuk menghindari benturan dengan topografi dasar laut [8].

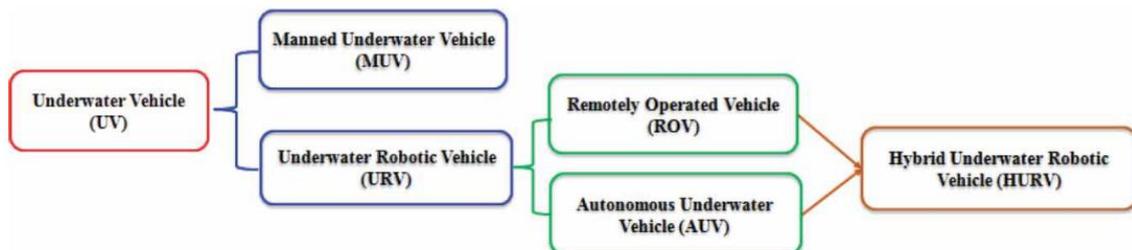
Berbagai sensor yang relevan mampu diakomodasi oleh AUV dalam praktik penelitian geosains kelautan, termasuk instrumen geofisika (MBES, SBP, SSS, magnetometer), instrumen geokimia (sensor redoks elektrokimia), alat pencitraan dasar laut (kamera monokrom atau warna definisi tinggi) dan instrumen oseanografi (CTD, *Acoustic Doppler Current Profilers* (ADCPs)). Elevasi, kecepatan dan daya tahan menjadi satu bagian yang dapat diidentifikasi oleh sensor dalam menentukan geolokasi. Semakin berat instrument yang dibawa dalam kegiatan operasi, maka daya tahan juga semakin berkurang karena kebutuhan energinya yang meningkat, hal ini sejalan

dengan pencitraan dasar laut beresolusi tinggi dengan sistem kamera warna akan mengharuskan AUV terbang lebih lambat dan lebih dekat ke dasar laut [9].

2.2 Klasifikasi Underwater Vehicle (UV)

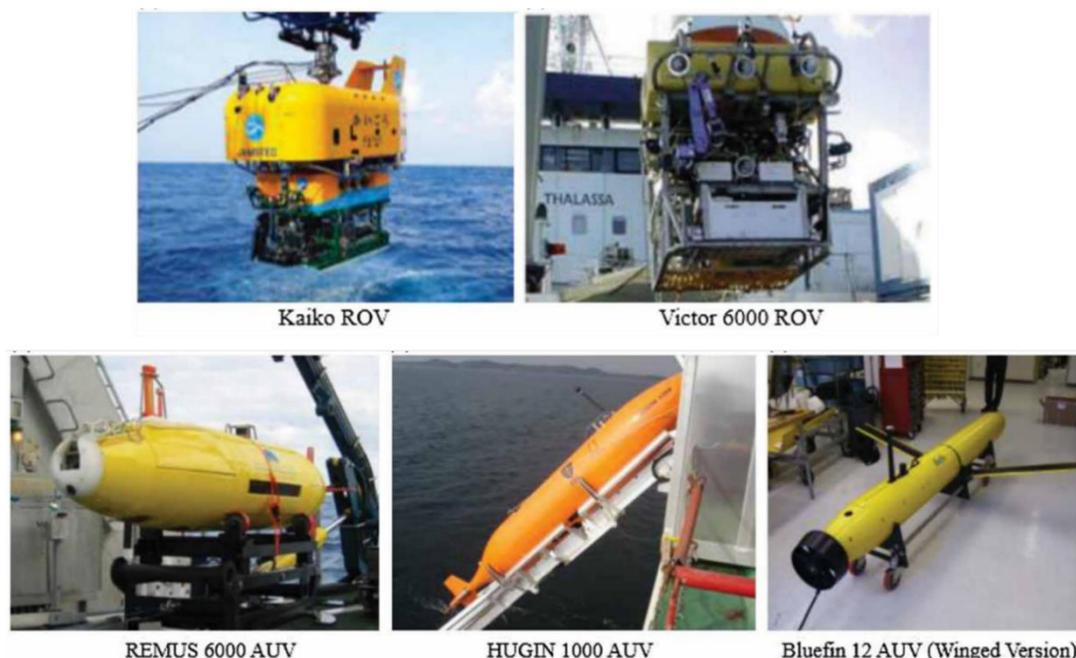
Perkembangan instrument robotika observasi bawah air telah mengerucut pada dua jenis instrument yaitu: *Remotely operated underwater vehicle* (ROVs) dan *Autonomous underwater vehicle* (AUVs), digunakan untuk menggantikan manusia saat melakukan kegiatan bawah air dalam tujuan komersial, militer, dan ilmiah [10];[11]. Sebelum kedua platform tersebut dibangun dan berkembang pesat, versi lebih semi otonom lebih dulu dikembangkan yaitu *Manned Underwater Vehicle* (MUV) dan *Underwater Robotic Vehicle* (URV). ROV memiliki mekanisme yang lebih konvensional dari AUV, karena terhubung secara fisik, melalui kabel pusat, ke operator di kapal selam atau kapal di permukaan. Kabel berfungsi sebagai konektivitas perintah dan penyalur daya secara keseluruhan. Karena kabel ini, ROV dapat beroperasi dengan mudah sehingga banyak digunakan di industri lepas pantai. Penggunaan kabel tersebut berakibat pada terbatasnya ruang gerak dan membuat ROV rentan terjatuh dengan hambatan yang tidak diketahui [12];[13];[11].

Sebaliknya, AUV dirancang untuk bergerak secara otonom tanpa kabel, sehingga bergantung pada kecerdasan yang tertanam secara onboard. Karena sifat otomasinya, perangkat ini mampu beroperasi dengan biaya yang murah karena tidak bergantung pada kapal induk di permukaan. AUV memiliki keterbatasan dalam melakukan tugas intervensi bawah air karena kemampuan intervensi otonom yang sangat sulit. Inovasi berkembang dengan menggabungkan keunggulan ROV dan AUV dalam suatu entitas *Underwater Vehicle* yang muncul dirancang untuk eksplorasi dan intervensi laut dalam. Instrumen tersebut adalah *Hybrid Underwater Remotely Vehicle* (HURV), yang dapat dioperasikan sebagai kendaraan otonom untuk pemetaan/survei bawah air area luas dan dapat diubah menjadi mode ROV yang ditambahkan serat optik ringan untuk pengambilan sampel/intervensi bawah air jarak dekat di area tertentu [11]. Lihat gambar 2 untuk menjelaskan tingkatan pada keluarga *Underwater Vehicle* (UV).



Gambar 2. Klasifikasi keluarga underwater vehicle (UV) secara spesifik [11].

AUV masuk dalam kategori kendaraan tanpa awak, tidak terikat, *self-propelled* bergerak secara mandiri di lautan baik di permukaan ataupun di bawah layer permukaan tanpa kontrol secara *real time* oleh operator di darat dalam waktu yang relatif panjang. Karena lingkungan bawah air yang dinamis, AUV dapat merubah misi sesuai dengan keadaan. AUV juga mendukung berbagai instrument militer seperti ISR Maritim maupun berbagai macam sonar [11]. Terdapat beberapa ROV dan AUV yang memiliki popularitas tinggi di berbagai belahan bumi, seperti Kaiko ROV dari Jepang, Victor 6000 dari hasil kerjasama Perancis dan Jerman (untuk ROV), serta untuk AUV terdapat REMUS 6000 dan HUGIN 1000 dari Norwegia, serta Bluefin 12 dari Amerika Serikat.



Gambar 3. Berbagai macam contoh *Underwater Vehicle* (UV) masa kini (sumber: [11])

Kaiko ROV menjadi instrumen survei laut dalam di dunia sejak 1995 yang dikembangkan oleh *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC) [11]. Kaiko ROV mampu melakukan penyelaman hingga kedalaman lebih dari 10.000 meter di bawah permukaan laut. Kaiko merupakan perangkat dengan sistem dua tubuh utama dengan penggerak yang lebih kecil yang menempel pada peluncur saat proses pelepasan. Spesifikasi dari peluncur Kaiko adalah memiliki panjang 5,2 meter, lebar 2,6 m, dan tinggi 3,2 m, serta memiliki fungsi selayaknya pemberat (5,8 ton di udara) untuk membantu proses menyelam menuju kedalaman. Platform Kaiko ROV dilengkapi dengan sonar pemindaian samping, sistem profil bawah, dan paket sensor (CTD). Kaiko ROV dilengkapi dengan tambatan sepanjang 250 meter yang untuk keperluan memudahkan peluncuran, serta memungkinkan ROV melakukan perjalanan yang relatif pendek [14]. The Victor 6000 merupakan perwakilan khas dari ROV secara ilmiah. Proyek ini diinisiasi bersama antara Prancis-Jerman, Institut Penelitian Prancis untuk Eksploitasi Laut (IFREMER) menggunakan basis ROV Prancis untuk meluncurkan "Victor 6000" [11];[15]. Victor mampu menyelam hingga kedalaman 6000 meter, serta memungkinkan akuisisi dan penyiaran citra optis serta dirancang untuk membawa dan memanfaatkan berbagai instrumen dan peralatan survei [11].

Remote environmental monitoring units (REMUS) adalah AUV dengan biaya relatif rendah yang dirancang dan bangun oleh *Oceanographic Systems Lab* untuk kegiatan survei dan pemetaan, serta melakukan ekspedisi berdasarkan metodologi survei di suatu area untuk memperoleh sampel di perairan [11], serta pencarian berfokus pada wilayah bawah air dan pemetaan dasar laut [16]. AUV HUGIN, menjadi salah satu AUV dengan fungsi ganda pada aplikasi sipil dan militer, yang dikembangkan oleh *Kongsberg Maritime* dan Badan Penelitian Pertahanan Norwegia. Saat ini, keluarga HUGIN terdiri dari tiga model dasar: HUGIN 1000, HUGIN 3000 dan HUGIN 4500, dimana nomor seri mewakili kedalaman yang dapat dijangkau oleh masing – masing instrument [11].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemanfaatan Auv Dalam Bidang Sar (*Search and Rescue*)

Sistem yang dibawah oleh AUV (*Autonomous underwater vehicle*) memungkinkan untuk digunakan dalam berbagai keadaan selain operasi penelitian maupun militer, yaitu operasi

berbasis SAR (*Search and Rescue*) untuk misi penyelamatan yang lebih cepat dan efisien dalam mencari berbagai serpihan informasi yang tersebar di lautan setelah terjadinya sebuah insiden kecelakaan. Beberapa peneliti telah mengembangkan perangkat dan metode dalam menunjang kegiatan SAR memanfaatkan AUV. Perlu dipertimbangkan terdapat tujuh faktor dipertimbangkan dalam desain kendaraan bawah air, diantaranya adalah daya apung, redaman hidrodinamik, stabilitas, Coriolis, massa tambahan, tekanan dan faktor lingkungan [7].

3.1.1 Model SAR M and SAR S workhorse AUVs

Gagasan ini dikembangkan [7] dengan proporsi bentuk yang memiliki kemiripan dengan torpedo dari kapal selam untuk meminimalkan drag dan dapat dimodifikasi sesuai dengan perkembangan teknologi. Bentuknya yang tanpa celah membuat AUV ini terbebas dari intrusi air, kecuali lambung yang rentan terhadap tekanan tinggi, dimana unit ini adalah lokasi yang menampung baterai, unit navigasi, CPU, dan sensor elektronik. Efisiensi hidrodinamika diperoleh melalui bantuan faring luar yang terbuat dari plastik ABS namun tidak memberikan dukungan struktural apa pun. SAR M memiliki pendamping instrument yang disebut sebagai SAR S (*slave*). Sebagai master (*SAR M*) memiliki panjang 5 meter dan Enam AUV (*SAR S*) memiliki panjang 2 meter yang bekerja beriringan dan saling mendukung untuk melakukan akuisisi data. Mekanisme ini membuat perangkat AUV terkoordinasi dalam menjalankan satu tugas sehingga efisiensi dapat diperoleh. Dengan efisiensi waktu, maka penggunaan daya dan logistik akan lebih hemat apabila dibandingkan menggunakan AUV satuan.

Sebagai satu bagian *Master* dan *Slave* dapat berfungsi sebagai substitusi, sehingga saat AUV tidak berfungsi, operasi SAR akan tetap berjalan. Kecerdasan buatan berperan banyak dalam sistem yang diusulkan tersebut, AUV akan mampu melakukan "*team-work*". Dalam segi komponen, SAR M dan SAR S AUV identik satu sama lain dalam struktur bentuk, dan muatan. Kedua instrument SAR M dan SAR S mampu membangun susunan grafis dari gambar sonar, citra berwarna dan data *co-location*. Konektivitas dan transfer data dilakukan dengan menggunakan modem akustik yang mampu mengirimkan data dan mampu menyimpan data di komputer portabel yang terpasang mengingat modem akustik mungkin tidak akan dapat mentransfer sebagian besar pengumpulan datanya secara *real-time*. Lihat gambar 3 untuk menjabarkan diagram skematik penyusunan AUV SAR M dan SAR S.

Metode pertama dalam penrolean posisi serpihan yang hilang dilaut akan diidentifikasi melalui pendekatan model matematis dengan menggunakan berbagai teknik seperti teknik Monte Carlo yang menggunakan pendekatan Probabilitas. Data yang telah direkam dan diakuisisi di dalam air akan tertampil nantinya dalam *SAR-MAP*, yaitu instrument pencarian berbasis simulasi pada web yang dikembangkan menggunakan semua input hasil akuisisi diantaranya geo-lokasi terakhir ditransmisikan dan parameter perairan di sekitarnya seperti angin, arus, gelombang, dan lain sebagainya, sehingga dapat memodelkan kemungkinan pergerakan puing hasil kecelakaan transportasi dan menemukan lokasinya secara tentatif. Pada kasus di perairan dalam, walaupun secara konvensional patrol sangat sulit dilakukan, pencarian benda hilang di laut dalam tetap dapat dilakukan dengan menggunakan teknik Monte Carlo dan memanfaatkan *MAP-SAR* dalam penentuan posisi awal yang relatif lebih mudah sehingga tim pencari dapat mempersempit area pencarian menjadi lebih kecil dan komperhensif dalam skala dan pergerakan pencarian di permukaan laut. Pemilihan metode kalkulasi secara statistik matematis, berlandaskan algoritma, simulasi, dan robot multiguna yang tepat, tim *Search and Rescue* (SAR) dapat memanfaatkan sepenuhnya instrumen AUV dengan multi komponen untuk meningkatkan efisiensi tindakan. Secara konsep, Ketika sebuah entitas bergerak menuju stasiun tujuan, membuktikan bahwa distribusi kerapatan yang mungkin mengikuti distribusi Gaussian. Distribusi Gaussian dideskripsikan sebagai posisi terakhir yang dapat diidentifikasi, yang berhubungan dengan probabilitas ditemukannya puing – puing komponen hasil insiden yang tersebar. Pada dasarnya setiap puing yang tersebar akan mengikuti karakteristik air disekitarnya sehingga dapat diprediksi

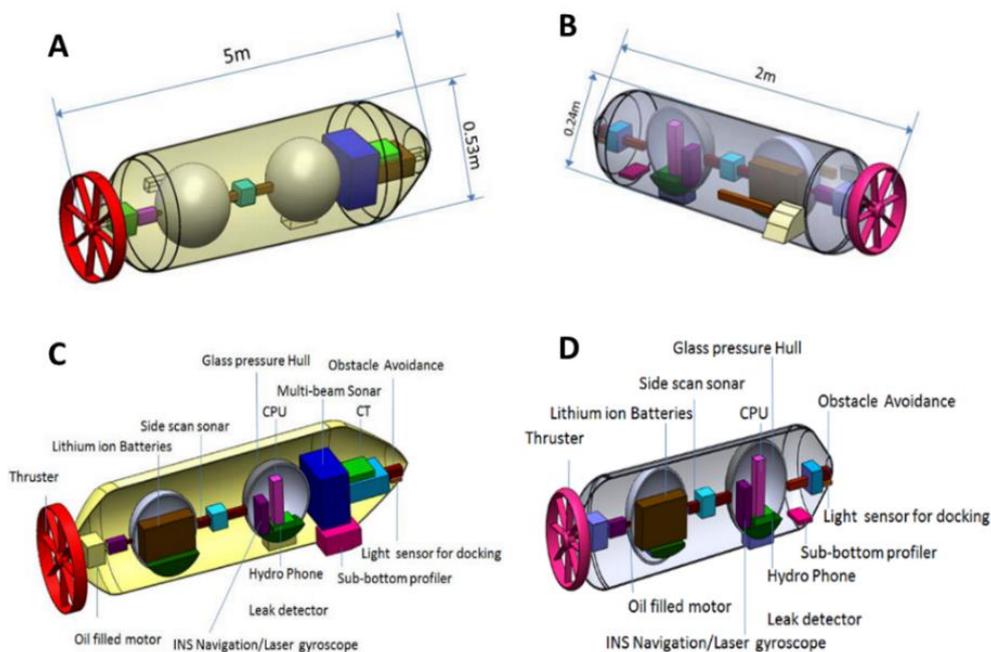
dan dikalkulasikan secara matematis. Running tambahan dari model Monte Carlo ini dapat mengurangi interval kepercayaan [7]. Melalui sifat dari metode Monte Carlo, sistem akan mampu mensimulasikan berbagai situasi melalui pendekatan matematis.

3.2 Pendekatan Jalur Pelcakan Berbasis SAR-A* *path planner*

Pendekatan ini dikembangkan oleh [17]. Melalui pendekatan perencanaan jalur online bernama algoritma SAR-A* digunakan untuk misi SAR skala besar. Secara umum Pendekatan ini membagi proses misi menjadi 3 langkah:

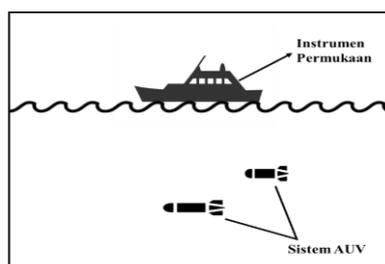
1. Menguraikan area tugas menjadi multi *hexagon grids*,
2. Menetapkan model probabilitas kehadiran target dan model kemampuan detektif sistem sesuai dengan informasi praktis sebelumnya, dan
3. terus menerus menentukan titik jalan berikutnya sampai benar-benar menutupi area tersebut.

Dalam pemilihan jalur akuisisi data terdapat spesifikasi yang harus dipenuhi, dimana kriteria untuk memilih titik jalan berikutnya adalah sudut belok yang lebih kecil, jarak yang lebih pendek, dan kemungkinan yang lebih tinggi untuk menemukan target/serpihan komponen pasca kecelakaan. Dalam metode yang diusulkan oleh [17], upaya yang signifikan telah dilakukan sebagai bagian dalam menerapkan dan menguji rencana jalur SAR-A* yang diusulkan untuk AUV yang digunakan dalam misi *Search and Rescue* (SAR) skala besar. Pada setiap misi SAR, karakteristik instrumen yang dibawa secara umum berbeda menyesuaikan dengan kondisi medan dan topografi lautnya, perencanaan jalur yang akan dibuat menghasilkan rekomendasi jalur yang memadai berdasarkan kerangka kerja algoritma A* dengan belokan yang lebih sedikit, jarak tempuh yang lebih pendek, dan probabilitas yang meningkat dengan cepat dalam mencapai lokasi puing kecelakaan. Metode yang dibangun dan akan digunakan memberikan jaminan cakupan yang lengkap, selain itu, kepercayaan yang lebih tinggi dari posisi puing kecelakaan juga diperoleh dikalkulasi dari lokasi terakhir kendaraan diperoleh. Perkembangannya di beberapa waktu ke depan, sistem multi-AUV akan diterapkan pada misi SAR skala besar untuk efisiensi jarak terhadap produksi [17].



Gambar 4. Diagram skematik (a) Master (b) Slave (c) Penampang Master (d) Penampang dari slave.

Dengan berkembangnya banyak instrument/perangkat maupun pendekatan berbasis komputasi untuk mengoptimalkan peran AUV dalam misi penarian dan penyelamatan (SAR), sehingga diharapkan dapat mempercepat segala proses yang diperlukan dan meminimalisir kerugian. Metode pencarian dan penyelamatan (SAR) tetap memerlukan campur tangan langsung dari manusia dan berbagai perangkat pencarian yang tertanam pada kapal di permukaan. Perangkat pencarian yang ada di permukaan akan menjadi tumpuan utama dalam operasi pencarian karena memegang komando baik secara administrasi maupun secara teknis, dan akan didukung secara penuh oleh instrumen AUV maupun ROV yang bergerak di bawah permukaan laut. Dengan begitu, diharapkan proses pencarian dan penyelamatan (SAR) akan lebih efisien dan optimal.



Gambar 5. Proses SAR dengan melibatkan armada dan sistem AUV

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam mendukung operasi SAR, banyak teknologi bawah air telah dikembangkan baik berupa instrument maupun pendekatan berbasis komputasi. Hingga kini sebagian besar teknologi AUV digunakan untuk memantau dan meneliti lautan baik dangkal maupun dalam, namun tidak menutup kemungkinan digunakan sebagai metode pencarian dan penyelamatan (SAR) seperti pada Model *SAR M and SAR S workhorse AUVs* yang digunakan secara bersamaan sebagai “master” dan “slave” untuk mengumpulkan data, serta kalkulasi rute terbaik untuk menemukan serpihan kompartemen pasca kecelakaan dengan menggunakan *SAR-A* path planner*, sehingga waktu pencarian dapat dimanfaatkan secara efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat, khususnya Perwira Siswa (Pasis) Pendidikan Reguler ke 60, Sekolah Staff dan Komando TNI Angkatan Laut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Papaalias, “Autonomous underwater vehicles : Instrumentation and measurements,” *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, no. May, 2020, doi: 10.1109/MIM.2020.9062680.
- [2] S. Chuan and J. J. Leonard, “Modeling and Simulation of the Autonomous Underwater Vehicle , Autolycus,” MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999.
- [3] T. Hyakudome, “Design of Autonomous Underwater Vehicle,” *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 122–130, 2011.
- [4] G. B. Skomal, A. Kukulya, and R. Stokey, “Subsurface observations of white shark *Carcharodon carcharias* predatory behaviour using an autonomous,” pp. 1293–1312, 2015, doi: 10.1111/jfb.12828.
- [5] G. Alfonso and E. Cuan-urquizo, “Autonomous Underwater Vehicles: Localization, Navigation, and Communication for Collaborative Missions,” 2020.
- [6] M. Afif, N. Habibullah, E. M. Budi, and E. Ekawati, “Pemodelan dan Rancang Bangun Autonomous Underwater Vehicle dengan Enam Propeller,” no. 3, pp. 10–11, 2015.
- [7] S. Venkatesan, “Auv For Search & Rescue At Sea – An Innovative Approach,” *IEEE*, pp.

- 1–9, 2016.
- [8] H. Uchihori, “The future of autonomous underwater vehicle control,” no. July, pp. 2–7, 2021, doi: 10.1002/adc2.86.
- [9] R. B. Wynn *et al.*, “Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): Their past , present and future contributions to the advancement of marine geoscience Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): Their past , present and future contributions to the advancement of marine geoscience,” *Mar. Geol.*, vol. 352, no. January 2015, pp. 451–468, 2014, doi: 10.1016/j.margeo.2014.03.012.
- [10] G. Meinecke, J. Albiez, S. Joyeux, V. Ratmeyer, and J. Renken, “OROCOS based control software of the new developed MARUM Hybrid-ROV for under-ice applications,” no. May 2014, 2013.
- [11] X. Xiang, Z. Niu, L. Lapierre, and M. Zuo, “Hybrid underwater robotic vehicles : the state-of- the-art and future trends,” *HKIE Trans. ISSN*, vol. 22, no. 2, pp. 103–116, 2015, doi: 10.1080/1023697X.2015.1038322.
- [12] F. . Azis, M. S. . Aras, M. Z. . Rashid, M. . Othman, and S. S. Abdullah, “Problem Identification for Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV): A Case Study,” *Int. Symp. Robot. Intell. Sensors 2012 (IRIS 2012)*, vol. 41, no. Iris, pp. 554–560, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.211.
- [13] N. Sakagami *et al.*, “Development of a Human-Sized ROV with Dual-Arm,” *IEEE – Sydney. Proceedings; 2010 May 24–27; Syd- ney, Aust. Washington, DC IEEE Comput. Soc. 2010.*, 2010.
- [14] J. P. Barry, “Revisiting the Challenger Deep using the ROV Kaiko,” *Mar. Technol. Soc. J.*, vol. 43, no. 5, pp. 95–96, 2009.
- [15] F. Ferreira, R. Petroccia, and J. Alves, “Increasing the operational safety of Autonomous Underwater Vehicles using the JANUS communication standard,” in *Proceedings of the 2018 IEEE OES Autonomous Underwater Vehicle (AUV), Porto University, Portugal: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World*, 2019, no. May.
- [16] F. Jaffre, R. Littlefield, M. Purcell, and M. Grund, “Autonomous Underwater Vehicle,” *Ocean. 2019 - Marseille*, pp. 1–7, 2019.
- [17] J. Kong *et al.*, “An AUV Path Planner for Large-scale Search and Rescue based on A * Algorithm An AUV Path Planner for Large-scale Search and Rescue based on A * Algorithm,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2050, no. 012017, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2050/1/012017.