

KONSEPSI PENGGUNAAN AUV SEBAGAI *UNDERWATER SURVEILLANCE* GUNA MENINGKATKAN KEAMANAN BAWAH AIR DI ALKI

Vania Ophira Simorangkir¹⁾, Nurul Muchlis²⁾, Umi Salamah³⁾, Ari Trijurini⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)} Akademi Angkatan Laut

email: umi_aal@yahoo.com

Abstrak

Kekuatan militer berbagai negara pada era sekarang banyak mengeluarkan biaya dan tenaga untuk meneliti dan mengembangkan teknologi yang bersifat otomatis, *multifaceted*, dan efektif. Dalam segi maritim, perkembangan ini menyulut maraknya ketertarikan angkatan laut berbagai negara terhadap teknologi bawah air seperti kapal selam dan *unmanned underwater vehicle* (UUV). Kapal selam modern mampu bergerak dengan kecepatan tinggi dan kebisingan yang sangat rendah, serta mampu membawa persenjataan yang memiliki daya hancur yang sangat besar dan dapat melaksanakan operasi penyelaman dalam waktu yang lama. UUV modern saat ini telah memiliki kemampuan untuk melaksanakan berbagai macam operasi, termasuk pengawasan, peletakan ranjau, survey bawah air, bahkan mampu mengangkut persenjataan dengan jarak jangkauan mencapai ribuan kilometer. Tidak dapat dipungkiri, perkembangan-perkembangan yang terjadi di angkatan laut negara lain tersebut menjadi ancaman nyata bagi Indonesia. Untuk menghadapi hal tersebut diperlukan adanya sistem pengawasan bawah air di perairan Indonesia, khususnya di perairan laut dalam yang rawan digunakan untuk operasi-operasi rahasia negara lain seperti ALKI. Sistem pengawasan bawah air ini perlu memanfaatkan perkembangan teknologi yang ada agar dapat melaksanakan tugasnya secara efektif dan kontinu, yaitu dengan memanfaatkan *autonomous underwater vehicle* (AUV). Memanfaatkan AUV dalam sebuah sistem pengawasan akan menghemat banyak biaya karena tidak akan menghabiskan *budget* untuk logistik, personil, dan perawatan serta *sparepart* yang mahal. Penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan menggunakan *mixed method* dengan produk hasil penelitian dalam bentuk konsep. Dalam konsep sistem pengawasan bawah air ini AUV akan melaksanakan pengawasan terhadap kontak bawah air di sepanjang perairan ALKI II menggunakan sensor dan *software* dalam AUV secara otomatis

Kata kunci : *Automatic Underwater Vehicle*, Pengawasan Bawah Air, ALKI II

Abstract

The military forces of various countries in this era spend a lot of money and energy to research and develop automatic, multifaceted and effective technologies. From a maritime perspective, this development has fueled the interest of the navies of various countries in underwater technology, such as submarines and unmanned underwater vehicles (UUV). Modern submarines are capable of moving at high speed and with very low noise, and are capable of carrying weapons that have enormous destructive power and can carry out dive operations for a long time. Today's modern UUVs have the ability to carry out various operations, including surveillance, laying mines, underwater surveys, and even being able to transport weapons with a range of thousands of kilometers. Undeniably, these developments in other countries' navies pose a real threat to Indonesia. To deal with this, it is necessary to have an underwater surveillance system in Indonesian waters, especially in deep sea waters which are prone to being used for covert operations by other countries such as ALKI. This underwater surveillance system needs to take advantage of existing technological developments to carry out its duties effectively and continuously, namely by utilizing an autonomous underwater vehicle (AUV). Utilizing the AUV in a surveillance system will save a lot of money because it

will not spend on logistics, personnel, maintenance, and expensive spare parts. This research is research and development using a mixed method with research products in the form of concepts. In the concept of this underwater surveillance system, the AUV will automatically carry out surveillance of underwater contacts along ALKI II waters using sensors and software in the AUV.

Keywords: *Automatic Underwater Vehicle, Underwater Surveillance, ALKI II*

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan luas perairan sebesar 5.900.000 km² dari 8.300.000 km² total luas wilayah negara, dengan posisi geografis yang strategis di antara dua samudera (Pasifik dan Hindia) dan dua benua (Asia dan Australia). Indonesia memiliki empat *choke points* yang menjadi jalur pelayaran internasional yaitu Selat Lombok, Selat Ombai, Selat Malaka, dan Selat Sunda. Posisi geografis Indonesia yang berbatasan dengan sepuluh negara ini memiliki peran penting sebagai mediator pelayaran internasional yang kita kenal sebagai *Sea Line of Communication* atau SLOC dan *Sea Line of Trade* atau SLOT (Marsetio, 2018)

Sesuai UNCLOS 1982, suatu negara kepulauan wajib memberikan hak lintas damai kepada kapal-kapal negara asing (art. 52 par 1) dan diperbolehkan membentuk jalur khusus untuk hal itu (art 53 par 1). Berdasarkan ketentuan tersebut dibentuklah tiga Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) sebagai jalur bagi negara asing melintas melalui Indonesia; ALK I, ALK II, ALK IIIA dan cabang-cabangnya: ALK IIIB-E (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002 Tentang Hak Dan Kewajiban Kapal Dan Pesawat Udara Asing Dalam Melaksanakan Hak Lintas Alur Laut Kepulauan Melalui Alur Laut Kepulauan Yang Ditetapkan, 2002).

Sesuai dengan tugas pokoknya, TNI AL bertanggung jawab atas pertahanan, penegakan hukum, serta keamanan wilayah laut yuridiksi

nasional (Undang-Undang Replublik Indonesia Nomor 34 Tahun 2004 Tentang Tentara Nasional Indonesia, 2004). Ketetapan ini menjadi alasan dasar tanggung jawab TNI AL terhadap keamanan ALKI. ALKI sebagai jalur yang dapat dilintasi oleh seluruh jenis transportasi air termasuk kapal selam militer negara asing memiliki tingkat kerawanan dari segala aksis, termasuk bawah air.

Era perkembangan teknologi yang pesat mengakibatkan ancaman bawah air menjadi sesuatu yang seharusnya ditanggapi dengan serius. Berbagai negara di Asia terus melakukan pembaharuan kapal selam yang lebih mutakhir dengan membuatnya menjadi lebih sulit terdeteksi, rendah *noise*, dan dipersenjatai torpedo dan misil dengan jarak jangkauan yang lebih jauh. Dari tahun 2003 hingga 2010 di Asia telah dibangun 53 kapal selam diesel, dan pada tahun 2006 kapal selam di Asia Pasifik berjumlah 170 unit (88% dari seluruh kapal selam di dunia). Terlebih lagi jumlah kapal selam diprediksi akan meningkat secara signifikan selama satu dekade kedepan (Till, 2010). Meningkatnya ketertarikan negara-negara asing, terutama negara-negara Asia Pasifik terhadap pengembangan kapal selam menjadi salah satu alasan kuat bagi Indonesia untuk mengadakan pengawasan lintas laut bawah air di daerah yang pasti akan sering dilewati oleh kapal selam negara asing yaitu ALKI. Belum lagi selain Kapal Selam, saat ini terdapat berbagai jenis *Unmanned Underwater Vehicle* yang

merupakan kendaraan bawah air tanpa awak.

Pengamanan terhadap lintas laut bawah air ALKI membutuhkan suatu sistem pengawasan bawah air dengan kemampuan deteksi dan identifikasi yang relevan terhadap kemajuan teknologi saat ini. Ancaman dengan *lethality* yang kian meningkat serta bersifat kompleks mendorong semakin maraknya penggunaan teknologi sensor dan sistem otomasi tanpa awak seperti *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *Unmanned Surface Vehicle* (USV), dan *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV) atau *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) oleh kekuatan militer berbagai negara. Pemanfaatan teknologi tersebut selain dapat mengurangi korban personel juga dapat menghemat dana mengingat semakin mahalnya Alat Utama Sistem Senjata (Alutsista) dibanding dua dekade terakhir (Taufiqerrochman, 2018).

Pelaksanaan pengawasan lintas laut bawah air oleh angkatan laut selama ini terbatas hanya dengan menggunakan teknologi *hull mounted sonar* (HMS) kapal perang permukaan dan sistem sonar kapal selam. Kendala HMS dalam mendeteksi kontak bawah air muncul ketika kondisi lingkungan bawah air (temperatur, salinitas, kedalaman laut, bentuk dan kondisi dasar laut) menyebabkan terbentuknya lapisan *shadow zone* yang dapat dimanfaatkan kapal selam untuk bersembunyi karena gelombang suara yang dipancarkan HMS sulit menembus lapisan tersebut (Harianto et al., 2020). Sedangkan dengan tenggelamnya KRI Nanggala, TNI AL hanya memiliki empat kapal selam yang kemampuan operasinya sangat terpengaruh oleh kesiapan teknis dan personel. Maka salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan mobilitas dan

kemampuan deteksi dari *Automated Underwater Vehicle* (AUV).

Hal yang penting bagi TNI AL untuk memanfaatkan teknologi deteksi bawah air tanpa awak dalam hal ini *Autonomous Underwater Vehicle* sebagai sistem pengawasan bawah air. Diharapkan dengan adanya sistem *underwater surveillance* AUV dapat mendukung pelaksanaan tugas pokok TNI AL dalam menjaga keamanan wilayah laut yuridiksi nasional di ALKI.

Penelitian ini mengembangkan suatu Konsep Penggunaan AUV Sebagai *Underwater Surveillance* Guna Meningkatkan Keamanan Bawah Air di ALKI.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (research & development/ R & D), yang memiliki tujuan menghasilkan produk dalam bentuk model maupun modul yang bersifat efektif (Saputro, 2017). Tahapan R & D menurut Borg and Gall (2003), ada sepuluh tahap, sebagai berikut: 1) Melakukan penelitian pendahuluan (pra survei) dan pengumpulan data awal termasuk literatur, observasi, identifikasi permasalahan, dan merangkum permasalahan. 2) Melakukan perencanaan, hal penting dalam perencanaan adalah pernyataan tujuan yang harus dicapai produk yang akan dikembangkan. 3) Mengembangkan jenis/bentuk produk awal berupa konsep awal penggunaan AUV sebagai *underwater surveillance* ALKI II. 4) Melakukan uji coba tahap awal, yaitu wawancara pakar bidang pengawasan bawah air, penggunaan AUV, dan keamanan laut di ALKI II. 5) Melakukan revisi terhadap produk utama, berdasarkan masukan dan saran-saran dari hasil uji konsep satu. 6) Melakukan uji konsep 2, digunakan

untuk mendapatkan evaluasi atas revisi konsep awal. 7) Melakukan revisi terhadap produk utama, berdasarkan masukan dan saran-saran para pakar dan ahli. 8) Melakukan uji lapangan operasional. 9) Melakukan perbaikan terhadap produk akhir, berdasarkan pada uji lapangan dan 10) Melakukan desiminasi dan implementasi produk, serta menyebarluaskan produk. (Borg & Gall, 1989).

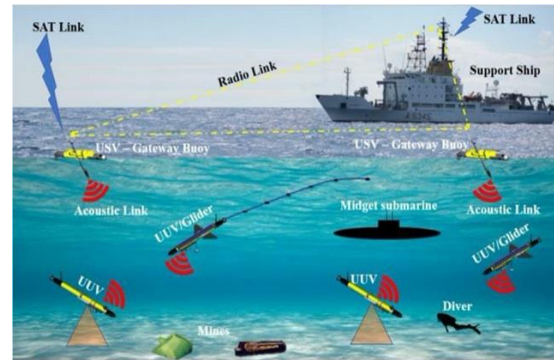
Penelitian skripsi, tesis ataupun disertasi merupakan penelitian skala kecil yang dapat menghentikan penelitian pada langkah ke-7 (tujuh), karena untuk langkah ke delapan, sembilan dan sepuluh membutuhkan biaya yang mahal dan cakupan yang sangat luas dalam waktu yang lama.(Gall et al., 2003). Dalam melaksanakan penelitian pengembangan ini, adalah tujuh langkah pertama, sebagai berikut: 1) **Penelitian dan Pengumpulan Informasi Awal.** Penelitian pendahuluan dilakukan dengan: kajian pustaka, identifikasi permasalahan, analisis kebutuhan, mengumpulkan faktor-faktor penghambat dan pendukung. 2) **Perencanaan.** Peneliti merancang rencana desain pengembangan produk, diantaranya mengenai tujuan dan manfaat produk, siapa yang akan menggunakan produk, dimana tempat penggunaannya, dan mengapa produk tersebut penting. 3) **Pengembangan Format Produk Awal.** Peneliti mengembangkan berbentuk awal produk sementara atau konsep produk. Konsep produk tersebut dirancang sebaik mungkin, yakni dengan komponen-komponen program yang lengkap, petunjuk penggunaan dan pelaksanaan, media yang akan digunakan, dan sebagainya. 4) **Uji Coba Awal.** Konsep produk yang telah dirancang pada langkah-langkah sebelumnya akan di uji pada tahap ini. Terdapat dua langkah uji coba yaitu uji coba terbatas dan uji coba yang lebih

luas. Selama uji coba terbatas, peneliti mengamati dan mencatat hal-hal yang penting. Selanjutnya hasil observasi tersebut yang dijadikan pedoman dalam merevisi dan mengembangkan konsep yang telah dibuat. 5) **Revisi Produk Awal.** Pada tahap ini dilaksanakan penyempurnaan produk utama berdasarkan hasil uji coba terbatas, angket, wawancara, maupun diskusi. 6) **Uji Coba Produk Utama.** Uji coba dapat dilaksanakan dengan cara yang sama dengan uji coba awal, serta dengan cara uji coba yang lebih luas, ataupun metode-metode lainnya. 7) **Revisi Produk Utama.** Peneliti merevisi kembali untuk lebih menyempurnakan produk berdasarkan saran dan masukan hasil uji coba produk utama.

Pengembangan konsep yang dirancang peneliti untuk memantau lalu lintas bawah air di ALKI II akan memanfaatkan teknologi *Autonomous Underwater Vehicle*. Sesuai dengan sifatnya yang *autonomous* atau otomasi, maka AUV dapat bekerja tanpa control manusia. Karena itu sebuah AUV yang dirancang memerlukan sistem teknologi yang memungkinkannya untuk bekerja sendiri sesuai yang dibutuhkan. Sistem-sistem yang harus dimiliki antara lain: 1) **Sistem Navigasi.** Sistem navigasi yang dibutuhkan harus memiliki kemampuan untuk menghindari tubrukan, baik dengan benda lain, kapal lain, hewan-hewan, maupun rintangan-rintangan lainnya. Selain itu juga memiliki kemampuan untuk menyesuaikan dengan kedalaman dan bergerak sesuai trek yang telah ditentukan. 2) **Sistem Sensor dan Prosesor** Sistem sensor harus memiliki kemampuan mendeteksi kontak bawah air dan mengidentifikasi kontak-kontak tersebut. Sensor yang dimiliki AUV dengan tugas pengawasan bawah air harus mampu mendeteksi kontak

bawah air seperti kapal selam, *glider*, AUV lainnya, hewan-hewan laut, sampah-sampah ataupun objek-objek lain. 3) **Sistem Propulsi.** Sistem propulsi AUV harus memiliki kemampuan untuk menggerakkan AUV dalam ruang 3 dimensi sesuai dengan perintah sistem navigasi walaupun dalam pengaruh arus bawah laut. Selain itu karena pengawasan bawah air dilaksanakan secara terus-menerus, maka sistem propulsi harus dapat bekerja dengan memanfaatkan atau menghabiskan energi seefisien mungkin. 4) **Sistem Energi.** Sistem energi AUV harus dapat memenuhi kebutuhan lamanya pengawasan bawah air agar pengawasan tersebut dapat berjalan secara kontinu. Baterai AUV harus dibuat dari bahan yang dapat bekerja efektif dalam waktu yang lama walau dalam tekanan bawah air. 5) **Sistem Komunikasi.** Konsep *surveillance* oleh AUV berarti kendaraan tanpa awak tersebutlah yang akan melaksanakan pengawasan bawah air, maka diperlukan kemampuan untuk mengirimkan data kepada satuan pada kapal permukaan ataupun pada pangkalan. Disamping itu ketika memanfaatkan lebih dari satu AUV di suatu daerah yang sama (*swarm*) maka dapat dilaksanakan komunikasi antar AUV yang akan menghasilkan data pendeteksian yang lebih akurat.

Selain kemampuan dan spesifikasi *Autonomous Underwater Vehicle* yang akan digunakan untuk melaksanakan pengawasan bawah air, dalam menciptakan konsep *underwater surveillance* peneliti juga akan merancang metode dan rencana pergerakan AUV tersebut agar pengawasan terhadap perairan di ALKI II dapat berjalan secara optimal.



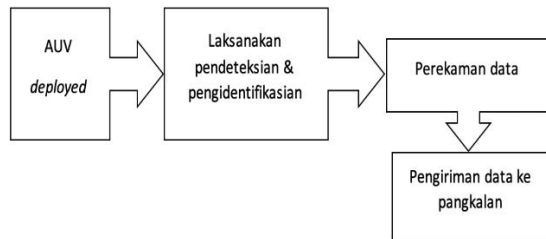
Gambar 1 Skenario konseptual sebuah pengawasan bawah air oleh AUV (Terracciano et al., 2020)

Pada contoh di atas proses pengawasan dilaksanakan oleh sekelompok AUV yang bekerja sama dengan saling mengirim informasi melalui suatu jaringan komunikasi. Suatu jaringan AUV, dimana masing-masing AUV memiliki muatan sistem dengan tugas yang berbeda-beda, berkomunikasi, mengumpulkan data, dan melaksanakan *monitoring* secara *real-time*. Namun, pada dasarnya pengawasan oleh AUV juga dapat dilaksanakan secara individual, selama AUV tersebut sudah memuat semua sistem yang diperlukan untuk terlaksananya proses pengawasan dari deteksi sampai dengan pengiriman data.

Setelah membuat konsep pengembangan, maka dilaksanakan uji coba guna mengetahui relevansi dan efektifitas dari ide tersebut untuk melaksanakan proses pengawasan bawah air secara optimal di ALKI II. Uji coba konsep tersebut akan dilaksanakan oleh tenaga ahli dari *stakeholder* pengguna AUV dan pelaksana pengamanan perairan ALKI II. Kemudian akan dilanjutkan dengan analisa hasil uji coba konsep, lalu revisi produk yang akan menjadi kesimpulan penelitian.

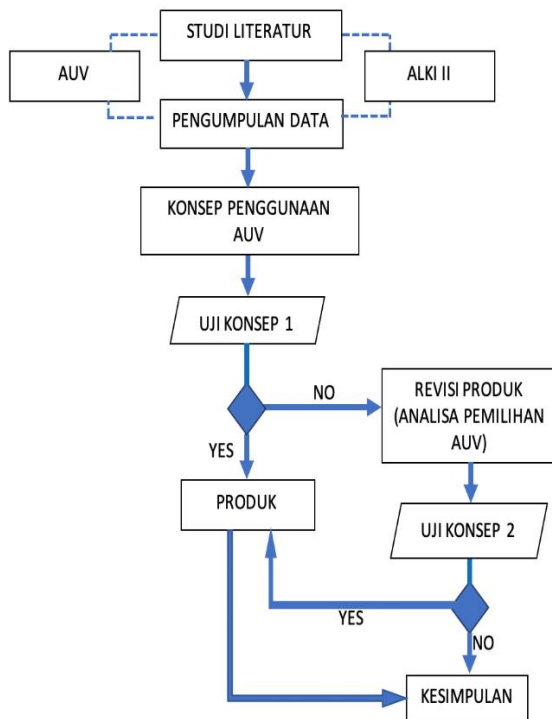
Berdasarkan penjelasan di atas pengembangan konsep penggunaan AUV dalam sebuah diagram yang

menggambarkan proses pelaksanaan pengawasan bawah air di ALKI II:



Gambar 2 Rancangan Konsep Pengembangan

Diagram Alir Prosedur Penelitian dan Pengembangan, dengan langkah-langkah yang akan diambil untuk menciptakan konsep yang ideal.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian dan Pengembangan

Prosedur penelitian : 1) Studi literatur. Dalam langkah ini peneliti mencari informasi yang relevan sebanyak-banyaknya mengenai ALKI II, AUV, serta penggunaannya dari berbagai sumber literatur seperti jurnal, buku dan penelitian-penelitian sebelumnya. 2) Pengumpulan data. Pada tahap ini peneliti

mengumpulkan data-data relevan yang akan digunakan dalam langkah selanjutnya. Data yang dimaksud antara lain adalah data mengenai situasi dan karakteristik perairan di ALKI II, spesifikasi AUV, serta data performa AUV yang dihasilkan dari eksperimen pada penelitian-penelitian sebelumnya. 3). Analisa dan pengolahan data. Merupakan proses ilmiah yang dilakukan secara terarah sesuai dengan prosedur untuk mengolah data-data yang telah terkumpul. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa data-data yang sudah dikumpulkan adalah relevan terhadap perancangan konsep dan dapat diolah untuk menciptakan konsep yang tepat. 4) Konsep tersusun. Data-data yang telah diolah secara ilmiah tadi disusun menjadi sebuah konsep penggunaan AUV sebagai sistem pengawasan bawah air yang sesuai untuk dipekerjakan di perairan ALKI II. Adapun hal-hal yang akan dikonsept oleh peneliti antara lain: a) Spesifikasi dan karakteristik AUV yang ideal. Spesifikasi yang dimaksud oleh peneliti akan dinilai dari sistem utama AUV, yaitu: sistem navigasi, sistem komunikasi, sistem sensor, sistem prosesor, sistem propulsi, dan sistem energi. b) Metode kerja AUV yang ideal. Metode kerja yang dimaksud oleh peneliti adalah sistem pelaksanaan pengawasan bawah air oleh AUV dengan jumlah AUV yang dibutuhkan dikaitkan dengan ruang dan karakteristik perairan di ALKI II. Dan c) Teknis pelaporan atau pengiriman data yang telah dikumpulkan oleh AUV. Dalam hal ini yang akan dikonsept merupakan tahap selanjutnya setelah kegiatan pendeteksian dan identifikasi serta mengumpulkan data kontak bawah air oleh AUV. Meliputi apa yang akan dilakukan terhadap data tersebut, media pengiriman data, serta tujuan pengiriman yang ideal untuk mewujudkan keamanan bawah air di

ALKI II. 5) Uji Konsep. Tahap uji konsep merupakan tahap dimana konsep yang telah dibuat oleh peneliti akan diajukan kepada ahli-ahli di bidang penggunaan AUV dan bidang keamanan laut, terutama yang bertugas langsung di ALKI II. Tujuan dari uji konsep adalah untuk menentukan apakah konsep dari peneliti sudah cukup baik dan mungkin untuk diimplementasikan guna mewujudkan tujuan utama dari penelitian, yakni meningkatkan keamanan bawah laut di ALKI II. Apabila tidak terdapat revisi dari ahli, maka langkah selanjutnya yang akan diambil peneliti adalah menyimpulkan penelitian. Namun apabila terdapat revisi, maka peneliti akan memperbaiki konsep yang telah dibuat, lalu diujikan lagi kepada para ahli. 6) Revisi konsep. Dilaksanakan dengan memperbaiki konsep utama yang telah dibuat peneliti berdasarkan masukan koreksi dari para ahli. Revisi ini akan menghasilkan konsep baru yang menjadi konsep *final* peneliti yang akan diuji kembali oleh para ahli. 7) Kesimpulan. Apabila tidak ada lagi revisi dari para ahli setelah diuji konsep, maka akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu penulisan kesimpulan penelitian.

Pengumpulan Data, menggunakan dokumentasi, wawancara, dan kuesioner. (Arikunto, 2010; Suwartono, 2014) **1) Dokumentasi** penelitian ini yang dimaksud adalah yang membahas mengenai objek penelitian yakni AUV, pengawasan bawah air, dan ALKI II melalui arsip hasil survey di ALKI II, arsip dan buku mengenai pelaksanaan pengawasan di ALKI II, spesifikasi mengenai AUV, berarti buku-buku hasil penelitian dan penggunaan AUV. (Sugiyono, 2013) **2) Wawancara**, Proses wawancara dilakukan antara peneliti dan narasumber dilakukan

menggunakan wawancara terstruktur dan semi-terstruktur, dengan harapan dapat menyusup ke dalam “alam” pikiran responden (Suwartono, 2014). Narasumber penelitian ini adalah Kepala Departemen Survey dari kapal survey Pushidrosal, Kepala Departemen Operasi kapal ranjau dari Satran, dan Kepala Departemen Operasi kapal selam. **3) Kuesioner**, penelitian ini menggunakan kuesioner untuk mendapatkan data terkait bagi analisis AHP, komponen-komponen yang ditanyakan dibuat berdasarkan hasil wawancara. Kuisisioner ini ditujukan kepada para perwira TNI AL yang ahli di bidang AUV dan mengerti penggunaannya secara teknis dan taktis.

Teknik Analisis Data, data kualitatif dianalisis deskriptif kualitatif, meliputi: Pengumpulan data, Reduksi data, *Display* data dan Verifikasi dan penegasan kesimpulan (Burhan, 2003). Sedangkan data kuantitatif dalam pemilihan strategi terbaik bagi penggunaan AUV, peneliti akan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 2008). Tahapannya: 1) Perumuskan masalah serta penentuan solusi yang diinginkan. 2) Pembuatan struktur hirarki, diawali oleh tujuan umum, lalu kriteria, sub-kriteria, dan alternatif yang akan diranking. 3) Pembuatan perbandingan berpasangan dalam bentuk matriks yang menggambarkan pengaruh tiap variabel elemen terhadap masing-masing kriteria diatasnya (kontribusi relatif). 4) Normalisasi data dengan membagi nilai tiap elemen dalam matriks yang berpasangan dengan total nilai tiap kolom. 5) Penghitungan vektor eigen dengan menjumlahkan nilai-nilai tiap baris dan hasilnya dibagi dengan jumlah elemen untuk mendapatkan rata-rata lalu diuji konsistensinya. 6) Mengulangi langkah 3), 4), dan 5) untuk tiap tingkat hirarki. 7) Pengujian

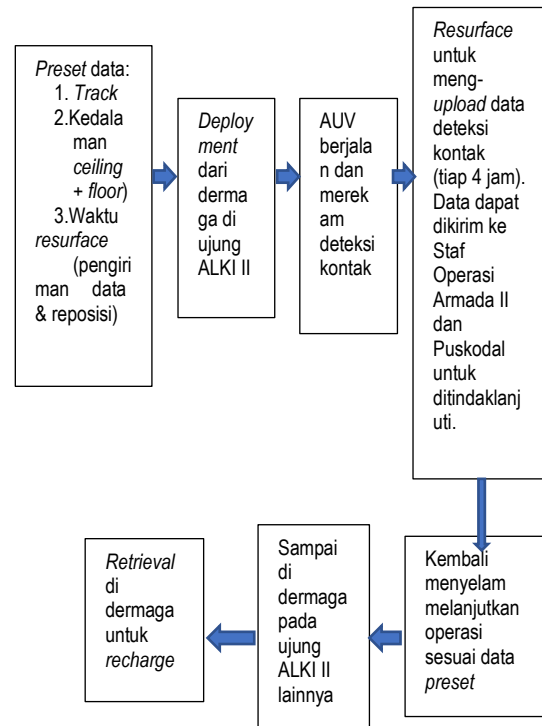
konsistensi hirarki dengan melihat indeks konsistensi dimana rasio konsistensi harus sama dengan atau kurang dari 10% atau CR (correction ratio) $\leq 0,100$. Apabila terjadi lebih dari 10% maka penilaian diulangi.

Tahapan Uji Coba Konsep Pengembangan. Tujuan Uji konsep untuk menilai tingkat relevansi dan efektifitas konsep untuk diimplementasikan, serta apakah konsep tersebut dapat memenuhi tujuan penelitian. Setelah terbentuk sebuah konsep penggunaan AUV sebagai pengawasan bawah air di ALKI II yang dinilai sudah ideal oleh peneliti, maka produk konsep tersebut akan dikirimkan kepada para ahli yang relevan, yaitu: 1) Pushidrosal sebagai ahli dalam bidang penggunaan AUV karena telah memiliki dan menggunakan Hugin 1000 AUV dalam kegiatan operasi survei bawah airnya. 2) Satuan Kapal selam sebagai satuan TNI AL yang ahli di bidang deteksi dan identifikasi kontak bawah air. 3) KRI yang melaksanakan operasi deteksi dan penyapuan ranjau di ALKI II sebagai ahli dalam bidang keamanan laut terhadap bahaya peranjauan.

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Uji Coba Konsep Pengembangan. Produk awal berbentuk konsep awal penggunaan AUV sebagai *underwater surveillance* di ALKI II, berupa tahapan pelaksanaan pengawasan bawah air, seperti Gambar 4

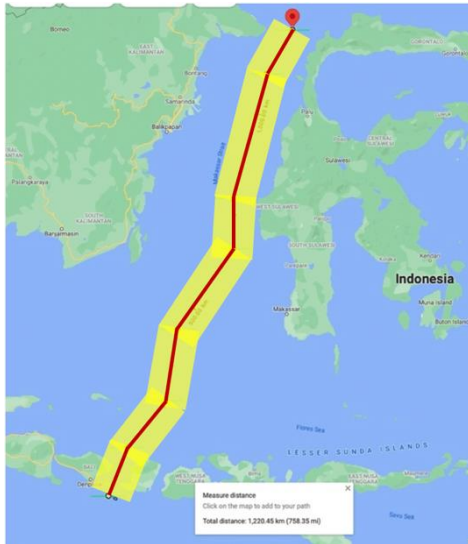
Pada Rancangan Konsep Pengembangan yang dibuat, dijelaskan pula: pergerakan AUV yang meliputi *track* yang digunakan beserta dengan kedalaman operasionalnya, sensor yang digunakan, dan mekanisme pengiriman data.



Gambar 4 Rancangan Konsep Pengembangan

1. Pergerakan AUV.

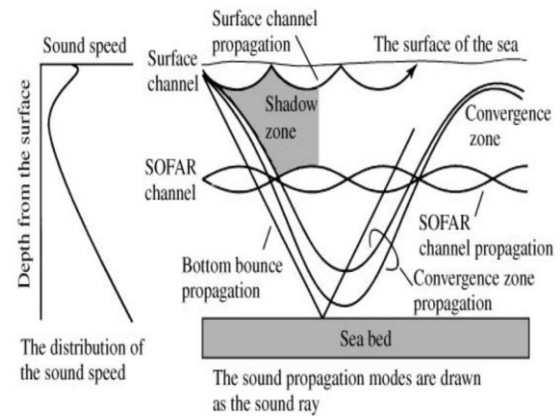
Dalam konsep pergerakan AUV ada dua hal yang dirancang, yaitu *track* (jalur dan arah) yang akan dilalui AUV serta kedalaman operasional yang harus disesuaikan dengan tujuan pengawasan bawah air agar tercipta sistem pengawasan yang ideal. **1)Track.** Untuk mencapai kondisi yang ideal yaitu meningkatnya keamanan bawah air di ALKI II, maka pergerakan AUV di bawah air ketika melaksanakan operasinya harus disesuaikan dengan dimensi ruang ALKI II. Karena sifat laut yang tidak dapat dibatasi secara fisik, maka peletakan sistem pengawasan hanya pada *gateway* keluar/masuk ALKI II tidak akan efektif karena target pengawasan yaitu kapal selam maupun *glider* ilegal masih dapat melintas keluar masuk dari sepanjang sisi Barat dan Timur alur.



Gambar 5 Area ALKI II dan *Track AUV*

Gambar 5 merupakan gambaran umum area ALKI II (diarsir kuning) berdasarkan PP no. 37 tahun 2002 pasal 11 ayat 3 yang mengatur tentang garis sumbu ALKI II berdasarkan koordinat titik hubung dan pasal 4 ayat 2 yang mengatur tentang lebar ALKI II 25 mil ke kanan dan ke kiri dari garis sumbu. Berdasarkan hal ini maka panjang keseluruhan ALKI II dari ujung Utara di Selat Makassar sampai ujung Selatan di Selat Lombok adalah 1.220,45 km atau sama dengan 758,35 mil, sedangkan lebarnya adalah 80,46 km atau 50 mil. Sehingga **AUV akan menempuh track sepanjang 1.220 km (758,35 mil)** berbentuk garis-garis lurus yang dihubungkan oleh *way points* yang disesuaikan dengan koordinat titik hubung ALKI II (digambarkan sebagai garis merah). **2) Kedalaman Operasional.** Berbeda dengan sifat propagasi gelombang radio di medium udara, kecepatan propagasi suara di dalam air (dalam hal ini laut) tidak konstan tetapi bervariasi sesuai dengan salinitas, tekanan, dan suhu perairan tersebut. Karena ketergantungan terhadap keadaan lingkungan ini, model propagasi akustik (suara) tidak selalu linier melainkan sering melengkung (Liu et al., 2020) Akibatnya terbentuklah *Surface Sound*

Channel (SSC) yang merupakan lapisan air laut mulai dari permukaan air ke bawah hingga kedalaman batas atas termoklin.



Gambar 6 Bentuk Propagasi Suara di Bawah Air (Kagawa et al., 2001)

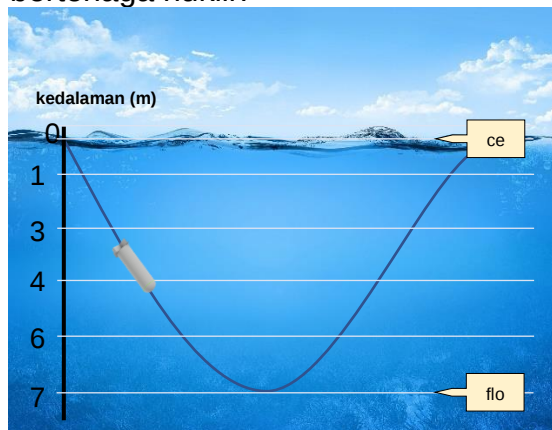
Pada lapisan SSC gelombang suara tidak bisa menembus batas atas termoklin sehingga akan dibiaskan kembali ke arah permukaan. Sedangkan dalam lapisan termoklin, terjadi penurunan suhu yang drastis sehingga kecepatan suara dalam lapisan ini berbeda dengan lapisan lainnya (menurun). Terlebih lagi terbentuknya lapisan-lapisan di bawah air berbeda-beda di tiap tempat dan waktu karena sangat banyak faktor yang mempengaruhi temperatur, tekanan, dan salinitas bawah laut. Akibat dari terbentuknya lapisan-lapisan yang dapat menghambat deteksi, maka pergerakan AUV tidak bisa hanya berada pada satu kedalaman tertentu, melainkan bergerak di kedalaman yang berbeda-beda agar kemungkinan deteksi meningkat.

Dalam menentukan *ceiling* (batas atas kedalaman operasional) dan *floor* (batas bawah kedalaman operasional) AUV harus disesuaikan dengan kedalaman operasional objek tersebut.

Tabel 1 Kedalaman Maksimum yang Dapat Dijangkau Kapal Selam Negara Lain Berdasarkan Jane's Fighting Ships 2020-2021

NO	NEGARA	MAX DEPTH	KAPAL SELAM
1.	INDIA	Approximate 450 m	Arihant & Akula class
2.	AUSTRALIA	Approximate 250 m	Collins class
3.	MALAYSIA	Approximate 300 m	Scorpene class
4.	SINGAPORE	Approximate 300 m	Archer class
5.	TAIWAN	Approximate 300 m	Hai Lung class
6.	VIETNAM	Approximate 240 m	Kilo class
7.	CHINA	Approximate 400 m	Shang class
8.	USA	Approximate 600 m	Seawolf class
9.	RUSIA	Approximate 750 m	Sierra class
10.	UK	Approximate 300 m	Trafalgar class
11.	PERANCIS	Approximate 500 m	Le Triomphant class

Dalam tabel 1 tercantum sebelas negara asing yang memiliki kemampuan untuk menjangkau dan melewati perairan Indonesia. Nomor satu sampai dengan enam adalah negara tetangga Indonesia yang memiliki kapal selam dalam proyeksi kekuatan angkatan lautnya, sedangkan nomor tujuh sampai sebelas adalah negara asing yang bukan merupakan negara tetangga Indonesia namun juga mampu mencapai perairan Indonesia dikarenakan memiliki kapal selam bertenaga nuklir.



Gambar 7 Konsep Pergerakan AUV

Dalam Tabel 1 pula terlihat bahwa perkiraan kedalaman paling besar yang dapat dijangkau kapal selam negara asing adalah 750 meter. Berdasarkan hal tersebut ditentukan **kedalaman ceiling** adalah 50 meter dan **floor** adalah 750 meter (Gambar 7).

2. Sensor

Akibat dari luasnya ALKI II, maka sensor yang digunakan pada AUV harus mampu mencakup jangkauan yang luas, apabila tidak maka untuk mengawasi luas are tersebut harus menggunakan banyak sekali AUV. Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian-bagian sebelumnya, terutama pada pembahasan teori propagasi bawah air, dalam medium air gelombang akustik memiliki jangkauan yang sangat lebih jauh dibandingkan dengan gelombang elektro magnetik maupun *fiber optic*. Karena karakteristik tersebut gelombang suara biasa digunakan untuk sistem sensor bawah air yaitu sonar.

Ada dua mode pendeteksian menggunakan sonar, yaitu aktif dan pasif. Sonar pasif bekerja sebagai "telinga" untuk "mendengar" sinyal-sinyal akustik yang dikeluarkan oleh kontak-kontak lain. Sedangkan sonar aktif bekerja sebagai "mata" untuk mencari kontak-kontak yang sedang aktif memancarkan sinyal akustik maupun yang sedang pasif (tidak mengeluarkan pancaran).

Dalam sistem sonar aktif memiliki beberapa tipe dikaitkan dengan frekuensi gelombang suara yang dipancarkan yaitu LF/*low frequency* (kurang dari 1 kHz), MF/*mid frequency* (1-10 kHz), dan HF/*high frequency* (lebih dari 10 kHz).

Tabel 2 Jarak Maksimum "R" Dikaitkan dengan Frekuensi "f" dan Panjang Gelombang " λ " (Hansen, 2012)

f [kHz]	R [km]	λ [m]
0.1	1000	15
1	100	1.5
10	10	0.15
100	1	0.015
1000	0.1	0.0015

Walaupun dengan kelemahan cepat rambat yang lama dan rawan

mengalami gangguan dari lingkungan, namun sinyal akustik *low frequency* dan dapat mencapai jarak maksimum sampai 1000 km, sedangkan sinyal akustik *high frequency* walaupun memiliki jarak jangkauan paling jauh 10 namun memiliki cepat rambat yang lebih tinggi dan lebih sukar terganggu laju propagasinya sehingga lebih efektif untuk mengidentifikasi objek (contoh *sidescan sonar*). Perlu ditekankan bahwa jarak jangkauan sinyal akustik sonar akan selalu bervariasi/berubah-ubah karena bentuk propagasi akustik di bawah laut pasti bergantung pada keadaan laut saat itu.

Berdasarkan hal di atas untuk konsep sistem pengawasan bawah air di ALKI II setidaknya memiliki **sonar pasif untuk mendeteksi kontak bawah air yang memancarkan gelombang akustik, sonar LF untuk melokalisasi kontak bawah air dalam jarak yang jauh, dan sonar HF untuk mengidentifikasi kontak.** Namun perlu diperhatikan bahwa sinyal akustik frekuensi rendah dari sonar dapat mengganggu hewan-hewan di laut yang menggunakan suara untuk berkomunikasi sehingga penggunaan sonar aktif LF tidak dapat dipancarkan terus-menerus.

Selain itu agar data yang didapatkan selama AUV melaksanakan pengawasan lebih lengkap, konsep ini melibatkan **beberapa AUV yang bergerak bersamaan** agar memperbesar kemungkinan deteksi kontak, terlebih lagi memungkinkan terbentuknya triangulasi untuk mempermudah lokalisasi kontak.

3. Mekanisme Pengiriman Data.

Pengiriman data (komunikasi) hasil deteksi merupakan bagian yang mendasar untuk sebuah operasi pengawasan. Dalam hal ini operasi pengawasan bawah air di ALKI II

menggunakan AUV menuntut sebuah sistem komunikasi yang nirkabel dan tersedia di perairan yang terpencil (jauh dari daratan) untuk menyambungkan AUV di tengah laut dengan *base* atau pangkalan di daratan atau dalam kata lain komunikasi antara modul (AUV) dan pangkalan yang terjadi di atas permukaan (medium udara).

Terdapat tiga sistem komunikasi nirkabel permukaan yang marak digunakan pada operasi-operasi menggunakan AUV yaitu dengan radio frekuensi (RF), Wi-Fi, dan satelit. RF dan Wi-Fi menghadapi permasalahan yang sama, yaitu karena sifat sinyalnya yang merupakan *broad-band* signal, maka pengiriman data tidak dapat mencapai jarak yang jauh. Komunikasi kapal-ke-daratan sangat memungkinkan untuk dilakukan, namun hanya sampai jarak 10 km yang dalam konsep ini merupakan jarak yang sangat terbatas bila dibandingkan dengan luasnya area ALKI II. Terlebih lagi walau komunikasi *broad-band* ini memiliki *bitrate* yang besar, yaitu dapat mengirimkan data berukuran besar dengan cepat, namun sangat bergantung pada jalur tertentu untuk menciptakan jaringan "*multi-hop*" (membutuhkan perangkat lain/*nodes*) (Campos, Oliveira, Cruz, dan Matos 2016).

Bila konsep *multi-hop* seperti proyek BLUECOM+ diimplementasikan di ALKI II maka akan terdapat banyak *nodes* di sepanjang ALKI dan akan mengganggu kelancaran bahkan keselamatan pelayaran kapal-kapal yang seharusnya dapat berlayar secara terus-menerus dengan aman. **Maka dari itu sistem komunikasi untuk AUV pada ALKI yang tersedia dan paling efektif serta aman pada saat ini adalah dengan memanfaatkan satelit.** Komunikasi satelit bersifat *narrow-band* sehingga dapat menjangkau jarak yang sangat jauh

dan tidak bergantung pada disposisi AUV saat itu.

Komunikasi antar AUV pada konsep ini tidak terlalu ditekankan karena komunikasi tersebut memiliki jarak efektif berkisar 1 km dalam perairan dengan banyak *noise* (Deshpande et.al., 2007). Sedangkan posisi antar AUV akan lebih jauh dari itu karena menggunakan metode *track spacing* sesuai dengan kemampuan jangkauan sensor secara paralel.

4. AUV yang Digunakan.

Pemilihan AUV yang akan digunakan di ALKI II dilakukan setelah proses tahapan Borg & Gall selanjutnya, yaitu uji coba awal.

Dalam tahap uji coba awal, konsep awal yang telah dirancang di atas diuji menggunakan metode wawancara dan kuesioner sebagai tahap pertama, dan metode *Analytical Herranchy Process* sebagai tahap kedua untuk menentukan pilihan AUV yang ideal. Ketiga metode tersebut melibatkan empat narasumber perwira TNI AL yang memiliki kualifikasi dalam bidang pekerjaan dan akademis berkaitan dengan AUV serta pendeteksian bawah air. Empat narasumber yang berkontribusi dalam penelitian ini antara lain: 1) Komandan Satuan Kapal Selam Koarmada II (tahun 2021): Kolonel Laut (P) Wirawan Ady Prasetya, S.Sos., CHRMP NRP 12640/P, 2) Komandan KRI Pulau Rengat - 711: Letkol Laut (P) Hastaria Dwi Prakoso, S. E. NRP 15962/P, 3) Palaksa KRI Pulau Rengat - 711: Kapten Laut (P) Agus Solikhin NRP 19499/P, 4) Pabanda Lattrra Bandya Latmatra, Sopssurta Pushidrosal: Kapten Laut (P) Hendra Jayanto, S. T. NRP 19490/P

Kegiatan tanya jawab dengan Narasumber 1 dilaksanakan

menggunakan metode wawancara secara daring melalui *video conference* pada hari Jumat tanggal 18 Februari 2022. Kegiatan tanya jawab dengan Narasumber 2 dilaksanakan langsung secara tatap muka menggunakan metode wawancara di dermaga Satuan Kapal Ranjau Koarmada II pada hari Rabu tanggal 9 Maret 2022 (Lampiran 1: pelaksanaan wawancara). Sedangkan tanya jawab dengan Narasumber 3 dilaksanakan menggunakan metode kuesioner via platform komunikasi daring.

Hardcopy kuesioner AHP dikirimkan kepada Narasumber 2 dan Narasumber 3 pada hari Rabu tanggal 30 Maret 2022 (Lampiran 2: naskah kuesioner AHP) dan dikembalikan pada hari Kamis tanggal 31 Maret 2022 (Lampiran 3: pelaksanaan kuesioner AHP). Kuesioner AHP dikirimkan dalam bentuk *softcopy* kepada Narasumber 4 pada hari Rabu tanggal 30 Maret 2022 dan dikembalikan pada hari Rabu tanggal 6 April 2022.

Kegiatan wawancara dan kuesioner (tahap satu) selain memiliki tujuan untuk mengoreksi konsep awal yang telah dirancang, namun juga dilaksanakan untuk menggali informasi mengenai sistem kerja AUV dan sistem pendeteksian bawah air agar dapat menentukan tiga pilihan AUV yang ideal untuk melaksanakan operasi pengawasan dalam lingkungan perairan ALKI II. Kemudian dilanjutkan dengan kuesioner serta perhitungan metode AHP (tahap dua) yang bertujuan untuk menentukan pilihan terbaik diantara tiga AUV tersebut sehingga terbentuk konsep utama yang sempurna.

Deskripsi Data Penelitian.

Tahapan pengembangan Borg & Gall selanjutnya adalah uji coba rancangan, Kegiatan uji coba rancangan pada penelitian dilakukan di lingkungan Armada Dua, Surabaya. Pengumpulan

data dalam penelitian ini merupakan proses pengadaan data primer dan sekunder untuk keperluan penelitian. Pengumpulan data ini merupakan langkah yang amat penting, karena data yang didapat merupakan bahan yang akan diteliti. Upaya dalam pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan data yang *valid* sehingga menunjang pemenuhan tujuan penelitian. Kegiatan berikutnya setelah data diperoleh adalah pengolahan data untuk mendapatkan jawaban penelitian yang diharapkan.

Data Primer, dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap satu kuesioner tanya jawab dan wawancara, kemudian tahap dua kuesioner AHP. Wawancara dengan Narasumber 1, Dansatsel Koarmada II (2021): Kolonel Laut (P) Wirawan Ady Prasetya, S.Sos., CHRMP

Tabel 3 Hasil Wawancara Narasumber 1

NO	PERTANYAAN	JAWABAN
1	2	3
1.	Apakah kapal selam melaksanakan patroli bawah air secara rutin?	Kapal selam melaksanakan operasi sesuai perintah dari panglima TNI yang diteruskan ke Pangarmada, dengan ketentuan dari total kekuatan kapal selam TNI AL, 1/3 melaksanakan operasi, 1/3 <i>stanby</i> , 1/3 melaksanakan pemeliharaan atau perbaikan.
2.	Kemana saja kapal selam melaksanakan operasinya?	Patroli dilaksanakan oleh kapal selam di seluruh Indonesia (bahkan juga di luar negeri untuk melaksanakan pengumpulan data inteijen), dengan catatan bila kondisi teknis siap. Dan proses menyelam memungkinkan bila kedalaman setidaknya sedalam 83m. bila kurang dari kedalaman tersebut, tetap bisa melaksanakan operasi, namun tidak optimal melaksanakan fungsi asasi kapal selam, yakni: 1) Melaksanakan pengintaian taktis dan strategis: DSM 2) Melaksanakan pertempuran anti kapal selam (kasel vs kasel) 3) Melaksanakan pertempuran anti kapal permukaan fungsi tambahan: 1) Melaksanakan operasi khusus: mengantar/jemput pasukan khusus

		2) Melaksanakan SAR terbatas (sebatas pencarian dan pengamatan)
3.	Bagaimana pendapat anda apabila AUV digunakan untuk pengawasan bawah air, terkhususnya di ALKI II?	Sejauh ini AUV khususnya sea glider digunakan untuk pemetaan bawah air, mengumpulkan data-data bawah air, apakah di perairan tersebut memiliki karakteristik untuk bisa dilaksanakan operasi bawah air. Selanjutnya, keadaan perairan di selat memiliki arus yang kuat, di laut selatan terkenal dengan arus bawah laut yang kuat, begitu pula di selat makasar. Biasanya alat-alat yang digunakan untuk kepentingan tersebut (deteksi kontak bawah air yang bergerak) adalah alat2 yang ditanam, jadi tidak bersifat mobil.
4.	Bagaimana kapal selam melaksanakan komunikasi ketika dalam keadaan menyelam?	Komunikasi kapal selam sangat memungkinkan menggunakan radio frekuensi, gelombang elektromagnetik dan akustik, kemudian ada juga alat <i>underwater telephone</i> untuk sesama kapal selam dan antara kapal selam dengan kapal permukaan (dalam jarak tertentu). Selain itu kapal selam juga sudah memiliki LINK-Y. Ada pula <i>buoyant wiring antennae</i> yang merupakan kabel sepanjang 450 m, kapal selam bisa menyelam 200-250 m dengan antena berada di permukaan dan selakigus berjalan secepat 2.5-4 knots dan bisa kirim/terima perintah dengan gelombang elektromagnetik (GEM).

Dari hasil wawancara di atas diketahui bahwa intensitas dan jumlah kapal selam yang beroperasi terbatas akibat ketentuan penggunaan kekuatan. Dimana berdasarkan ketentuan tersebut, dengan empat unsur kapal selam yang dimiliki TNI AL, hanya ada satu atau dua kapal selam yang dapat beroperasi secara bersamaan, dengan catatan kondisi teknisnya siap. Sedangkan sesuai fungsi asasi kapal selam, tugas kapal selam tidak hanya melaksanakan pengawasan bawah air di ALKI. Sehingga bila hanya memanfaatkan kekuatan kapal selam, pengawasan bawah air di ALKI tidak akan bisa berjalan dengan kontinu sehingga tidak optimal.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dapat digunakan AUV sebagai *underwater surveillance*, namun kendala yang akan dihadapi adalah arus bawah air yang kuat di

daerah perairan selat, karena di daerah tersebut merupakan *bottleneck* air laut dari samudera hindia masuk ke perairan kepulauan. Tercatat dari hasil rekaman data menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) selama 1 tahun bahwa selat ini memiliki kecepatan arus mencapai 1,6 m/s (Purba & Utami, 2006), bahkan pernah tercatat cepat arus mencapai 3 m/s pada penelitian sebelumnya pada tahun 1988 (Murray & Arif, 1988).

Selama kapal selam berada di bawah air, terdapat beberapa metode yang dapat dilaksanakan untuk komunikasi, contohnya dengan memanfaatkan gelombang akustik (*high frequency/HF, ultra high frequency/UHF, low frequency/LF, dan ultra low frequency/ULF*), gelombang elektromagnetik (GEM) menggunakan *buoyant wiring antennae*, dan LINK-Y.

Wawancara pada Narasumber 2, Komandan KRI PRE - 711: Letkol Laut (P) Hastaria Dwi Prakoso, S. E.

Tabel 4 Hasil Wawancara Narasumber 2

NO	PERTANYAAN	JAWABAN
1	2	3
1.	Bagaimana proses pengidentifikasian ranjau?	Jadi ketika kita memulai pemburuan, kita deteksi dulu bahwa ada barang dibawah air. Setelah itu kita klasifikasikan ini menyerupai ranjau atau tidak, kalau ia menyerupai ranjau berarti kita akan melanjutkan ke tahap berikutnya. Apa yang membuat dia menyerupai ranjau? Pertama bisa karena kemagnetan, kedua bisa karena ukuran, dan lain-lain. Setelah itu kita identifikasi untuk memastikan itu ranjau atau tidak, kita pastikan menggunakan ROV yang memiliki kamera karena kita harus melihat langsung barang itu. Atau yang pilihan kedua menggunakan EOD (<i>Explosives Ordnance Disposal</i>) diver turun untuk melihat langsung (untuk ranjau modern).
2.	apakah perbedaan sonar yang dimiliki KRI PRE dengan sonar kapal lainnya?	Kalau di kita kontaknya itu memang berbentuk, Tapi dia hanya berbentuk seperti kotak atau lingkaran. Sonar untuk Satran bersifat <i>multibeam</i> . Kalau

		Sonar Kingklip yang digunakan di KRI kelas sigma misalnya, itu <i>single beam</i> atau <i>attack sonar</i> . Dia sonar aktif untuk menyerang. Jadi tampilannya hanya baringan dan jarak. Kalau disini (Satran) memang berbentuk gambar, tapi sonar ini mempunyai kelemahan untuk benda yang bergerak, dia akan lemah. Tapi untuk benda-benda yang diam kemampuannya lebih teliti.
3.	Apabila nanti AUV sudah di-deploy, seefektif apa AUV ini dapat melaksanakan tugasnya sebagai <i>underwater surveillance</i> ?	Kendalanya adalah sejauh ini belum ada yang memberikan data <i>real time</i> karena penggunaannya adalah pertama kita <i>input</i> perintah ke dalam sistem AUV, lalu kita <i>deploy</i> , setelah AUV itu berjalan selama dua bulan misalnya baru kita <i>recovery</i> , datanya kita ambil. Berbeda dengan ROV yang menggunakan kabel, apa yang dilihat ROV juga bisa kita lihat.
4.	Kami pernah melihat konsep dimana AUV itu tidak bergerak sendiri, melainkan ada AUV di permukaan sebagai pengirim data ke satelit dari AUV yang berada di bawah permukaan.	Berarti dia ada suatu yang muncul di permukaan walaupun itu barang lain, misalnya kamu konsepan AUV itu selalu di bawah air nanti buat pos-pos untuk menangkap sinyal dia, seperti <i>sonobuoy</i> . Atau kamu bisa mengonsep AUV yang cukup pintar, jadi dia mungkin ada durasi setiap jam berapa naik ke permukaan mengirimkan data, lalu masuk lagi, dengan begitu setidaknya kita tidak terlalu lama terlambat mendapatkan data.
5	Bila AUV di-deploy apakah mungkin dapat mendeteksi kontak seperti <i>sea glider</i> ?	Saya kira mungkin apalagi kalau AUV ini diklaim seperti AUV A18-M dia punya sonar hampir 360°, di depan ada, di bawah ada, di atas ada.
6	bagaimana keadaan perairan/lingkungan akan mempengaruhi jarak jangkauan AUV?	Jadi endurance nya AUV ini tentunya dipengaruhi oleh banyak hal seperti misalnya, arus dibawah air. Kalau tidak salah Solus Long Range AUV dapat bertahan lama tapi dia hanya untuk hidrooseanografi, kalau hanya mempertahankan posisi dia bisa sampai 3-4 bulan kalau dia terkena arus dia melawan, tapi setelah itu berhenti untuk mempertahankan atau menghemat baterai
7	Apakah AUV bisa bertahan di perairan selat yang arus bawah airnya lebih kuat?	Mungkin sulit, tapi bisa. Kalau bisa cari data arus, di kedalaman sekian kuat arusnya sekian. Tinggal kamu mengatur kedalaman operasionalnya dia berapa, misalnya kamu buat mungkin ceiling-nya di 20m dan floor-nya di 100m, maka dia akan bergerak diantara itu. Dalam air setiap turun 10m tekanan bertambah 1 atm, berarti tekananya hanya 10 atm, seharusnya material

Berdasarkan penyajian data di atas, untuk melaksanakan penyapuan ranjau harus melewati proses deteksi, lalu klasifikasi untuk menentukan apakah objek yang terdeteksi merupakan ranjau, bila terindikasi merupakan ranjau, maka akan dilaksanakan tahap identifikasi untuk menentukan jenis ranjau tersebut menggunakan kamera ROV. Karena untuk melanjutkan ke tahap netralisasi, harus dipastikan secara visual bahwa objek tersebut merupakan ranjau.

Dengan menggunakan Side Scan Sonar JW Fisher dari kapal, tim penyapu ranjau dapat mendapatkan gambar awal kontak karena sonar tersebut bersifat *multibeam*, sedangkan sonar yang dimiliki KRI selain penyapu ranjau berjenis *singlebeam* atau *attack sonar* sehingga data yang didapat berbentuk baringan dan jarak. Walaupun begitu, multi-beam sonar akan lebih teliti ketika mendeteksi benda diam dibandingkan dengan benda bergerak. Posisi sonar pada AUV juga mempengaruhi kemampuannya untuk menangkap kontak di sekitarnya. AUV yang memiliki disposisi sonar di segala arah pasti lebih mampu mendeteksi objek sekitar, bahkan objek-objek kecil seperti *seaglider*. Selain itu untuk mengklasifikasi terlebih mengidentifikasi kontak sonar bergantung juga pada kemampuan analisa operator.

Pengawasan bawah air tetap dapat terlaksana walau data tidak dikirim secara langsung, namun sistem *surveillance* menggunakan AUV akan menjadi lebih efektif bila mampu mengirimkan data secara *real time* sembari melaksanakan operasi bawah air, dimana data tersebut dikirim langsung ke satelit atau pangkalan.

Untuk mewujudkan hal ini maka harus ada perangkat sebagai "batu loncatan" data yang berada di permukaan air. Perangkat ini akan menerima data dari AUV yang ada di bawah air, lalu diteruskan ke satelit atau pangkalan.

Karena arus bawah laut di perairan selat lebih kuat, maka bila AUV beroperasi di daerah tersebut akan menghabiskan lebih banyak energi untuk bernavigasi di dalam arus. Disamping itu dapat dipilih kedalaman yang arus bawah lautnya tidak terlalu kuat. Dalam memilih kedalaman tersebut juga harus memperhatikan *endurance* atau ketahanan materiil AUV karena tekanan air berbanding lurus dengan bertambahnya kedalaman.

Wawancara dengan narasumber 3, Palaksa KRI PRE - 711: Kapten Laut (P) Agus Solikhin

Tabel 5 Hasil Wawancara Narasumber 3

NO	PERTANYAAN	JAWABAN
1	2	3
1.	Hal-hal apa saja yang masih perlu dikembangkan mengenai keamanan laut sektor bawah air di ALKI II?	Bahaya keamanan bawah air di ALKI II: a. Bahaya torpedo kapal selam b. Bahaya ranjau c. Bahaya survey bawah air ilegal
2.	Bagaimana kapal satran dapat mengidentifikasi ranjau?	Identifikasi bisa dilakukan dengan: a. MDV PAP 104 kamera b. ROV vLBV Teledyne c. Penyelam
3.	Bagaimana proses pelaksanaan operasi ranjau khususnya pendeteksian dan identifikasi?	Operasi Tindakan Perlawanan Ranjau saat ini dilakukan dengan 4 tahap (Deteksi, Klasifikasi, Identifikasi dan Netralisasi) saat ini masih dilakukan dengan metode <i>tradisional mine hunting</i> (Persmat dalam medan ranjau) harapan kedepan bisa dilakukan dengan <i>modern mine hunting</i> (Persmat diluar medan ranjau).
4.	Apa saja yang menjadi kendala bagi kapal permukaan untuk melakukan pendeteksian dan identifikasi kontak bawah laut terkhususnya ranjau?	a. Platform. Kondisi platform yang terbuat dari Glass Reinforced Polyester (GRP) sudah lebih dari 30 tahun. b. Sewaco. 1) Sonar Pemburuan Ranjau (Minehunting Sonar). a) Kemampuan deteksi hanya sampai 270 meter dari kondisi awal 1.500 meter, Mode Klasifikasi hanya sampai jarak 150 meter dari kondisi awal 500 meter.

		b) Tampilan display masih dua dimensi sulit menganalisa 4S (Shape, Size, Shadow, Strength). c) Mode deteksi hanya bisa pada skala jarak 500 dari skala standar 2000. d) Pada saat dioperasikan sering blank. e) Pancaran sonar mode vertikal kurang baik (tampilan rantai ranjau tidak jelas). f) Tampilan pada display masih hitam putih.
		2) PAP 105 MK IV Mine Disposal Vehicle (MDV). a) Baterai hanya bertahan 60 menit, kondisi awal 90 menit. b) Putaran propeller lemah dan putaran antara propeller kanan dan kiri tidak sama, sehingga sulit dalam bermanuver. c) Sistem kamera bergoyang saat dioperasikan, sehingga sulit untuk mengidentifikasi kontak. d) Hanya mempunyai dua pendorongan (propeller) horisontal. e) Masih menggunakan pemberat untuk menyelam, sehingga tidak efektif. f) Dimensi MDV besar sehingga kurang lincah dan susah di-recovery. g) Tampilan pada display masih hitam putih.
		3) Sistem Pemburuan Ranjau (Minehunting System). a) Tidak dapat berintegrasi dengan radar. b) Belum mempunyai alat presisi navigasi yang baik, masih menggunakan GPS. c) Sistem recording side scanning sonar tidak berfungsi. d) Tidak dilengkapi sistem recording kamera/sonar PAP.
5	Bagaimana track yang biasa digunakan dalam operasi perburuan ranjau?	Dengan menggunakan <i>track spacing</i> sesuai kemampuan sensor secara paralel.

Berdasarkan penyajian data di atas, narasumber berpendapat bahwa di ALKI II masih ada tiga ancaman yang perlu diwaspadai dan diatasi yaitu bahaya torpedo kapal selam, bahaya ranjau, dan bahaya survey bawah air ilegal. Untuk mengatasi bahaya ranjau, KRI Pulau Rengat - 711 sebagai salah satu unsur satuan kapal ranjau Koarmada II melaksanakan operasi ranjau (deteksi, klasifikasi, identifikasi,

dan netralisasi) menggunakan peralatan operasional yang tersedia saat ini, antara lain Hull Mounted Sonar, Mine Disposal Vehicle, dan Remote Operating Vehicle (ROV). Namun dalam pelaksanaannya operasi ranjau yang dilaksanakan KRI PRE - 711 masih menghadapi berbagai kendala, antara lain: 1) Kemampuan Hull Mounted Sonar banyak yang berkurang/degradasi, 2) Kemampuan baterai Mine Disposal Vehicle melemah. 3) Sistem navigasi dan *positioning* tidak terintegrasi dengan radar dan masih menggunakan GPS sehingga tidak bisa akurat, 4) Sistem propulsi mengalami permasalahan sehingga kemampuan manuver Mine Disposal Vehicle terbatas, 5) Sistem display sonar masih dua dimensi, sedangkan display MDV masih berwarna hitam putih dan kamera bergoyang ketika dioperasikan sehingga mempersulit identifikasi kontak.

Pada dasarnya untuk melakukan identifikasi ranjau secara efektif maka yang diperlukan adalah perangkat penginderaan yang mutakhir yaitu mampu memberikan gambar peranjauan secara jelas, dapat menentukan posisi secara benar, dan mampu bertahan di bawah air dalam waktu yang lama dalam rangka melaksanakan operasi. Maka dari ketiga narasumber di atas peneliti menyimpulkan AUV yang dibutuhkan setidaknya harus memiliki karakteristik dan kemampuan antara lain:

Tabel 6 Kemampuan AUV Berdasarkan Hasil Wawancara

Navigasi	Mampu menentukan posisi secara benar dan kontinu dihubungkan dengan jangka operasinya yang lama serta mampu menghindari tubrukan dengan objek bawah air lainnya
Komunikasi	Mampu mengirimkan data melalui medium udara sampai ke pangkalan.
Energi	Mampu men-suply energi untuk operasi sepanjang waktu yang dibutuhkan untuk meng-cover area yang akan ditentukan

Sensor	Mampu mendeteksi benda-benda bergerak di bawah permukaan air sebesar kapal selam maupun sekecil seaglider
Endurance	Mampu menjangkau jarak yang jauh sesuai dengan area yang akan diawasi dan mampu bermanuver walau di dalam kondisi arus bawah laut yang kuat.

Analisis Hierarchical Process (AHP). Data primer tahap dua adalah pengajuan kuisisioner AHP kepada para responden yang ahli di bidang penggunaan AUV guna menentukan pilihan AUV untuk dipakai sebagai alat pengawasan bawah air di ALKI II. Dengan metode perhitungan hirarki akan ditentukan AUV paling ideal berdasarkan kriteria-kriteria dari hasil wawancara (Tabel 4.5). Adapun yang menjadi responden untuk pengumpulan data primer tahap dua yaitu Narasumber 2, Narasumber 3, dan Narasumber 4.

Berdasarkan data hasil wawancara tiga narasumber, dipilihlah tiga AUV yang memenuhi kriteria-kriteria pada tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 7 Data Spesifikasi Pilihan AUV berdasarkan Kriteria

	Tethys (MBARI)	Solus LR (Cellula Robotics)	Autosub LR 15000 (NOC)
NAVIGASI			
ILUSTRASI			
TIPE	1) Doppler Velocity Log: LinkQuest NavQuest 600 2) GPS navigation accuracy: 3-4% of distance travelled (DT)	1) Inertial Navigation System: Sonardyne SprintNav 300,500,700 2) Optical Alignment System: Imagenex Delta T 3) GNSS System navigation accuracy: 0.04%, 0.02%, 0.01%	1) Inertial Measurement Unit: PNI TCM XB Compass 2) Precision Navigation: u-blox EVK-M8 GPS
DIMENSI	1) Panjang: 170 mm Diameter: 126 mm	1) 240 x 395 mm 2) 224,8 x 88,8 x 85,7 mm	1) 35 x 43 x 13 mm 2) 105 x 64 x 26 mm

OPERATING TEMPERATURE/DPTH RATING	1) 1500, 3000, 6000 m 2) 3000 m	1) 4000/6000 m 2) 3000 m	1) -40°C to +85°C 2) -40°C to +65°C
NAVIGATION MODE	i) Cruise (0,5 - 1,0 m/s) ii) Drift (zero speed)	Cruise	Cruise

KOMUNIKASI			
ILUSTRASI			
TIPE	1) Satellite Link	1) Acoustic: Sonardyne AvTrak 6 2) Surface: 2.4 GHz radio, Wifi 3) Satellite: Iridium 4) Acoustic Positioning: Sonardyne Ranger 2	1) Iridium Short Burst Data 2) WiFi
DATA RATE	Shore communication ability	1) 200 - 9000 bps 4) 9000 bps	1) Max: 1960 bytes

ENERGI			
ILUSTRASI			
TIPE	1) Two Battery Pack	1) Hydrogen Fuel Cell	1) Teckel SB-DO2 Lithium thionyl Chloride 2) NiMH
ENERGI	1) Primary Battery Pack: 12 kWh 2) Secondary Battery Pack: 8,3 kWh	250 kWh	25 Pack: 95 kWh

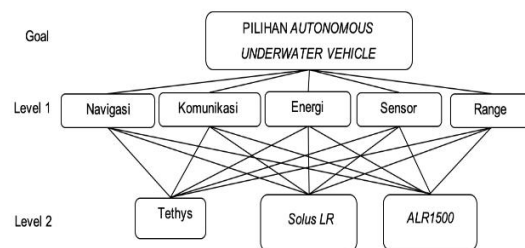
SENSOR			
ILUSTRASI			
TIPE	1) Conductivity Temperature Depth: Neil Brown GCTD 2) Photosynthetic ally available radiation: LI-COR Underwater	Choises of Standard Payload: 1) VLF towed array 2) Suction Anchor 3) Multi Beam Echosounder, Synthetic Aperture	1) Acoustic Doppler Current Profiler: Nortek 300/500 kWh Up and Down Facing 2) Conductivity Temperature and Depth:

Quantum Sensor 3) Chlorophyll and optical backscatter: Wetlabs ECO Puck Triplet 4) Supporting sensors with power levels averaging 5 watts	Sonar, Sidescan Sonar/Sub-bottom Profiling 4) Camera & Laser 5) OFG Self Compensating Magnetometer 6) CTD, pH, CO ₂ and other chemical sensors 7) Variable buoyancy system	SBE52MP CTD <i>Option of additional low quiescent power sensors:</i> 1) Rockland Microstructure Turbulence Probe 2) Fluorimeter 3) NOC chemical sensors <i>High powered sensors:</i> 3) Sidescan sonar: Sonardyne Solstice
---	--	--

RANGE/ENDURANCE			
ILUSTRA SI			
			
RANGE	1800-3000 km	2000 km	5000 km
ENDURA	500 hours	360 hours (15 days) at 3 kts	122 d
NCE	(21 days) at 2 kts		a y s

Analisa Data. Dari jawaban kusioner yang dianalisis menggunakan AHP dari masing-masing narasumber serta langkah-langkah perhitungannya, lalu di akhir bagian ini merupakan hasil akhir perhitungan serta penjelasan tentang kemampuan AUV terpilih.

Menentukan AUV dengan AHP
1) Membangun hirarki dari masalah. Dalam penelitian ini permasalahan yang dihadapi adalah memilih AUV yang ideal untuk dioperasikan di perairan ALKI II sebagai sistem pengawasan bawah air. Hirarki yang disusun terdiri dari dua level, dengan level puncak sebagai fokus/tujuan dari hirarki. Tujuan perhitungan AHP adalah "Pemilihan AUV", sedangkan level satu terdiri dari lima kriteria, dan level dua terdiri dari tiga alternatif. Hirarki model AHP secara lengkap disajikan dalam gambar berikut:



Gambar 8 Struktur Hirarki Pemilihan AUV

Untuk menyederhanakan persoalan kedalam bentuk yang sistematis, maka semua faktor yang berpengaruh dalam pemilihan AUV harus dipisahkan kedalam kelompok-kelompok hirarki (dalam penelitian ini level 1 dan 2): 1) Level 1 (Kriteria). Merupakan kemampuan-kemampuan yang menjadi bagian dari spesifikasi masing-masing alternatif. Kriteria ditentukan berdasarkan teori dasar AUV serta hasil wawancara dengan narasumber (Tabel 4.6). Kriteria yang dimaksud disini adalah: (K1) Navigasi, (K2) Komunikasi, (K3) Energi, (K4) Sensor, (K5) Range/Endurance. b) Level 2 (Alternatif). Merupakan tiga pilihan AUV yang diajukan kepada narasumber oleh peneliti berdasarkan hasil wawancara dan *research* terhadap penelitian-penelitian terdahulu serta produk beberapa perusahaan AUV. Alternatif yang dimaksud disini adalah: (A1) Tethys - Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI). (A2) Solus Long Range - Cellula Robotics. (A3) Autosub Long Range 1500 - National Oceanography Centre (NOC).

2) Menghitung *Weights* (W) atau *Priority Vector* dari Level 1 "Kriteria". Untuk mendapatkan nilai *weight* yang harus dilakukan pertama adalah menentukan prioritas dari kriteria atau alternatif tersebut menggunakan skala prioritas. Skala prioritas adalah sebuah sistem perbandingan antar faktor dalam matriks AHP yang menggunakan nilai 1 sampai dengan 9

untuk menentukan tingkat kepentingan satu faktor dibandingkan yang lainnya.

Tabel 8 Bobot Nilai Skala Prioritas

Tingkat Kepentingan	Definisi
1	Sama pentingnya dengan yang lain (<i>Equality Preferred</i>)
2	Sama ke moderat pentingnya dibanding yang lain (<i>Equally to Moderately</i>)
3	Moderat pentingnya dibanding yang lain (<i>Moderately Preferred</i>)
4	Moderat ke kuat pentingnya dibanding yang lain (<i>Moderately to Strongly Preferred</i>)
5	Kuat pentingnya dibanding yang lain (<i>Strongly Preferred</i>)
6	Kuat ke sangat kuat dibanding yang lain (<i>Strongly to Very Strongly Preferred</i>)
7	Sangat kuat pentingnya dibanding yang lain (<i>Very strongly Preferred</i>)
8	Sangat kuat ke ekstrim pentingnya dibanding yang lain (<i>Very Strongly to Extremely Preferred</i>)
9	Ekstrim pentingnya dibanding yang lain (<i>Extremely Preferred</i>)

Tabel 9 Bentuk Skala Prioritas Antar Faktor

Faktor A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Faktor B
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Nilai-nilai dalam skala inilah yang didapatkan dari kuesioner AHP yang diajukan ke narasumber dan selanjutnya diolah untuk mendapatkan prioritas pemilihan AUV. a) Melakukan Perbandingan Berpasangan Antar Matriks (*pairwise comparison*). Setelah menentukan Skala prioritas tiap faktor dalam level 1 (kriteria) dan level 2 (alternatif) maka dilanjutkan dengan pembentukan matriks perbandingan berpasangan.

Tabel 10 Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria Narasumber 2

KRITERIA	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	4	0,333333	0,16666667	0,25
K2	0,25	1	0,142857	0,142857143	0,25
K3	3	7	1	0,5	4
K4	6	7	2	1	3
K5	4	4	0,25	0,33333333	1
JUMLAH	14,25	23	3,72619	2,142857143	8,5

Tabel 8 dapat dilihat pembentukan matriks berpasangan untuk jawaban skala prioritas antar

kriteria dari hasil kuesioner Natasumber 2. Menurut Narasumber 2 K4 "Sensor" cukup penting dibanding K5 "Range/endurance" (nilai = 3). Oleh karena itu K5 "Range/endurance" diberi nilai kebalikannya, yaitu 1/3 dibandingkan K4 "Sensor".

Tabel 11 Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria Narasumber 3 dan 4

NARASUMBER 3					
KRITERIA	navigasi	komunikasi	energi	sensor	range
navigasi	1	3	0,33333333	0,14285714	0,25
komunikasi	0,33333333	1	0,16666667	0,14285714	0,2
energi	3	6	1	1	3
sensor	7	7	1	1	5
range	4	5	0,33333333	0,2	1
JUMLAH	15,33333333	22	2,83333333	2,48571429	9,45

NARASUMBER 4					
KRITERIA	navigasi	komunikasi	energi	sensor	range
navigasi	1	0,33333333	0,33333333	0,2	0,2
komunikasi	3	1	1	0,16666667	0,2
energi	3	1	1	1	0,33333333
sensor	5	6	1	1	0,5
range	5	5	3	2	1
JUMLAH	17	13,33333333	6,33333333	4,36666667	2,23333333

Setelah terbentuk matriks perbandingan, selanjutnya adalah normalisasi nilai setiap kolom matriks perbandingan berpasangan dengan membagi setiap nilai pada kolom matriks dengan hasil penjumlahan kolom yang bersesuaian.

Tabel 12 Perhitungan Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

KRITERIA	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	4	0,333333	0,16666667	0,25
K2	0,25	1	0,142857	0,14285714	0,25
K3	3	7	1	0,5	4
K4	6	7	2	1	3
K5	4	4	0,25	0,33333333	1
JUMLAH	14,25	23	3,72619	2,14285714	8,5

$$\begin{aligned}
 &0,25/8,5 = 0,02941176 \\
 &0,25/8,5 = 0,02941176 \\
 &4/8,5 = 0,47058824 \\
 &4/8,5 = 0,47058824 \\
 &1/8,5 = 0,11764706
 \end{aligned}$$

Menentukan *Weight* (W)/ *Alternatives Priority Vector*. *Weight* (W) atau *Alternatives Priority Vector* (vektor prioritas dari alternatif) merupakan bobot dari masing masing faktor (alternatif/kriteria) yang merupakan rata-rata tiap baris pada matriks yang sudah dinormalisasi. Seluruh jumlah tiap-tiap kolom pada matriks yang sudah dinormalisasi bereta dengan hasil *weight*-nya = 1. Maka didapatkan nilai W dari prioritas kriteria ketiga narasumber sebagai berikut:

Tabel 13 Rekapitulasi Hasil Normalisasi dan Weight Matriks Prioritas Kriteria

NARASUMBER 2						
Norm	navigasi	komunikasi	energi	sensor	range	WEIGHT HT
navigasi	0,070175	0,173913043	0,089457	0,07777778	0,029412	0,088147
komunikasi	0,017544	0,043478261	0,038339	0,06666667	0,029412	0,039088
energi	0,210526	0,304347826	0,268371	0,23333333	0,470588	0,297433
sensor	0,421053	0,304347826	0,536741	0,46666667	0,352941	0,41635
range	0,280702	0,173913043	0,067093	0,15555556	0,117647	0,158982
jumlah	1	1	1	1	1	1

NARASUMBER 3						
Norm	navigasi	komunikasi	energi	sensor	range	WEIGHT HT
navigasi	0,06521739	0,13636364	0,11764706	0,05747126	0,02645503	0,08063088
komunikasi	0,02173913	0,04545455	0,05882353	0,05747126	0,02116402	0,0409305
energi	0,19565217	0,27272727	0,35294118	0,40229885	0,31746032	0,30821596
sensor	0,45652174	0,31818182	0,35294118	0,40229885	0,52910053	0,41180882
range	0,26086957	0,22727273	0,11764706	0,08045977	0,10582011	0,15841385
jumlah	1	1	1	1	1	1

NARASUMBER 4						
Norm	navigasi	komunikasi	energi	sensor	range	WEIGHT HT
navigasi	0,05882353	0,025	0,05263158	0,04580153	0,08955224	0,05436177
komunikasi	0,17647059	0,075	0,15789474	0,03816794	0,08955224	0,1074171
energi	0,17647059	0,075	0,15789474	0,22900763	0,14925373	0,15752534
sensor	0,29411765	0,45	0,15789474	0,22900763	0,2238806	0,27098012
range	0,29411765	0,375	0,47368421	0,45801527	0,44776119	0,40971566
jumlah	1	1	1	1	1	1

Pengujian Konsistensi. Untuk menguji apakah Bobot atau Vektor Prioritas dari alternatif yang dihasilkan sudah konsisten, maka dilakukan perhitungan Rasio Konsistensi (*Consistency Ratio*). Untuk menemukan rasio konsistensi, yang pertama dilakukan adalah mencari nilai *Weight Sum Vector* (Ws) dengan rumus: $Ws = [C] \times W$. Dimana [C] merupakan matriks perbandingan kriteria dan W merupakan kolom *weight*. Maka pada perhitungan Ws matriks kriteria Narasumber 2 didapatkan:

KRITERIA	K1	K2	K3	K4	K5	WEIGHT	Ws
K1	1	4	0,333333	0,16666667	0,25	0,088147	0,45278
K2	0,25	1	0,142857	0,142857143	0,25	0,039088	0,202839
K3	3	7	1	0,5	4	0,297433	1,679592
K4	6	7	2	1	3	0,41635	2,290659
K5	4	4	0,25	0,333333333	1	0,158982	0,881063

Setelah perhitungan *Weight Sum Vector* dilanjutkan dengan perhitungan *Consistency Vector* (CV) dengan rumus $CV = Ws \times (1/W)$ atau sama dengan $CV = Ws \div W$. Maka pada perhitungan CV matriks kriteria

Ws	WEIGHT	CV
0,45278	0,088147	5,136647
0,202839	0,039088	5,189315
1,679592	0,297433	5,646954
2,290659	0,41635	5,501765
0,881063	0,158982	5,541903

Narasumber 2 didapatkan: Setelah didapatkan nilai CV selanjutnya dicari nilai rata-rata dari seluruh nilai pada kolom CV tersebut sebagai nilai λ (*eigen value*). Maka $\lambda = (5,136647 + 5,189315 + 5,646954 + 5,501765 + 5,541903) \div 5 = 5,403317$.

Langkah selanjutnya adalah menghitung *Consistency Index* (CI) dengan rumus $CI = (\lambda - n) \div (n - 1)$. Dengan diketahui $n = 5$ (lima kriteria yang diuji). Maka $CI = (5,403317 - 5) \div (5 - 1) = 0,100829$. Jika $CI = 0$, maka pengambilan keputusan yg sangat konsisten, sedangkan $CI > 0$, maka pengambilan keputusan yang tidak konsisten (inkonsisten). Jika nilai $CI >$

0, maka harus melaksanakan perhitungan *Consistency Ratio* (CR) menggunakan nilai *Random Consistency Index* (RI). Nilai RI ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 14 Nilai *Random Consistency Index*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	0,0		0,5	0,7	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4
I	0	0	8	9	2	4	2	1	5

Karena $n = 5$ maka nilai RI = 1,12 (Berdasarkan Tabel 4.10). Dengan rumus $CR = CI \div RI$ maka didapati $CR = 0,100829 \div 1,12 = 0,090026$. Berdasarkan hasil penghitungan ini, maka tingkat konsistensi penghitungan AHP adalah 0,090026 sehingga dikategorikan memuaskan (cukup konsisten) karena nilainya $CR \leq 0,10$.

Tabel 15 Rekapitulasi Perhitungan Nilai *Weight*, *Weight Sum Vector*, dan *Consistency Vector* Matriks Prioritas Kriteria

NARASUMBER 2						NARASUMBER 3					
WEIGHT	Ws	CV	WEIGHT	Ws	CV	WEIGHT	Ws	CV	WEIGHT	Ws	CV
0,088146979	0,45278	5,136647	0,08063088	0,40459432	5,0178584	0,088146979	0,45278	5,136647	0,08063088	0,40459432	5,0178584
0,039087842	0,202839	5,189315	0,0409305	0,20968938	5,12305966	0,039087842	0,202839	5,189315	0,0409305	0,20968938	5,12305966
0,297433264	1,679592	5,646954	0,30821596	1,68274193	5,45961975	0,297433264	1,679592	5,646954	0,30821596	1,68274193	5,45961975
0,416349903	2,290659	5,501765	0,41180882	2,36302362	5,73815687	0,416349903	2,290659	5,501765	0,41180882	2,36302362	5,73815687
0,158982013	0,881063	5,541903	0,15841385	0,87069026	5,49630149	0,158982013	0,881063	5,541903	0,15841385	0,87069026	5,49630149
jumlah = 1	λ	5,403317	jumlah = 1	λ	5,36699923	jumlah = 1	λ	5,403317	jumlah = 1	λ	5,36699923
CI		0,100829	CI		0,09174981	CI		0,100829	CI		0,09174981
CR		0,090026	CR		0,08191947	CR		0,090026	CR		0,08191947
NARASUMBER 4						NARASUMBER 5					
WEIGHT	Ws	CV	WEIGHT	Ws	CV	WEIGHT	Ws	CV	WEIGHT	Ws	CV
0,05436177	0,27881508	5,12888108	0,05436177	0,27881508	5,12888108	0,05436177	0,27881508	5,12888108	0,05436177	0,27881508	5,12888108
0,1074171	0,55513425	5,16802489	0,1074171	0,55513425	5,16802489	0,1074171	0,55513425	5,16802489	0,1074171	0,55513425	5,16802489
0,15752534	0,83557977	5,30441505	0,15752534	0,83557977	5,30441505	0,15752534	0,83557977	5,30441505	0,15752534	0,83557977	5,30441505
0,27098012	1,54967477	5,71877654	0,27098012	1,54967477	5,71877654	0,27098012	1,54967477	5,71877654	0,27098012	1,54967477	5,71877654
0,40971566	2,2331463	5,45047822	0,40971566	2,2331463	5,45047822	0,40971566	2,2331463	5,45047822	0,40971566	2,2331463	5,45047822
jumlah = 1	λ	5,35411516	jumlah = 1	λ	5,35411516	jumlah = 1	λ	5,35411516	jumlah = 1	λ	5,35411516
CI		0,08852879	CI		0,08852879	CI		0,08852879	CI		0,08852879
CR		0,07904356	CR		0,07904356	CR		0,07904356	CR		0,07904356

Nilai CR dari seluruh perhitungan jawaban kuesioner ketiga narasumber adalah kurang dari 0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang didapat dari kuesioner AHP level 1 (kriteria) konsisten = *valid*.

3) Menghitung *Weights* (W) atau *Priority Vector* dari Level 2 "Alternatif".

a) Melakukan Perbandingan Berpasangan Antar Matriks (*pairwise comparison*) Matriks perbandingan berpasangan antar alternatif terdiri atas bobot penilaian narasumber terhadap tiga pilihan produk AUV berdasarkan lima kriteria yang sudah ditentukan, sehingga pada perhitungan tiap Narasumber memiliki lima matriks perbandingan alternatif.

Tabel 16 Rekapitulasi Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif

NARASUMBER 2							
Navigasi	TET HYS	SOL US	AUT OS UB	Komunikasi	TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	0,142857	2	TETHYS	1	0,166667	0,333333
SOL US	7	1	6	SOLUS	6	1	5
AUT OS UB	0,5	0,166667	1	AUTOSUB	3	0,2	1
jumlah	8,5	1,309524	9	jumlah	10	1,366667	6,333333
Energi	TET HYS	SOL US	AUT OS UB	Sensor	TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	0,142857	0,333333	TETHYS	1	0,142857	0,166667
SOL US	7	1	5	SOLUS	7	1	0,5
AUT OS UB	3	0,2	1	AUTOSUB	6	2	1
jumlah	11	1,342857	6,333333	jumlah	14	3,142857	1,666667
Endurance	TET HYS	SOL US	AUT OS UB		TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	0,166667	0,2		1	0,166667	0,5
SOL US	6	1	0,5		6	1	5
AUT OS UB	5	2	1		5	2	1
jumlah	12	3,166667	1,7		12	3,166667	1,7
NARASUMBER 3							
Navigasi	TET HYS	SOL US	AUT OS UB	Komunikasi	TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	0,2	3	TETHYS	1	0,166667	0,5
SOL US	5	1	6	SOLUS	6	1	5
AUT OS UB	0,333333	0,166667	1	AUTOSUB	2	0,2	1

juml ah	6,33 333 3	1,36 666 7	10	jumlah	9	1,3666 67	6,5
Ene rgi	TET HYS	SOL US	AUT OS UB	Sensor	TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	0,14 285 7	0,33 333	TETHYS	1	0,125	0,33333
SOL US	7	1	6	SOLUS	8	1	6
AUT OS UB	3	0,16 666 7	1	AUTOSUB	3	0,1666 67	1
juml ah	11	1,30 952 4	7,33 333	jumlah	12	1,2916 67	7,33333
End ura nce	TET HYS	SOL US	AUT OS UB				
TET HYS	1	0,33 333	0,5				
SOL US	3	1	4				
AUT OS UB	2	0,25	1				
juml ah	6	1,58 333	5,5				

NARASUMBER 4

Navi gasi	TET HYS	SOL US	AUT OS UB	Komunika si	TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	2	0,25	TETHYS	1	0,3333 33	1
SOL US	0,5	1	0,2	SOLUS	3	1	3
AUT OS UB	4	5	1	AUTOSUB	1	0,3333 33	1
juml ah	5,5	8	1,45	jumlah	5	1,6666 67	5
Ene rgi	TET HYS	SOL US	AUT OS UB	Sensor	TET HYS	SOLUS	AUTOSUB
TET HYS	1	0,2	0,5	TETHYS	1	0,25	3
SOL US	5	1	4	SOLUS	4	1	5
AUT OS UB	2	0,25	1	AUTOSUB	0,33 33	0,2	1
juml ah	8	1,45	5,5	jumlah	5,33 33	1,45	9
End ura nce	TET HYS	SOL US	AUT OS UB				
TET HYS	1	0,33 333 3	0,33 333 3				
SOL US	3	1	0,2				
AUT OS UB	3	5	1				
juml ah	4,33 333 3	9	1,53 333 3				

b) Menentukan *Weight* (W)/Alternatives Priority Vector

Tabel 17 Rekapitulasi Hasil Normalisasi dan Weight Matriks Prioritas Alternatif

NARASUMBER 2					
NAV	Norm	weight (W)			
	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB		
	TETHY S	0,117647	0,109091	0,222222	0,149653397
	SOLUS	0,823529	0,763636	0,666667	0,751277481
	AUTOS UB	0,058824	0,127273	0,111111	0,099069123
jumlah	1	1	1	1	

KOM	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,1	0,121951	0,052632	0,091527599
	SOLUS	0,6	0,731707	0,789474	0,707060334
	AUTOS UB	0,3	0,146341	0,157895	0,201412067
	jumlah	1	1	1	1
ENRG	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,090909	0,106383	0,052632	0,083307883
	SOLUS	0,636364	0,744681	0,789474	0,723506057
	AUTOS UB	0,272727	0,148936	0,157895	0,19318606
	jumlah	1	1	1	1
SEN	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,071429	0,045455	0,1	0,072294372
	SOLUS	0,5	0,318182	0,3	0,372727273
	AUTOS UB	0,428571	0,636364	0,6	0,554978355
	jumlah	1	1	1	1
END	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,0833333	0,052632	0,117647	0,08453732
	SOLUS	0,5	0,315789	0,294118	0,36996904
	AUTOS UB	0,416667	0,631579	0,588235	0,54549364
	jumlah	1	1	1	1

NARASUMBER 3

NAV	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,1578947 4	0,1463414 6	0,3	0,20141207
	SOLUS	0,7894736 8	0,7317073 2	0,6	0,70706033
	AUTOS UB	0,0526315 8	0,1219512 2	0,1	0,0915276
	jumlah	1	1	1	1
KOM	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,1111111 1	0,1219512 2	0,0769230 8	0,10332847
	SOLUS	0,6666666 7	0,7317073 2	0,7692307 7	0,72253492
	AUTOS UB	0,2222222 2	0,1463414 6	0,1538461 5	0,17413661
	jumlah	1	1	1	1
ENRG	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,0909090 9	0,1090909 1	0,0454545 5	0,08181818
	SOLUS	0,6363636 4	0,7636363 6	0,8181818 2	0,73939394
	AUTOS UB	0,2727272 7	0,1272727 3	0,1363636 4	0,17878788
	jumlah	1	1	1	1
SEN	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,0833333 3	0,0967741 9	0,0454545 5	0,07518736
	SOLUS	0,6666666 7	0,7741935 5	0,8181818 2	0,75301401
	AUTOS UB	0,25	0,1290322 6	0,1363636 4	0,17179863
	jumlah	1	1	1	1
END	Norm	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	weight (W)
	TETHY S	0,1666666 7	0,2105263 2	0,0909090 9	0,15603402
	SOLUS	0,5	0,6315789 5	0,7272727 3	0,61961722

	AUTOSUB	0,3333333	0,1578947	0,1818181	
	UB	3	4	8	0,22434875
	jumlah	1	1	1	1
NARASUMBER 4					
NAV	Norm				weight (W)
	TETHYS		SOLUS	AUTOSUB	
	TETHYS	0,1818181	0,25	0,1724137	0,20141066
	S	8		9	
	SOLUS	0,0909090	0,125	0,1379310	0,11794671
	UB	9		3	
KOM	Norm				weight (W)
	TETHYS		SOLUS	AUTOSUB	
	TETHYS	0,2	0,2	0,2	0,2
	S				
	SOLUS	0,6	0,6	0,6	0,6
	UB	0,2	0,2	0,2	0,2
ENRG	Norm				weight (W)
	TETHYS		SOLUS	AUTOSUB	
	TETHYS	0,125	0,1379310	0,0909090	0,11794671
	S		3	9	
	SOLUS	0,625	0,6896551	0,7272727	0,68064263
	UB	0,25	0,1724137	0,1818181	0,20141066
SEN	Norm				weight (W)
	TETHYS		SOLUS	AUTOSUB	
	TETHYS	0,1875	0,1724137	0,3333333	0,23108238
	S		9	3	
	SOLUS	0,75	0,6896551	0,5555555	0,66507024
	UB	0,0625	0,1379310	0,1111111	0,10384738
END	Norm				weight (W)
	TETHYS		SOLUS	AUTOSUB	
	TETHYS	0,2307692	0,3333333	0,2173913	0,26049796
	S	3	3		
	SOLUS	0,0769230	0,1111111	0,1304347	0,10615632
	UB	8	1	8	
NARASUMBER 2	Norm				weight (W)
	TETHYS		SOLUS	AUTOSUB	
	TETHYS	0,2307692	0,3333333	0,2173913	0,26049796
	S	3	3		
	SOLUS	0,0769230	0,1111111	0,1304347	0,10615632
	UB	8	1	8	

c) Pengujian Konsistensi. Pada dasarnya proses pengujian konsistensi level 2 sama dengan level 1, namun dengan perbedaan pada nilai n dan RI. Karena terdapat tiga alternatif maka n = 3, sehingga sesuai Tabel 4.11 RI = 0,58.

Tabel 18 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Weight, Weight Sum Vector, dan Consistency Vector Matriks Prioritas Alternatif

NARASUMBER 2					
NAVIGASI			KOMUNIKASI		
weight (W)	Ws	CV	weight (W)	Ws	CV
0,149653397	0,455117	3,041140437	0,091527599	0,276508	3,021037868

0,751277481	2,393266	3,185595276	0,707060334	2,263286	3,200980392
0,099069123	0,299109	3,019192323	0,201412067	0,617407	3,065391969
jumlah = 1	λ	3,081976012	jumlah = 1	λ	3,09580341
CI		0,040988006	CI		0,047901705
CR		0,070668976	CR		0,082589146
ENERGI			SENSOR		
weight (W)	Ws	CV	weight (W)	Ws	CV
0,083307883	0,251061	3,01365532	0,072294372	0,218038	3,015968064
0,723506057	2,272592	3,141081563	0,372727273	1,156277	3,102206736
0,19318606	0,587811	3,042719129	0,554978355	1,734199	3,124804992
jumlah = 1	λ	3,06581867	jumlah = 1	λ	3,080993264
CI		0,032909335	CI		0,040496632
CR		0,056740233	CR		0,069821779
ENDURANCE					
weight (W)	Ws	CV			
0,084537	0,255298	3,019939			
0,369969	1,14994	3,108205			
0,545494	1,708118	3,131326			
jumlah = 1	λ	3,08649			
CI		0,043245			
CR		0,07456			

NARASUMBER 3					
NAVIGASI			KOMUNIKASI		
weight (W)	Ws	CV	weight (W)	Ws	CV
0,20141207	0,61740693	3,06539197	0,10332847	0,31081926	3,00806994
0,70706033	2,26328626	3,20098039	0,72253492	2,2131888	3,06308906
0,0915276	0,27650834	3,02103787	0,17413661	0,52530054	3,01660016
jumlah = 1	λ	3,09580341	jumlah = 1	λ	3,02925305
CI		0,0479017	CI		0,01462653
CR		0,08258915	CR		0,02521815
ENERGI			SENSOR		
weight (W)	Ws	CV	weight (W)	Ws	CV
0,08181818	0,24704185	3,01940035	0,07518736	0,22658032	3,0135428
0,73939394	2,38484848	3,22540984	0,75301401	2,38530466	3,16767633
0,17878788	0,54747475	3,06214689	0,17179863	0,52286304	3,04346452
jumlah = 1	λ	3,10231903	jumlah = 1	λ	3,07489455
CI		0,05115951	CI		0,03744727
CR		0,08820606	CR		0,06456427
ENDURANCE					
weight (W)	Ws	CV			
0,15603402	0,47474747	3,04258944			
0,61961722	1,9851143	3,2037752			
0,22434875	0,69132111	3,08145735			
jumlah = 1	λ	3,109274			

CI	0,054637				
CR	0,09420172				
NARASUMBER 4					
NAVIGASI			KOMUNIKASI		
weight (W)	Ws	CV	weight (W)	Ws	CV
0,20141066	0,60746473	3,01605058	0,2	0,6	3
0,11794671	0,35478056	3,00797342	0,6	1,8	3
0,68064263	2,07601881	3,05008636	0,2	0,6	3
jumlah = 1	λ	3,02470345	jumlah = 1	λ	3
CI	0,01235173		CI		0
CR	0,02129608		CR		0
ENERGI			SENSOR		
weight (W)	Ws	CV	weight (W)	Ws	CV
0,11794671	0,35478056	3,00797342	0,23108238	0,70889208	3,0
0,68064263	2,07601881	3,05008636	0,66507024	2,10863665	3,1
0,20141066	0,60746473	3,01605058	0,10384738	0,31388889	3,0
jumlah = 1	λ	3,02470345	jumlah = 1	λ	3,08649441
CI	0,01235173		CI		0,03337472
CR	0,02129608		CR		0,04353355
ENDURANCE					
weight (W)	Ws	CV			
0,26049796	0,79008217	3,03296877			
0,10615632	0,31965812	3,01120187			
0,63334572	1,94562121	3,0719734			
jumlah = 1	λ	3,03871468			
CI	0,01935734				
CR	0,03337472				

Tabel 18 menampilkan nilai CR dari seluruh perhitungan jawaban kuesioner ketiga narasumber adalah kurang dari 0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang didapat dari kuesioner AHP level 2 (alternatif) konsisten = *valid*.

4) Menghitung Perankingan Alternatif. Perankingan alternatif merupakan hasil akhir dari rangkaian proses perhitungan AHP dimana didapatkan urutan sesuai hirarki dari pilihan yang paling besar bobotnya sampai yang paling kecil. Perankingan alternatif didapatkan dengan cara mengalikan setiap kolom bobot alternatif dengan kolom bobot kriteria yang bersesuaian.

a) Transpose vektor *weight* dari tiap alternatif. Bentuk matriks baru (matriks bobot [W] gabungan) dengan menggunakan nilai dari *weight* matriks tiap alternatif. Berikut contoh pembentukan matriks bobot gabungan Narasumber 2.

weight (W)	weight (W)	weight (W)
0,149653397	0,091527599	0,083307883
0,751277481	0,707060334	0,723506057
0,099069123	0,201412067	0,19318606
(nav)	(kom)	(enrg)

BOBOT GAB	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	BOBOT KRITERIA
Navigasi	0,149653	0,751277	0,099069	0,088146979
Komunikasi	0,091528	0,70706	0,201412	0,039087842
Energi	0,083308	0,723506	0,193186	0,297433264
Sensor	0,072294	0,372727	0,554978	0,416349903
Endurance	0,084537	0,369969	0,084537	0,158982013

weight (W)	weight (W)	WEIGHT
0,072294372	0,084537324	0,088146979
0,372727273	0,36996904	0,039087842
0,554978355	0,545493636	0,297433264
		0,416349903
		0,158982013
		(krit)

Gambar 9 Proses Pembentukan Matriks Bobot Gabungan

b) Menghitung perankingan. Setelah terbentuk matriks bobot (*weight*) gabungan, langkah selanjutnya adalah mengalikan nilai pada kolom alternatif dengan nilai pada kolom bobot kriteria yang berpasangan (dalam satu baris)

BOBOT GAB	TETHYS	SOLUS	AUTOSUB	BOBOT KRITERIA
Navigasi	0,149653	0,751277	0,099069	0,088146979
Komunikasi	0,091528	0,70706	0,201412	0,039087842
Energi	0,083308	0,723506	0,193186	0,297433264
Sensor	0,072294	0,372727	0,554978	0,416349903
Endurance	0,084537	0,369969	0,084537	0,158982013

Gambar 10 Proses Perhitungan Perankingan Matriks Bobot Gabungan Narasumber 2

Pada Tabel 16 terlihat nilai-nilai yang diwarnai adalah nilai pada kolom yang saling berpasangan untuk perhitungan bobot perankingan alternatif Tethys (A1). Maka nilai bobot perankingan Tethys AUV =
 $(0,149653 \times 0,088146979)$
 $(0,091528 \times 0,039087842)$
 $(0,083308 \times 0,297433264)$
 $(0,072294 \times 0,416349903)$
 $(0,084537 \times 0,158982013) = 0,085087$.

Perhitungan tersebut dilaksanakan terhadap setiap kolom alternatif dan baris kriteria sehingga didapatkan urutan perankingan sebagai berikut:

Tabel 19 Rekapitulasi Perangkingan Alternatif dan Kriteria

NARASUMBER 2					
BOBO T GAB	TETHY S	SOLUS	AUTOS UB	BOBOT KRITERIA	RANGKING KRITERIA
naviga si	0,1496 53397	0,7512 77481	0,0990 69123	0,08814 6979	NAVIGA 4 SI
komu nikasi	0,0915 27599	0,7070 60334	0,2014 12067	0,03908 7842	KOMUN 5 IKASI
energi	0,0833 07883	0,7235 06057	0,1931 8606	0,29743 3264	2 ENERGI
sensor	0,0722 94372	0,3727 27273	0,5549 78355	0,41634 9903	1 SENSOR
range	0,0845 37324	0,3699 6904	0,0845 37324	0,15898 2013	ENDUR 3 ANCE
RANKI NG	0,0850 87315	0,5230 58457	0,3185 70465		
	3	1	2		
	TETHY S	SOLUS	AUTOS UB		
NARASUMBER 3					
BOBO T GAB	TETHY S	SOLUS	AUTOS UB	BOBOT KRITERIA	RANGKING KRITERIA
naviga si	0,2014 12067	0,7070 60334	0,0915 27599	0,08063 0875	NAVIGA 4 SI
komu nikasi	0,1033 28469	0,7225 34918	0,1741 36613	0,04093 0498	KOMUN 5 IKASI
energi	0,0818 18182	0,7393 93939	0,1787 87879	0,30821 5958	2 ENERGI
sensor	0,0751 87357	0,7530 14011	0,1717 98631	0,41180 8823	1 SENSOR
range	0,1560 34024	0,6196 17225	0,1560 34024	0,15841 3845	ENDUR 3 ANCE
RANKI NG	0,1013 67753	0,7227 3138	0,1650 78868		
	3	1	2		
	TETHY S	SOLUS	AUTOS UB		
NARASUMBER 4					
BOBO T GAB	TETHY S	SOLUS	AUTOS UB	BOBOT KRITERIA	RANGKING KRITERIA
naviga si	0,2014 1066	0,1179 4671	0,6806 4263	0,05436 1775	NAVIGA 5 SI
komu nikasi	0,2 0,1179	0,6 4671	0,2 4263	0,10741 1775	KOMUN 4 IKASI
energi	0,1179 4671	0,6806 4263	0,2014 1066	0,15752 5338	3 ENERGI
sensor	0,2310 8238	0,6650 7024	0,1038 4738	0,27098 0123	2 SENSOR
range	0,2604 9796	0,1061 5632	0,2604 9796	0,40971 5664	ENDUR 1 ANCE
RANKI NG	0,2203 6088	0,4017 9524	0,2250 8231		
	3	1	2		
	TETHY S	SOLUS	AUTOS UB		

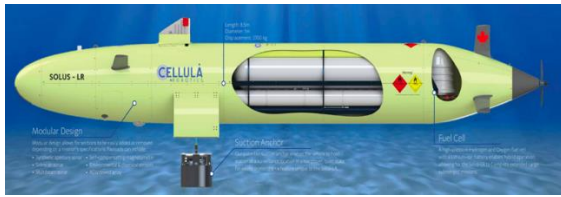
Dari rekapitulasi perangkingan ketiga narasumber terlihat bahwa menurut Narasumber 2 dan 3 kriteria yang paling penting adalah kemampuan sensor diikuti dengan

sistem energi dan yang paling tidak penting adalah kemampuan komunikasi, di sisi lain menurut Narasumber 4 yang paling penting adalah *endurance* diikuti dengan sensor dan yang paling tidak penting adalah navigasi. Walaupun dengan perbedaan preferensi kriteria antar narasumber, pada perhitungan perangkingan alternatif seluruh narasumber menghasilkan perangkingan yang sama yaitu: 1. Solus LR, 2. ALR1500, dan 3. Tethys. Maka dapat disimpulkan bahwa AUV yang paling ideal untuk tugas pengawasan bawah air di perairan ALKI II adalah Solus Long Range AUV.

Hasil Akhir Rancangan Konsep Pengembangan

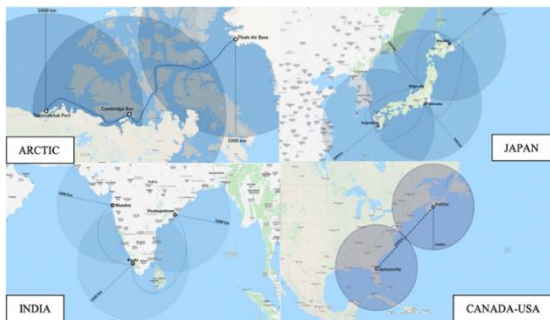
Setelah pembentukan konsep awal dan pengujian konsep tersebut menggunakan metode wawancara kuesioner dan AHP, diikuti dengan koreksi dan penyempurnaan rancangan konsep awal sehingga terbentuklah rancangan konsep utama. Dalam bagian ini dijabarkan konsep utama tersebut yang merupakan produk sebagai rancangan akhir dari rangkaian penelitian Konsepsi Penggunaan AUV sebagai Underwater Surveillance di ALKI.

a. AUV yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian dan kuesioner AHP, dalam konsep pengawasan bawa air menggunakan AUV ini akan menggunakan Solus Long Range buatan Cellula Robotics, Kanada. Spesifikasi *general* sistem navigasi, komunikasi, energi, sensor, dan *range/endurance* dapat dilihat pada Tabel 4.5. Dalam bagian ini lebih dijelaskan mengenai kemampuan operasional AUV tersebut.



Gambar 11 Solus Long Range AUV
(Sumber:
<https://www.cellula.com/solus-lr>)

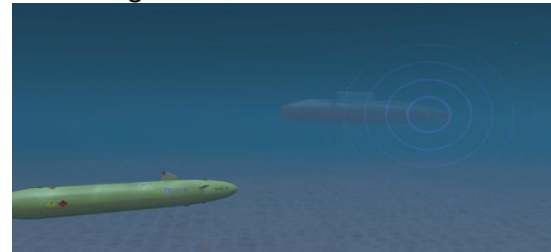
Solus LR termasuk AUV jenis LAUV (*Large Autonomous Underwater Vehicle*) dengan panjang 8.5 m, diameter 1 m, dan berat 3700 kg. Dengan dimensi fisik yang besar, Solus LR didesain untuk melaksanakan operasi-operasi yang bersifat *port to port*. Jarak jangkauan Solus LR dengan kecepatan 0.7-2 m/s (4 kts) dapat melebihi 2000 km, dan apabila dibutuhkan dapat dimodifikasi untuk memiliki kemampuan menjangkau jarak sampai dengan 4000 km.



Gambar 12 Operasi *Port to Port* Solus LR (Sumber:
<https://www.cellula.com/solus-lr>)

1) *Port to Port Mission*. Sistem energi Solus LR mampu meregenerasi energi yang besar sehingga kemampuan menjangkau jarak yang sangat panjang ini berarti untuk mengoperasikan Solus LR tidak perlu menggunakan kapal permukaan lain untuk *deploy* maupun *recovery*, melainkan dapat dilaksanakan di pelabuhan. Hal ini juga berarti tidak perlu mengeluarkan biaya dan tenaga untuk mengerahkan aset kapal permukaan demi menjalankan operasi pengawasan.

2) Pengawasan menggunakan Teknologi *Suction Anchor*



Gambar 13 Solus LR dalam Keadaan *Anchored* (Sumber:
<https://www.cellula.com/solus-lr>)

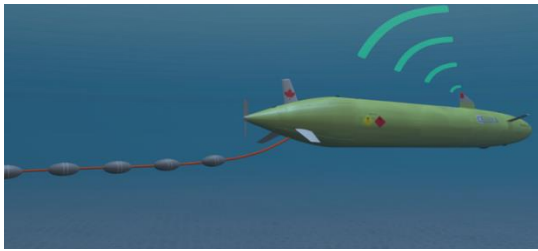
Dengan menggunakan teknologi *suction anchor* Solus LR memiliki kemampuan untuk mempertahankan posisi dengan keadaan tertambat di dasar laut dan mampu bertahan dalam kecepatan arus sampai 2 m/s. Ketika dalam mode ini emisi akustik Solus LR sangat kecil sehingga dapat secara rahasia mendengarkan sinyal dari berbagai jenis target deteksi, terlebih lagi dapat komunikasi kembali ke pangkalan apabila menemukan kontak yang parameternya sudah didefinisikan sebelumnya.

3) *Deployment* dan *Recovery* Muatan Tambahan. Dengan menggunakan teknologi *variable buoyancy system* Solus LR memiliki kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan walaupun massa berkurang ketika muatan tambahan dilepaskan melalui pintu badan AUV. Begitu pula ketika Solus LR mengambil kembali muatan tersebut, AUV dapat menyesuaikan kembali dengan bertambahnya massa. *Variable buoyancy system* Solus LR dapat mencapai massa 50 kg.



Gambar 14 Pintu pada Badan Solus LR (Sumber:
<https://www.cellula.com/solus-lr>)

4) *Deployment* dan *Recovery* Muatan Tambahan



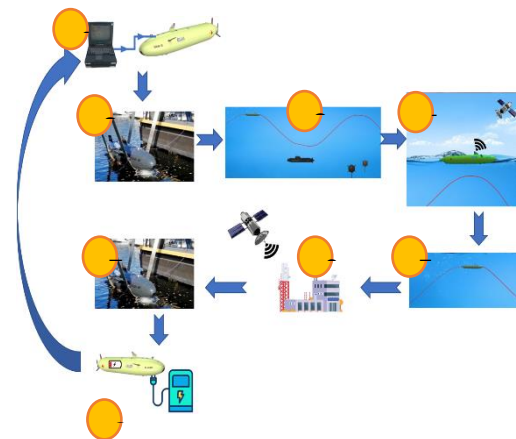
Gambar 15 Solus LR Menarik *Towed Array* (Sumber: <https://www.cellula.com/solus-lr>)

Solus LR juga memiliki kemampuan untuk mengarahkan *barrier* anti kapal selam menggunakan teknologi *towed array*. Apabila suatu saat sistem tersebut mendeteksi sinyal yang memiliki karakteristik target yang sudah di *preset* sebelumnya, maka AUV dapat mengomunikasikan hal tersebut ke permukaan atau pangkalan dan dapat mengubah mode menjadi mode aktif untuk melokalisir kontak tersebut.

5) *Safety and Handling*: a) Deteksi kesalahan dan kebocoran, b) Antena dengan *strobe* dan GPS c) *Drop-weight*, d) *Watchdog timers*, e) *Pop-off buoy & nose lift*, f) Alat control bagian depan untuk meningkatkan daya manuver, g) *Obstacle avoidance sonar* arah depan, h) *Launch* dan *recovery* dari *boat ramp* (menggunakan trailer), tidak membutuhkan kapal permukaan.

b. Konsep Utama. Setelah mengetahui produk AUV yang akan digunakan (Solus LR), maka dibentuk konsep utama penggunaan AUV yang bersifat lebih rinci. Gambar 4.14 merupakan ilustrasi langkah demi langkah penggunaan AUV sebagai sistem pengawasan bawah air di ALKI II: 1) Laksanakan *preset* data ke dalam sistem Solus LR yang meliputi *track* dari pelabuhan titik *start* sampai

ke pelabuhan titik *finish*, kedalam operasional, waktu untuk *resurface*, parameter/karakteristik sinyal akustik target pendeteksian (bila ada), perintah-perintah tambahan (seperti melaksanakan *anchoring*, melepaskan muatan tambahan, dst.). 2) *Deploy* Solus LR di pelabuhan yang menjadi titik *start*. 3) Solus LR melaksanakan pengawasan bawah air sesuai dengan perintah-perintah yang telah di-*preset* dan merekam semua kontak yang ditemui. Agar tidak mengganggu ekosistem, pancaran sinyal akustik LF tidak dilaksanakan terus menerus bila tidak sedang mendeteksi sinyal akustik yang termasuk parameter kontak target. Terlebih lagi Solus LR memiliki perangkat kamera, sehingga lebih mudah untuk melaksanakan identifikasi terhadap kontak



Gambar 16 Konsep Utama

4) Tiap 4 jam Solus LR melaksanakan *resurface* untuk mengirimkan data ke satelit Iridium. 5) Setelah proses pengiriman data selesai, Solus LR kembali melanjutkan misi pengawasannya sesuai *track*. 6) Data yang dikirim ke satelit Iridium diteruskan ke Pusat Komando dan Pengendalian TNI AL dan Staf Operasi Armada II untuk ditindaklanjuti. 7) Setelah sampai ke pelabuhan yang sudah *preset* menjadi titik *finish*, Solus LR diangkat untuk mengisi ulang daya (kurang lebih 12 jam) dan perawatan. 8)

Setelah daya Solus LR penuh dan dalam kondisi siap untuk digunakan, ulangi lagi mulai dari langkah pertama.

Dengan kemampuan *suction anchor* Solus LR untuk melaksanakan pengawasan bawah air selagi mempertahankan posisi, maka kemampuan tersebut dapat dimanfaatkan untuk pengawasan stasioner di *gateway* ALKI II, selain itu agar sepanjang ALKI tetap terwujudkan pengawasan maka dapat digunakan dua AUV untuk berjalan sepanjang ALKI. Dengan lebar ALKI sebesar 50 mil atau setara dengan sekitar 80,5 km, maka dengan mengasumsikan sonar LF dapat mencapai jarak deteksi sampai 100 km, bila *track* kedua AUV tersebut ditempatkan dengan jarak antara sebesar ± 27 km area deteksi secara paralel akan *overlap* sehingga lebar ALKI II ter-cover sepanjang perjalanan AUV.



Gambar 17 *Track* AUV pada Konsep Utama

Pada Gambar 17 dua garis merah merupakan *track* kedua Solus LR AUV, sedangkan dua lingkaran merah merupakan ilustrasi cakupan jarak pengawasan Solus LR bila di simulasikan aktif menggunakan sonar LF sedang melaksanakan pengawasan selagi *anchored* (masing-masing lingkaran satu AUV). Karena kemampuan cepat jelajah standar Solus LR adalah 2 m/s, maka dengan panjang ALKI II sepanjang 1.220 km

dan pergerakan naik-turun AUV sesuai dengan kedalaman operasional serta ketentuan untuk *resurface* tiap empat jam, dalam sekali jalan dari satu ujung ALKI II ke ujung lain akan memakan waktu selama kurang lebih 169,8 jam = 7 hari 1 jam 48 menit, sehingga masih tersisa banyak energi untuk mencapai pelabuhan titik *finish* dari ujung ALKI II.

4. KESIMPULAN

Dengan berbagai teknologi bawah air yang bertambah muthakir pada era sekarang membuka pintu bagi ancaman-ancaman baru. Dalam menghadapi hal tersebut perlu diadakan sebuah sistem pengawasan bawah air yang efektif oleh TNI AL agar dapat mempertahankan kedaulatannya di laut Indonesia sesuai dengan teori *Sea Control*.

Dengan menggunakan teori-teori dasar yaitu teori propagasi bawah air, teori AUV, landasan yuridis, dan teori keamanan bawah laut, dibentuklah sebuah konsep sistem pengawasan bawah air dengan memanfaatkan teknologi *Autonomous Underwater Surveillance* yang dikonsepsikan untuk dikerahkan di perairan ALKI II yang memiliki kedalaman sampai ribuan meter.

Dalam penelitian konsep pengembangan dengan metode pengembangan model Borg & Gall ini dilibatkan empat perwira TNI AL yang kompeten di bidang penggunaan AUV sebagai narasumber hingga diciptakan rancangan akhir konsep *underwater surveillance* menggunakan Solus Long Range AUV. Rancangan akhir penggunaan AUV sebagai sistem pengawasan bawah air di ALKI II, sebagai berikut: 1) AUV yang digunakan adalah Solus Long Range buatan Cellula Robotics, Canada yang mampu melaksanakan misi *port to port*.

2) Jumlah AUV yang melaksanakan pengawasan *mobile* di sepanjang lajur ALKI II dalam satu kali *deployment*. Kedua AUV tersebut akan berjalan bersamaan dengan jarak antar AUV kurang lebih 27 km menggunakan metode *track spacing* yang disadur dari sistem penggunaan UUV oleh Satuan Kapal Ranjau TNI AL. Jarak tersebut ditentukan dengan pertimbangan lebar ALKI II dan kemampuan sensor yang dimiliki Solus Long Range. 3) AUV yang *mobile* akan menempuh perjalanan dari satu ujung ALKI II ke ujung ALKI II lainnya sepanjang 1.220 km dengan kecepatan 4 knots dalam perkiraan waktu sekitar 7 hari. 4) Pada kedua ujung ALKI II dapat ditempatkan masing-masing satu AUV untuk melaksanakan pengawasan pasif dengan memanfaatkan teknologi *suction anchor* Solus Long Range. 5) Data hasil dari kegiatan pengawasan bawah air dikirimkan ke Pusat Komando dan Pengendalian TNI AL dan Staf Operasi Armada II untuk ditindaklanjuti melalui satelit Iridium saat timbul ke permukaan tiap 4 jam bagi AUV yang melaksanakan operasi *mobile*.

Penelitian Konsep pengembangan penggunaan AUV sebagai sistem pengawasan bawah air di ALKI II penting, karena dapat memberikan gambaran yang lebih jelas/rinci mengenai kemampuan teknologi bawah air saat ini, hal-hal yang diperlukan untuk membentuk sebuah sistem pengawasan bawah air, dan keadaan di lapangan (dalam hal ini ALKI II) yang akan dihadapi sistem tersebut melalui sebuah proses yang sistematis dan menggunakan data yang *valid*.

Daftar Pustaka

Arikunto, S. (2010). *Prosedur penelitian: suatu pendekatan*

praktik. Bina Aksara.

Borg, W. R., & Gall, M. D. (1989). *Educational research. An introduction (5th ed.)* (5th ed.). Longman.

Burhan, B. (2003). *Analisis Data Penelitian Kualitatif: Pemahaman Filosofis Dan Metodologis Ke Arah Penguasaan Model Aplikasi*. Raja Grafindo Persada.

Gall, M., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2003). *Educational Research* (A. E. Burvikovs (ed.); seventh). Pearson Education.Inc.

Hansen, R. E. (2012). *Introduction to Sonar*.

Hariato, P. A., Tatit, E., & Yumm, R. H. (2020). Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kemampuan Sonar Kri Dalam Mendeteksi Kontak Bawah Air. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.21107/jk.v13i1.5845>

Undang-Undang Replublik Indonesia Nomor 34 Tahun 2004 Tentang Tentara Nasional Indonesia, (2004).

Kagawa, Y., Tsuchiya, T., Hara, T., & Tsuji, T. (2001). Discrete Huygens' modelling simulation of sound wave propagation in velocity varying environments. *Journal of Sound and Vibration*, 246(3). <https://doi.org/10.1006/jsvi.2001.3637>

Liu, B., Tang, X., Tharmarasa, R., Kirubarajan, T., Jassemi, R., & Halle, S. (2020). Underwater Target Tracking in Uncertain Multipath Ocean Environments. *IEEE Transactions on Aerospace*

and Electronic Systems, 56(6).
<https://doi.org/10.1109/TAES.2020.3003703>

Marsetio. (2018). Potensi Maritim Nasional dan Kedaulatan Maritime Modal Dalam Mewujudkan Indonesia Sebagai Poros Maritime Dunia. *Unhan*, 43.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002 Tentang Hak dan Kewajiban Kapal dan Pesawat Udara Asing dalam Melaksanakan Hak Lintas Alur Laut Kepulauan melalui Alur Laut Kepulauan yang Ditetapkan, (2002).

Saaty, T. L. (2008). Decision Making with Analytical Hierarchy Process. *International Journal Service Science*, 1, 83–89.

Saputro, B. (2017). *Manajemen Penelitian Pengembangan (Research & Development) Bagi Penyusun Tesis dan Disertasi*. Aswaja Presindo.

Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Alfabeta.

Suwartono. (2014). *Dasar-Dasar Metodologi Penelitian*. Andi.

Taufiqerrochman, A. (2018). *Konsep Operasi Maritim Indonesia*. Pandiva Buku.

Terracciano, D. S., Bazzarello, L., Caiti, A., Costanzi, R., & Manzari, V. (2020). Marine Robots for Underwater Surveillance. *Current Robotics Reports*, 1(4).
<https://doi.org/10.1007/s43154-020-00028-z>

Till, G. (2010). Asia Rising and the Maritime Decline of the West : A Review of the Issues. *RSIS*, 205.