AKADEMIK E-ISSN 2774-8863
Jurnal Mahasiswa Humanis
Vol. 6, No. 3, September 2026

Analisis Kebutuhan Kapabilitas Kapal Selam Tanpa Awak guna Memperkuat Alutsista TNI Angkatan Laut dalam Menghadapi Ancaman Perang Modern

Muhammad Zulkifli[1], Suprayitno[2], Zubadi Budi Hartanto[3], Elisabeth Tanti P[4], Hendro Wijiantoro[5]
Sekolah Staff dan Komando Angkatan Laut, Indonesia
Email Korespondensi : hendrow48mar@gmail.com[5]

Submitted: 20th August 2026 | **Edited**: 27th September 2026 | **Issued**: 30th September 2026
Cited on: Zulkifli, M., Suprayitno, S., Hartanto, Z. B., Tanti P, E., & Wijiantoro, H. (2026). Analisis Kebutuhan Kapabilitas Kapal Selam Tanpa Awak guna Memperkuat Alutsista TNI Angkatan Laut dalam Menghadapi Ancaman Perang Modern. *AKADEMIK: Jurnal Mahasiswa Humanis, 6*(3), 2445-2453.

ABSTRACT
Strategic changes in the Indo-Pacific environment and the evolution of modern warfare have prompted the Indonesian Navy (TNI AL) to strengthen its underwater defense capabilities in an adaptive and integrated manner. The limited number of crewed submarines, the vastness of Indonesia's maritime territory, high operational costs, and the growing need for underwater surveillance have made Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) a potential force multiplier. This study aims to analyze the capability requirements for unmanned underwater vehicles, identify implementation challenges, and formulate strategic development directions to strengthen the Indonesian Navy's defense equipment capabilities. This study employs a descriptive qualitative approach using a capability-based planning framework, supported by Network-Centric Warfare theory and Human-Machine Teaming and Levels of Automation concepts. Primary data were obtained through in-depth interviews with the Commander of the Submarine Unit, while secondary data were collected through literature reviews, documents, and relevant publications. The data were organized and analyzed thematically using NVivo through coding, category grouping, mapping relationships among themes, and source triangulation. The findings indicate that the required capabilities encompass technical and operational capabilities, system integration, as well as organizational and strategic support. Core capabilities include autonomous navigation, sensors and sonar systems, secure underwater communications, artificial intelligence, operational endurance, intelligence, surveillance, and reconnaissance (ISR), patrol operations, and detection and tracking capabilities. Successful implementation also depends on C4ISR interoperability, cybersecurity, human control over critical functions, personnel readiness, doctrine, logistics, regulatory frameworks, funding, and the capacity of the national defense industry. This study recommends a phased, mission-based capability development approach and the formulation of an integrated national roadmap.
Keywords: Unmanned Underwater Vehicles, Capability Requirements, Modern Warfare

PENDAHULUAN

Dinamika lingkungan strategis global dan regional memperlihatkan perubahan karakter konflik militer menuju perang modern yang semakin mengandalkan teknologi tinggi, sistem nirawak, kecerdasan buatan, sensor terintegrasi, dan jaringan informasi (U.S. Government Accountability Office, 2022; U.S). Di kawasan Indo-Pasifik, persaingan strategis antarnegara meningkatkan arti penting penguasaan domain maritim, termasuk ruang bawah laut (ASEAN, 2019; Anwar, 2020; Heiduk, 2022). Bagi Indonesia sebagai negara kepulauan, keamanan laut tidak hanya berkaitan dengan kedaulatan dan

penegakan hukum, tetapi juga perlindungan jalur pelayaran, wilayah perbatasan, dan infrastruktur strategis yang menopang kepentingan nasional (Anwar, 2020).

TNI Angkatan Laut menghadapi kebutuhan pengawasan dan pertahanan bawah laut pada wilayah perairan yang luas dan beragam. Kapal selam berawak tetap memiliki peran penting dalam daya tangkal dan operasi bawah laut, tetapi pengoperasiannya memerlukan sumber daya, personel terlatih, pemeliharaan, dan biaya yang besar. Jumlah platform yang terbatas juga dapat memengaruhi kemampuan mempertahankan kehadiran secara persisten di berbagai daerah operasi. Kondisi ini mendorong perlunya mengkaji wahana bawah laut tanpa awak sebagai pelengkap kemampuan yang telah dimiliki, bukan sebagai pengganti langsung kapal selam berawak (U.S. Navy, 2021)

Kapal selam tanpa awak, yang dalam literatur juga dikenal sebagai Unmanned Underwater Vehicle (UUV) atau Autonomous Underwater Vehicle (AUV) sesuai karakter kendalinya, dapat digunakan untuk pengintaian, pengawasan, pemetaan bawah laut, deteksi ranjau, pemantauan infrastruktur, pengumpulan data akustik, dan dukungan operasi antikapal selam. Pemanfaatan wahana tersebut berpotensi memperluas jangkauan sensor dan mengurangi paparan personel terhadap risiko (Neira et al., 2021; Wibisono et al., 2023; O'Rourke, 2024). Namun, manfaat tersebut hanya dapat dicapai apabila platform memiliki kemampuan teknis yang andal dan terhubung dengan sistem komando, personel, doktrin, serta dukungan pemeliharaan (U.S. Navy, 2021; U.S. Government Accountability Office, 2022).

Persoalan utama bukan sekadar apakah teknologi kapal selam tanpa awak tersedia, melainkan kapabilitas apa yang benar-benar dibutuhkan untuk menjawab ancaman dan skenario operasi Indonesia. Pengadaan yang hanya berorientasi pada produk atau teknologi yang tersedia berisiko menghasilkan platform yang tidak sesuai dengan kebutuhan pengguna, tidak interoperabel, atau sulit dipertahankan dalam jangka panjang (U.S. Government Accountability Office, 2022; O'Rourke, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan capability-based planning yang memulai perencanaan dari ancaman, misi, efek operasi, kesenjangan kemampuan, dan persyaratan kapabilitas (Clapp, 2024; U.S. Navy, 2021).

Fokus penelitian dirumuskan dalam tiga pertanyaan. Pertama, kapabilitas apa yang diperlukan kapal selam tanpa awak untuk memperkuat Alutsista TNI Angkatan Laut dalam menghadapi ancaman perang modern? Kedua, kendala teknologi, organisasi, sumber daya manusia, logistik, industri, dan regulasi apa yang dapat memengaruhi implementasinya? Ketiga, bagaimana arah pengembangan yang bertahap dan terintegrasi dapat dirumuskan? Tujuan penelitian adalah menyusun analisis kebutuhan kapabilitas yang bersifat multidimensional dan memberikan rekomendasi konseptual bagi perencanaan pembangunan kekuatan bawah laut.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoritis bagi kajian pembangunan kekuatan pertahanan berbasis kapabilitas dan integrasi sistem nirawak. Secara praktis, hasilnya dapat menjadi masukan bagi TNI Angkatan Laut, Kementerian Pertahanan, lembaga penelitian, perguruan tinggi, serta industri pertahanan dalam menyusun prioritas pengembangan, kebutuhan operasional, pendidikan personel, dan dukungan sepanjang siklus hidup system.

LANDASAN TEORI

Capability-Based Planning

Capability-based planning (CBP) merupakan pendekatan perencanaan pertahanan yang menghubungkan ketidakpastian ancaman dengan kemampuan yang dibutuhkan

untuk melaksanakan misi (NATO, 2020). Pendekatan ini tidak dimulai dari pemilihan platform atau teknologi tertentu, melainkan dari identifikasi ancaman, skenario operasi, tugas, efek yang diharapkan, serta kesenjangan antara kemampuan yang tersedia dan kemampuan yang diperlukan. Davis (2002) menekankan pentingnya arsitektur analitis untuk menyelaraskan tujuan, alternatif kemampuan, dan konsekuensi keputusan perencanaan.

Dalam penelitian ini, CBP digunakan untuk menilai kapal selam tanpa awak sebagai bagian dari sistem pertahanan bawah laut. Analisis kebutuhan bergerak dari pertanyaan operasional misalnya kebutuhan pengawasan persisten atau deteksi objek menuju persyaratan teknis, integrasi, personel, dan dukungan. Kerangka ini membantu memastikan bahwa keputusan pengembangan didasarkan pada kebutuhan pengguna serta manfaat operasi, bukan semata-mata pada tren teknologi.

Network-Centric Warfare

Network-Centric Warfare (NCW) memandang keunggulan operasi sebagai hasil dari keterhubungan unsur, pertukaran informasi, pemahaman situasional bersama, dan kemampuan mengambil keputusan secara tepat waktu (Costanzi, et al., 2020). Alberts, Garstka, dan Stein (1999) menjelaskan pentingnya jaringan informasi dalam menghubungkan sensor, pengambil keputusan, dan unsur pelaksana. Dalam konteks kapal selam tanpa awak, kapabilitas platform tidak berdiri sendiri: data sensor harus dapat dikumpulkan, diproses, dikirim, dan dimanfaatkan oleh sistem komando dan pengendalian.

Integrasi dengan C4ISR command, control, communications, computers, intelligence, surveillance, and reconnaissance memerlukan standardisasi data, protokol komunikasi, keamanan jaringan, serta interoperabilitas dengan kapal selam berawak, kapal perang permukaan, pesawat udara, pangkalan, dan pusat komando (Hamilton, 2022). Tantangan khusus muncul karena komunikasi bawah laut memiliki keterbatasan jangkauan, kapasitas, dan kecepatan. Karena itu, wahana perlu mampu menyimpan data, menjalankan tugas yang telah diotorisasi ketika koneksi terputus, dan mengirimkan informasi ketika jalur komunikasi tersedia.

Human–Machine Teaming dan Tingkat Otomatisasi

Human–Machine Teaming menjelaskan hubungan kerja antara manusia dan sistem otomatis. Parasuraman, Sheridan, dan Wickens (2000) menunjukkan bahwa otomatisasi dapat diterapkan pada fungsi yang berbeda, mulai dari pengumpulan informasi, analisis, pemilihan keputusan, hingga pelaksanaan tindakan. Tingkat otomatisasi tidak harus seragam untuk seluruh fungsi. Fungsi navigasi atau pengelolaan energi dapat memerlukan tingkat otomatisasi yang berbeda dari keputusan yang memiliki konsekuensi hukum dan operasional besar.

Pada kapal selam tanpa awak, manusia tetap memegang peran penting dalam menetapkan misi, menentukan batas operasi, memantau kinerja, menilai informasi, dan mengotorisasi tindakan kritis. Sistem harus memiliki mekanisme penghentian darurat, mode aman ketika terjadi kegagalan, pencatatan keputusan, serta pengawasan manusia yang memadai. Apabila suatu platform dikembangkan untuk membawa senjata, penggunaan kekuatan harus tunduk pada hukum yang berlaku, aturan pelibatan, identifikasi sasaran, dan otorisasi komando.

Sintesis Kerangka Konseptual

Ketiga perspektif tersebut saling melengkapi. CBP menjawab kapabilitas apa yang perlu dibangun; NCW menjelaskan bagaimana kapabilitas tersebut dihubungkan dengan sistem pertahanan yang lebih luas; sedangkan Human–Machine Teaming membantu

menentukan pembagian fungsi antara operator dan sistem otonom. Sintesis ini menghasilkan empat kelompok kebutuhan: (1) kapabilitas teknis; (2) kapabilitas operasional; (3) integrasi sistem; dan (4) kapabilitas pendukung yang mencakup organisasi, personel, logistik, industri, regulasi, serta kebijakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode kualitatif-deskriptif dengan orientasi analisis konseptual dan strategis. Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian bukan menguji purwarupa secara teknis atau mengukur hubungan antarvariabel secara statistik, melainkan memahami kebutuhan kapabilitas berdasarkan perspektif pengguna operasional, literatur, dan dokumen yang relevan. Unit analisisnya adalah kebutuhan kapabilitas kapal selam tanpa awak sebagai bagian dari pembangunan kekuatan pertahanan bawah laut TNI Angkatan Laut.

Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan Komandan Satuan Kapal Selam (Dansatsel) sebagai informan yang memiliki perspektif operasional mengenai penggunaan kapal selam. Data sekunder dikumpulkan melalui studi pustaka, dokumen penelitian, buku, artikel ilmiah, laporan, dan publikasi yang berkaitan dengan UUV/AUV, peperangan bawah laut, sistem otonom, kecerdasan buatan, integrasi C4ISR, serta perencanaan pertahanan. Pengumpulan data juga mencakup observasi terbatas dan dokumentasi sesuai uraian dalam laporan penelitian.

Pengolahan data dilakukan melalui pemeriksaan kelengkapan, organisasi dan klasifikasi sumber, transkripsi atau pencatatan wawancara, pengodean, pengelompokan kategori, reduksi data, serta penyajian temuan. NVivo digunakan sebagai alat bantu untuk mengelola sumber, membangun node atau kode, mengelompokkan tema, memetakan hubungan antartema, dan menghasilkan visualisasi seperti model tema, project map, dan word cloud. Perangkat lunak tersebut membantu keteraturan proses, sedangkan interpretasi dan kesimpulan tetap dilakukan peneliti.

Analisis dilakukan secara tematik. Tahap pertama adalah membaca data secara berulang untuk memahami konteks. Tahap kedua ialah memberi kode pada bagian data yang berkaitan dengan misi, kemampuan teknis, integrasi, kendala, dan dukungan. Tahap ketiga mengelompokkan kode menjadi tema yang lebih luas. Tahap keempat membandingkan hasil wawancara dengan data sekunder dan kerangka teori. Tahap terakhir adalah menyusun sintesis kebutuhan serta rekomendasi. Keabsahan interpretasi dijaga melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan wawancara, dokumen, dan literatur, serta memastikan kesimpulan konsisten dengan bukti yang tersedia.

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada kebutuhan kapabilitas dan tantangan implementasi. Penelitian tidak membahas desain teknik terperinci, algoritma perangkat lunak, konstruksi mekanik, spesifikasi persenjataan, maupun pengujian laboratorium dan uji laut terhadap prototipe. Dengan batasan tersebut, hasil penelitian merupakan rumusan konseptual-strategis yang memerlukan validasi lanjutan melalui studi kelayakan, pengujian teknologi, dan penetapan kebutuhan operasional resmi.

HASIL PENELITIAN

Hasil Analisis Tematik

Pengolahan data wawancara, studi pustaka, model tema, project map, dan word cloud dengan bantuan NVivo menunjukkan bahwa kebutuhan kapal selam tanpa awak terhubung dengan beberapa tema utama: kapabilitas operasional, kapabilitas teknis, integrasi sistem, kendala teknologi, kendala organisasi, logistik, tantangan strategis, dan

kontribusi terhadap kesiapan tempur. Pola ini menegaskan bahwa wahana tanpa awak tidak cukup dinilai berdasarkan kemampuan bergerak atau menyelam secara mandiri. Nilai operasionalnya bergantung pada kemampuan melaksanakan misi, mengirimkan informasi yang berguna, berintegrasi dengan unsur lain, serta dipelihara sepanjang siklus hidupnya.

Hasil sintesis dapat dikelompokkan ke dalam tiga lapisan. Pertama, kapabilitas inti, yakni kemampuan teknis dan operasional seperti navigasi otonom, sensor, komunikasi, pengolahan data, daya tahan operasi, ISR, patroli, dan pelacakan. Kedua, kapabilitas pendukung, meliputi organisasi, sumber daya manusia, doktrin, pendidikan, latihan, logistik, pemeliharaan, infrastruktur, serta sistem komando dan pengendalian. Ketiga, kapabilitas strategis yang mencakup kebijakan, anggaran, regulasi, roadmap, kerja sama industri, transfer teknologi, dan kemandirian pertahanan. Ketiga lapisan harus dikembangkan secara terpadu.

Kebutuhan Kapabilitas Teknis

Kapabilitas teknis pertama adalah navigasi otonom yang akurat dan mampu menyesuaikan lintasan terhadap kondisi lingkungan. Perairan Indonesia memiliki karakteristik yang beragam, mulai dari perairan dangkal, selat sempit, laut terbuka, arus kuat, hingga lingkungan akustik yang kompleks. Sistem navigasi perlu memadukan sensor dan referensi yang sesuai, mendukung perencanaan lintasan, menghindari rintangan, serta memungkinkan platform menyelesaikan atau menghentikan misi dengan aman ketika komunikasi dengan pusat kendali terganggu.

Kedua, wahana memerlukan sensor dan sonar yang mampu mendeteksi, mengidentifikasi, mengklasifikasikan, serta melacak objek. Kualitas deteksi harus diimbangi dengan kemampuan membedakan objek sasaran dari objek non-sasaran dan gangguan lingkungan. Kesalahan klasifikasi dapat menurunkan efektivitas operasi, membebani operator, dan menimbulkan risiko keputusan yang keliru. Karena itu, pengolahan data sensor dan algoritma kecerdasan buatan harus diuji dalam kondisi operasional yang representatif.

Ketiga, daya tahan operasi atau endurance menjadi persyaratan penting untuk pengawasan persisten. Kebutuhan energi, efisiensi propulsi, pengelolaan baterai, prosedur pengisian ulang, serta keselamatan sistem menentukan berapa lama wahana dapat menjalankan tugas sebelum kembali atau menjalani pemeliharaan. Keempat, komunikasi bawah laut perlu dirancang dengan memperhatikan keterbatasan propagasi gelombang akustik dan kemungkinan gangguan. Platform perlu memiliki mekanisme penyimpanan data, komunikasi yang aman, dan prosedur operasi ketika hubungan komunikasi tidak tersedia.

Kelima, kecerdasan buatan dapat membantu pengenalan pola, klasifikasi data, perencanaan lintasan, pengelolaan energi, dan dukungan keputusan. Namun, penggunaan AI harus disertai pengujian, pencatatan keputusan, evaluasi bias dan kesalahan, keamanan perangkat lunak, serta mekanisme pembaruan yang terkendali. Keamanan siber harus dibangun sejak tahap desain, bukan ditambahkan setelah sistem selesai. Ketahanan terhadap manipulasi data, akses tidak sah, dan kompromi perangkat lunak menjadi bagian dari keandalan sistem.

Kebutuhan Kapabilitas Operasional

Kebutuhan operasional yang paling mendasar adalah intelligence, surveillance, and reconnaissance (ISR), patroli dan pengawasan persisten, serta deteksi dan pelacakan. Kapal selam tanpa awak dapat membantu mengumpulkan data akustik, memantau aktivitas bawah laut, mengamati pola pergerakan, dan memberi peringatan dini.

Kemampuan tersebut relevan bagi wilayah perbatasan, jalur laut strategis, daerah pendekatan pangkalan, serta area yang memerlukan pemantauan berulang. Penentuan prioritas misi perlu didasarkan pada kebutuhan operasi dan manfaat yang dapat diukur.

Kapabilitas lain mencakup pemetaan lingkungan bawah laut, pemantauan kabel komunikasi dan pipa energi, pemeriksaan fasilitas maritim, serta dukungan peperangan ranjau. Dalam peperangan antikapal selam, wahana dapat berfungsi sebagai sensor terdepan atau unsur jaringan pengumpulan data akustik, sehingga meningkatkan cakupan deteksi tanpa harus selalu digunakan sebagai platform penyerang. Peran pendukung seperti ini dapat menjadi prioritas awal karena memberi nilai pengawasan dan pengumpulan informasi sekaligus memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap.

Apabila pada tahap selanjutnya dikaji untuk misi penindakan, kemampuan tersebut harus disertai persyaratan yang lebih ketat mengenai identifikasi sasaran, otorisasi komando, kendali manusia, penghentian misi, dan kepatuhan terhadap hukum nasional serta hukum internasional yang berlaku. Dengan demikian, tingkat otonomi perlu ditentukan berdasarkan jenis misi, tingkat risiko, keandalan teknologi, dan konsekuensi keputusan, bukan semata-mata berdasarkan kemampuan teknis yang dapat dicapai.

Integrasi Sistem dan Human–Machine Teaming

Kapal selam tanpa awak harus menjadi bagian dari sistem kekuatan yang lebih luas. Integrasi C4ISR memungkinkan data dari wahana digunakan bersama dengan informasi kapal selam berawak, kapal permukaan, pesawat udara, pangkalan, dan pusat komando. Agar integrasi berjalan, dibutuhkan format data yang seragam, protokol komunikasi, tata kelola akses, keamanan jaringan, dan prosedur validasi informasi. Tanpa interoperabilitas, data yang dikumpulkan mungkin tidak dapat dimanfaatkan secara tepat waktu oleh pengambil keputusan.

Konsep manned-unmanned teaming membagi peran manusia dan mesin berdasarkan keunggulan masing-masing. Sistem otonom dapat melaksanakan tugas rutin yang telah ditentukan, memproses data dalam jumlah besar, atau menjalankan navigasi sesuai batas operasi. Manusia menetapkan tujuan, mengawasi pelaksanaan, menilai informasi yang meragukan, dan memegang kendali atas keputusan kritis. Pembagian peran ini harus didukung antarmuka operator yang mudah dipahami, pelatihan, prosedur komunikasi, dan kemampuan intervensi ketika sistem berperilaku di luar parameter.

Keterbatasan komunikasi bawah laut menjadikan desain operasi ketika koneksi terputus sebagai persyaratan utama. Prosedur perlu menentukan tindakan yang boleh dilakukan secara mandiri, batas waktu dan wilayah operasi, kondisi kembali ke titik aman, serta kriteria penghentian misi. Sistem harus memiliki fail-safe, fail-secure, pencatatan aktivitas, dan mekanisme pemulihan yang dapat diuji. Kepercayaan operator pada sistem harus dibangun melalui demonstrasi kinerja, uji berulang, dan transparansi mengenai keterbatasan otomatisasi.

Kendala Organisasi, SDM, Logistik, dan Industri

Kendala implementasi tidak hanya bersumber dari teknologi. Organisasi perlu menetapkan pihak yang bertanggung jawab atas perencanaan misi, pengoperasian, pemeliharaan, pengolahan data, keselamatan, dan pengendalian konfigurasi. Doktrin operasi yang berorientasi pada platform berawak perlu disesuaikan untuk mengatur hubungan komando, kerja sama antarsatuan, peluncuran dan pengambilan kembali, kehilangan komunikasi, kerusakan sistem, serta penghentian darurat. Prosedur tersebut sebaiknya dikembangkan bersamaan dengan pengujian, bukan setelah pengadaan.

Dari aspek sumber daya manusia, operator dan teknisi membutuhkan kombinasi pengetahuan operasi laut dengan kompetensi robotika, elektronika, sensor, sistem informasi, analisis data, keamanan siber, komunikasi bawah laut, dan pemeliharaan perangkat lunak. Kurikulum pendidikan, latihan berbasis simulator, latihan laut, dan sertifikasi perlu dirancang sesuai tugas. Keberhasilan sistem juga menuntut budaya organisasi yang bersedia belajar dari hasil uji, laporan kegagalan, dan evaluasi misi.

Dukungan logistik harus mempertimbangkan keseluruhan siklus hidup, termasuk suku cadang kritis, baterai, sensor, komputer misi, perangkat komunikasi, alat uji, pembaruan perangkat lunak, fasilitas pengisian energi, penyimpanan, docking, dan pemeliharaan. Ketergantungan pada komponen impor dapat menimbulkan risiko pasokan, pembatasan ekspor, atau hambatan pembaruan. Karena itu, kerja sama TNI Angkatan Laut, Kementerian Pertahanan, industri pertahanan, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian perlu diarahkan pada penguasaan bertahap atas integrasi, pengujian, pemeliharaan, dan teknologi yang paling kritis.

Regulasi, Roadmap, dan Implikasi Strategis

Kebutuhan regulasi meliputi keselamatan pengujian dan operasi, pengelolaan data, komunikasi, keamanan siber, tanggung jawab komando, serta penggunaan sistem otonom. Kejelasan aturan akan membantu memastikan pengembangan teknologi sejalan dengan prinsip akuntabilitas dan hukum yang berlaku. Pada fungsi yang berpotensi menggunakan kekuatan, pengawasan manusia dan otorisasi komando harus dirancang sebagai persyaratan sistem dan prosedur.

Temuan penelitian menunjukkan perlunya roadmap nasional yang menghubungkan kebutuhan pengguna dengan kesiapan teknologi, organisasi, industri, anggaran, dan regulasi. Tahap awal dapat berupa penetapan kebutuhan operasional dan prioritas misi. Tahap berikutnya mencakup penguasaan teknologi kritis, demonstrator, purwarupa, pengujian laboratorium, uji laut, evaluasi pengguna, sertifikasi, dan produksi terbatas. Setiap tahap perlu memiliki kriteria keberhasilan, penilaian risiko, dan keputusan untuk melanjutkan, memperbaiki, atau menghentikan program.

Secara strategis, kapal selam tanpa awak berpotensi menjadi force multiplier dengan memperluas jangkauan pengawasan, meningkatkan persistensi sensor, mengurangi paparan personel terhadap risiko, dan memperkuat kesadaran situasional maritim. Namun, kontribusi tersebut tidak otomatis muncul hanya melalui pengadaan wahana. Efek operasional baru dapat dicapai jika sistem dapat diandalkan, didukung personel dan logistik, terintegrasi dengan C4ISR, serta memiliki doktrin dan tata kelola yang jelas. Oleh sebab itu, ukuran keberhasilan sebaiknya tidak terbatas pada jumlah platform, tetapi mencakup kesiapan misi, kualitas data, interoperabilitas, ketersediaan sistem, dan keberlanjutan dukungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan kapabilitas kapal selam tanpa awak bagi TNI Angkatan Laut bersifat multidimensional, meliputi aspek teknis, operasional, dan strategis. Kapabilitas utama yang diperlukan mencakup navigasi otonom, sensor dan sonar, komunikasi bawah laut yang aman, pengolahan data berbasis kecerdasan buatan (AI), daya tahan operasi, keandalan, serta kemampuan siluman. Kapabilitas tersebut harus mendukung pelaksanaan misi intelijen, pengawasan dan pengintaian (ISR), patroli, pemetaan, deteksi, dan pelacakan berdasarkan kebutuhan operasi dan karakteristik ancaman.

Selanjutnya, efektivitas kapal selam tanpa awak ditentukan oleh kemampuan integrasinya dengan sistem C4ISR dan unsur berawak melalui interoperabilitas, pertukaran data yang aman, serta penerapan konsep manned-unmanned teaming. Keterbatasan komunikasi bawah laut memerlukan pengaturan tingkat otonomi, prosedur operasi ketika koneksi terputus, dan kendali manusia terhadap fungsi kritis. Aspek keamanan siber, keandalan perangkat lunak, dan mekanisme penghentian darurat juga menjadi persyaratan penting.

Penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa implementasi kapal selam tanpa awak menghadapi kendala organisasi, kompetensi sumber daya manusia, doktrin, pendidikan dan latihan, logistik, fasilitas pemeliharaan, pembiayaan, kapasitas industri pertahanan, serta regulasi. Oleh karena itu, keberhasilan pengembangannya tidak hanya ditentukan oleh kesiapan platform, tetapi juga oleh kesiapan ekosistem pendukung yang menjamin keberlanjutan operasional.

Dengan demikian, pendekatan capability-based planning menjadi landasan penting dalam merumuskan pengembangan kapal selam tanpa awak berdasarkan kebutuhan misi dan kesenjangan kapabilitas. Pengembangan secara bertahap melalui roadmap nasional yang terintegrasi diperlukan untuk menyelaraskan kebutuhan operasional, kesiapan teknologi, sumber daya manusia, industri pertahanan, logistik, dan regulasi guna mendukung modernisasi Alutsista serta meningkatkan kesiapan tempur TNI Angkatan Laut.

Saran

Hasil penelitian merekomendasikan saran-saran berikut:

1. Kementerian Pertahanan bersama TNI Angkatan Laut perlu menyusun kebijakan dan roadmap pengembangan kapal selam tanpa awak yang selaras dengan perencanaan pertahanan dan pembangunan postur kekuatan laut. Roadmap perlu memuat sasaran kapabilitas, prioritas misi, tahapan pengembangan, kebutuhan sumber daya, pembagian peran, indikator keberhasilan, dan mekanisme evaluasi.
2. TNI Angkatan Laut perlu menetapkan kebutuhan operasional dan teknis secara terukur melalui kajian pengguna, analisis ancaman, serta uji dan evaluasi bertahap. Pada tahap awal, prioritas dapat diarahkan pada misi pengawasan, pengumpulan informasi, pemetaan, dan dukungan peperangan ranjau sebelum mempertimbangkan misi berisiko lebih tinggi.
3. Pengembangan sistem harus menerapkan prinsip keamanan siber sejak desain, standardisasi data dan komunikasi, interoperabilitas C4ISR, serta pembagian fungsi manusia dan mesin yang jelas. Prosedur kehilangan komunikasi, penghentian darurat, pencatatan aktivitas, dan pemulihan sistem perlu diuji secara sistematis.
4. Pendidikan dan latihan personel perlu dikembangkan dengan menggabungkan kompetensi operasi bawah laut, sensor, robotika, AI, analisis data, keamanan siber, dan pemeliharaan perangkat lunak. Pada saat yang sama, doktrin, SOP, sertifikasi operator, dan struktur tanggung jawab harus disiapkan sebelum sistem digunakan secara operasional.
5. Pemerintah dan industri pertahanan nasional perlu memperkuat kolaborasi riset, pengujian, integrasi sistem, pemeliharaan, dan penguasaan komponen kritis. Pendekatan siklus hidup perlu digunakan dalam perencanaan biaya agar ketersediaan suku cadang, pembaruan perangkat lunak, fasilitas, dan dukungan teknis terjamin.
6. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji kelayakan teknologi dan operasional, menyusun matriks prioritas kapabilitas, menilai biaya sepanjang siklus hidup, serta mengembangkan indikator kesiapan dan interoperabilitas. Hasil konseptual

penelitian ini perlu divalidasi melalui pengujian terkontrol dan evaluasi pengguna sebelum dijadikan dasar keputusan pengadaan.

DAFTAR PUSTAKA

Alberts, David S., John J. Garstka, and Frederick P. Stein. (1999). Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority. Washington, DC: CCRP.

Alexandris, C., Papageorgas, P., & Piromalis, D. (2024). Positioning systems for unmanned underwater vehicles: A comprehensive review. Applied Sciences, 14(21), 9671.

Anwar, D. F. (2020). Indonesia and the ASEAN outlook on the Indo-Pacific. International Affairs, 96(1), 111–129.

ASEAN. (2019). ASEAN outlook on the Indo-Pacific. Association of Southeast Asian Nations.

Clapp, S. (2024). European capability development planning. European Parliamentary Research Service.

Costanzi, R., Fenucci, D., Manzari, V., Micheli, M., Morlando, L., Terracciano, D., Caiti, A., Stifani, M., & Tesei, A. (2020). Interoperability among unmanned maritime vehicles: Review and first in-field experimentation. Frontiers in Robotics and AI, 7, Article 91. https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00091.

Davis, Paul K. (2002). Analytic Architecture for Capabilities-Based Planning, Mission-System Analysis, and Transformation. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

Hamilton, A., Barnett, J., Hobbs, A.-M., Pelekanakis, K., Petroccia, R., Nissen, I., & Galsdorf, D. (2022). Towards secure and interoperable underwater acoustic communications: Current activities in NATO IST-174 Research Task Group. Procedia Computer Science, 205, 167–178.

Heiduk, F. (2022). Security in the Indo-Pacific: The Asianisation of the regional security architecture. Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP Research Paper 2022/RP 11).

NATO. (2020). NATO defence planning process. North Atlantic Treaty Organization.

Neira, J., Sequeiros, C., Huamani, R., Machaca, E., Fonseca, P., & Nina, W. (2021). Review on unmanned underwater robotics, structure designs, materials, sensors, actuators, and navigation control. Journal of Robotics, 2021, Article 5542920.

O'Rourke, R. (2024). Navy large unmanned surface and undersea vehicles: Background and issues for Congress (CRS Report No. R45757). Congressional Research Service.

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, *30*(3), 286-297.

U.S. Government Accountability Office. (2022). Uncrewed maritime systems: Navy should improve its approach to maximize early investments (GAO-22-104567). U.S. Government Accountability Office.

U.S. Navy. (2021, March 16). Navy, Marine Corps release unmanned campaign plan. Department of the Navy.

Wibisono, A., Piran, M. J., Song, H.-K., & Lee, B. M. (2023). A survey on unmanned underwater vehicles: Challenges, enabling technologies, and future research directions. *Sensors*, *23*(17), 7321.