

KAPABILITAS DAN KESIAPAN OPERASIONAL KAPAL SELAM OTONOMUS (*AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE*) DALAM MENDUKUNG KESIAPSIAGAAN TEMPUR TNI ANGKATAN LAUT: ANALISIS TEMATIK WAWANCARA INFORMAN KUNCI

Suprayitno

Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut

Abstrak

Perkembangan sistem nirawak bawah laut menghadirkan peluang baru bagi penguatan kemampuan operasi militer di domain maritim. Kapal Selam Otonomus (KSO) diproyeksikan tidak hanya sebagai platform nirawak, tetapi sebagai bagian dari sistem kapabilitas yang terintegrasi dengan kapal selam berawak, pusat komando dan kendali, sistem C4ISR, serta unsur tempur lainnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis kapabilitas dan kesiapan operasional KSO dalam mendukung kesiapsiagaan tempur TNI Angkatan Laut. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan analisis tematik terhadap satu wawancara mendalam dengan informan kunci dari Satuan Kapal Selam Koarmada II. Data dianalisis melalui proses pengodean, pengelompokan kategori, pengembangan tema, dan interpretasi hubungan antartema. Hasil penelitian menunjukkan empat temuan utama. Pertama, KSO dipersepsikan memiliki potensi sebagai *force multiplier* bagi kapal selam, terutama untuk *intelligence, surveillance, and reconnaissance* (ISR), operasi berisiko tinggi, pengumpulan data awal, dan perluasan cakupan operasi. Kedua, kapabilitas otonomi membutuhkan *human in the loop*, terutama dalam keputusan penggunaan senjata. Ketiga, tantangan utama bukan hanya kesiapan teknologi platform, tetapi kesiapan ekosistem operasional yang mencakup komunikasi, data link, C4ISR, interoperabilitas, doktrin, SOP, organisasi, sumber daya manusia, dan logistik. Keempat, keberlanjutan KSO membutuhkan penguatan industri pertahanan nasional, transfer teknologi, kolaborasi riset, serta roadmap pengembangan bertahap. Penelitian menyimpulkan bahwa pembangunan KSO perlu dipandang sebagai pembangunan kapabilitas sistem, bukan sekadar pengadaan platform. Temuan ini memberikan implikasi bagi perumusan kebijakan teknologi, doktrin, pengembangan SDM, integrasi C4ISR, dan kemandirian industri pertahanan.

Kata kunci: KSO (Kapal Selam Otonomus), sistem nirawak bawah laut, kesiapsiagaan tempur, *Force Multiplier*, C4ISR, analisis tematik.

1. PENDAHULUAN

Transformasi teknologi pertahanan telah mendorong perubahan pada cara kekuatan militer membangun keunggulan operasional. Salah satu perkembangan yang semakin penting adalah penggunaan *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV) atau *Unmanned Underwater Vehicles* (UUV) untuk menjalankan berbagai misi di lingkungan bawah laut. Literatur menunjukkan bahwa kendaraan bawah laut

otonom memiliki potensi untuk melaksanakan misi yang sebelumnya memerlukan platform berawak, termasuk pengumpulan data, pengawasan, pemetaan, mine countermeasures, dan berbagai aplikasi militer lainnya (E. Bovio, D. Cecchi, n.d.).

Keunggulan sistem nirawak bawah laut terutama berkaitan dengan kemampuannya beroperasi tanpa menempatkan personel secara langsung pada platform yang menghadapi risiko

operasional. Dalam konteks militer, karakter tersebut membuka peluang untuk meningkatkan persistence, memperluas cakupan pengawasan, serta mengurangi risiko terhadap personel. Literatur mengenai kendaraan nirawak laut juga menunjukkan bahwa perkembangan *Artificial Intelligence* (AI), sensor, navigasi, komunikasi, dan sistem kendali semakin memperluas kemungkinan penggunaan kendaraan nirawak dalam operasi maritim (Bae & Hong, 2023).

Namun, lingkungan bawah laut memiliki karakteristik yang menyebabkan pengembangan sistem otonom menghadapi tantangan yang berbeda dibandingkan sistem nirawak pada domain udara dan permukaan. Ketiadaan akses langsung terhadap *Global Positioning System* (GPS), keterbatasan komunikasi radio bawah air, kondisi lingkungan yang kompleks, serta kebutuhan akan navigasi dan lokalisasi yang presisi menjadikan autonomous underwater vehicle sebagai sistem teknologi yang kompleks. Kajian mengenai navigasi AUV menunjukkan bahwa navigasi bawah laut membutuhkan kombinasi metode *dead reckoning*, *signal-based navigation*, *map matching*, *integrated navigation*, dan *cooperative navigation* (Wibisono et al., 2023).

Tantangan tersebut menjadi semakin kompleks ketika kendaraan bawah laut tidak hanya digunakan untuk pengumpulan data, tetapi diintegrasikan ke dalam sistem operasi militer. Dalam konteks tersebut, keberhasilan suatu platform tidak dapat dinilai hanya berdasarkan kemampuan teknis kendaraan. Kemampuan sensor, navigasi, komunikasi, AI, endurance, dan sistem senjata harus dapat

diintegrasikan dengan pusat komando, platform lain, prosedur operasi, sumber daya manusia, sistem logistik, dan doktrin. Kajian tentang risiko operasi AUV juga menunjukkan bahwa tingkat otonomi yang tinggi tidak menghilangkan risiko operasional. Sebaliknya, semakin kompleks sistem otonom, semakin penting analisis risiko yang mempertimbangkan hubungan antara teknologi, lingkungan, manusia, dan proses operasional (González-García et al., 2020).

Dalam konteks TNI Angkatan Laut, kebutuhan terhadap sistem nirawak bawah laut mempunyai relevansi khusus mengingat karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan wilayah laut yang luas. Berdasarkan wawancara penelitian, informan memandang KSO sebagai kebutuhan yang mendesak karena sistem tersebut berpotensi mengurangi risiko kehilangan personel, meningkatkan efisiensi, dan membantu memperluas cakupan operasi kapal selam.

Persoalannya, hasil wawancara juga memperlihatkan adanya kesenjangan kesiapan yang cukup besar. Perangkat lunak operasional KSO belum tersedia, komunikasi bawah laut masih menghadapi keterbatasan, interoperabilitas belum diuji, doktrin belum mengakomodasi KSO, SOP khusus belum tersedia, struktur organisasi belum mendukung, SDM STEM masih perlu diperkuat, dan infrastruktur pendukung belum tersedia secara memadai. Kondisi tersebut menunjukkan adanya research gap. Literatur mengenai AUV banyak membahas aspek teknis seperti navigasi, komunikasi, persepsi, kendali, dan risiko.

Namun, berdasarkan data yang dianalisis dalam penelitian ini, persoalan KSO perlu dipahami secara lebih integratif sebagai hubungan antara kapabilitas platform dan kesiapan ekosistem operasional. Dengan demikian, penelitian tidak hanya menanyakan teknologi apa yang dibutuhkan KSO, tetapi juga apakah organisasi, manusia, doktrin, logistik, C4ISR, dan industri pertahanan telah siap mengubah teknologi tersebut menjadi kapabilitas tempur.

Atas dasar tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kapabilitas dan kesiapan operasional KSO dalam mendukung kesiapsiagaan tempur TNI Angkatan Laut. Secara khusus, penelitian menganalisis kebutuhan kapabilitas teknis dan operasional KSO, mengidentifikasi kendala teknologi dan organisasi, serta mengkaji arah pengembangan KSO dalam perspektif kesiapan sistem dan kemandirian industri pertahanan. Kontribusi penelitian terletak pada pengembangan pemahaman bahwa KSO sebaiknya dipandang sebagai *system of systems capability*, bukan semata-mata sebagai platform bawah laut nirawak. Perspektif tersebut penting untuk memastikan bahwa investasi teknologi dapat diterjemahkan menjadi kemampuan operasional yang efektif, aman, interoperabel, dan berkelanjutan.

Tinjauan Pustaka

a. Kapabilitas Sistem Nirawak Bawah Laut

AUV merupakan kendaraan bawah laut yang memiliki kemampuan bergerak dan menjalankan fungsi tertentu dengan tingkat

intervensi manusia yang lebih rendah dibandingkan kendaraan berawak. Perkembangan AUV telah memungkinkan otomatisasi berbagai tugas bawah laut dan memperluas penggunaan sistem tersebut pada bidang ilmiah, komersial, dan militer (E. Bovio, D. Cecchi, n.d.).

Dalam konteks militer, kapabilitas AUV dapat mencakup pengumpulan informasi, pengawasan, *reconnaissance*, *mine countermeasures*, *rapid environmental assessment*, dan dukungan terhadap persiapan medan operasi. Pengalaman penelitian dan pengembangan AUV untuk operasi angkatan laut menunjukkan bahwa kendaraan tersebut dapat memberikan manfaat operasional ketika digunakan untuk misi tertentu yang sesuai dengan karakteristik teknologinya (E. Bovio, D. Cecchi, n.d.).

Dengan demikian, kapabilitas AUV dapat dipahami melalui beberapa dimensi utama, yaitu:

- 1) mobilitas dan endurance
- 2) navigasi
- 3) sensor dan persepsi
- 4) pengolahan data
- 5) komunikasi
- 6) autonomy
- 7) survivability
- 8) integrasi dengan sistem komando
- 9) reliability dan
- 10) kemampuan menjalankan misi.

Dimensi tersebut sesuai dengan hasil wawancara yang menunjukkan bahwa KSO

membutuhkan endurance tinggi, kemampuan sensor akustik, optronic dan elektromagnetik, AI, kemampuan transmisi data, berbagai mode kendali, *survivability*, dan kemampuan integrasi dengan platform TNI AL lainnya.

b. Otonomi dan *Artificial Intelligence* (AI)

Otonomi dalam kendaraan bawah laut memungkinkan sistem menjalankan sebagian fungsi navigasi, persepsi, perencanaan, dan pengambilan keputusan tanpa intervensi manusia secara terus-menerus. Namun, lingkungan bawah laut yang kompleks menjadikan full autonomy sebagai persoalan yang masih menantang. Literatur mutakhir menempatkan sensor fusion, hybrid localization, AI-driven decision-making, navigation, perception, dan control sebagai bidang penting dalam pengembangan autonomous underwater systems.

Dalam penelitian ini, otonomi tidak dipahami sebagai penghilangan peran manusia. Data wawancara justru menunjukkan adanya kebutuhan terhadap hubungan manusia-mesin yang terkontrol. Informan menyatakan bahwa AI dapat menangani sebagian besar kebutuhan operasional, tetapi keputusan penggunaan senjata tetap memerlukan keterlibatan operator.

Perspektif tersebut sejalan dengan diskursus tentang meaningful human control dalam autonomous weapon systems. Sauer menunjukkan bahwa perkembangan otonomi persenjataan menimbulkan kebutuhan untuk mempertahankan kontrol manusia yang bermakna terhadap penggunaan kekuatan.

c. Integrasi C4ISR dan Interoperabilitas

Kapabilitas suatu sistem tempur modern tidak hanya ditentukan oleh platform individual, tetapi juga oleh kemampuan sistem tersebut berbagi informasi dan menerima perintah melalui jaringan komando dan kendali. Oleh karena itu, KSO membutuhkan integrasi dengan *Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* (C4ISR).

Dalam wawancara, informan menekankan kebutuhan data link yang memungkinkan KSO terintegrasi dengan Puskodal, kapal selam, kapal permukaan, dan unsur udara. Namun, interoperabilitas tersebut belum pernah diuji dan masih menghadapi masalah kompatibilitas peralatan antarvendor. Dengan demikian, interoperabilitas merupakan bagian integral dari kapabilitas KSO dan bukan sekadar fungsi tambahan.

d. Kesiapan Organisasi

Teknologi baru membutuhkan adaptasi organisasi. Dalam konteks sistem nirawak, perubahan dapat meliputi doktrin, SOP, struktur organisasi, kompetensi personel, pendidikan, pelatihan, dan mekanisme komando. Data wawancara menunjukkan bahwa doktrin operasi TNI AL belum secara khusus mengakomodasi KSO dan SOP operasional khusus KSO juga belum tersedia. Selain itu, struktur organisasi yang ada belum mendukung pengoperasian KSO secara optimal. Karena itu, kesiapan teknologi perlu dibedakan dari kesiapan organisasi. Suatu platform dapat memiliki teknologi yang memadai tetapi tetap belum

menjadi kapabilitas operasional apabila organisasi belum mampu menggunakannya.

e. Kemandirian Industri Pertahanan

Kesiapan operasional dalam jangka panjang juga ditentukan oleh kemampuan menyediakan pemeliharaan, suku cadang, infrastruktur, pembaruan teknologi, dan dukungan industri. Ketergantungan terhadap komponen asing dapat meningkatkan risiko keberlanjutan apabila terjadi gangguan pasokan atau keterbatasan akses teknologi.

Data wawancara menunjukkan bahwa informan menekankan pentingnya peningkatan kemampuan produksi dalam negeri, kolaborasi TNI AL dengan industri dan lembaga penelitian, transfer teknologi, dan roadmap pengembangan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif interpretif dengan metode analisis tematik (*thematic analysis*). Pendekatan kualitatif digunakan karena penelitian bertujuan memahami perspektif, penilaian, pengalaman, dan interpretasi informan mengenai kapabilitas dan kesiapan operasional KSO. Desain penelitian secara spesifik dapat dikategorikan sebagai studi kualitatif eksploratif berbasis wawancara informan kunci, bukan *grounded theory* atau fenomenologi. Pemilihan desain ini didasarkan pada karakter data yang tersedia, yaitu satu wawancara mendalam yang secara khusus diarahkan untuk memperoleh perspektif profesional mengenai pengembangan dan operasionalisasi KSO. Creswell dan Poth

menempatkan wawancara sebagai salah satu sumber penting dalam penelitian kualitatif, sementara desain kualitatif perlu disesuaikan dengan tujuan penelitian dan karakter pertanyaan penelitian.

b. Sumber Data

Data primer penelitian berasal dari satu dokumen wawancara mendalam dengan informan yang tercantum sebagai Komandan Satuan Kapal Selam Koarmada II. Naskah wawancara terdiri atas 18 halaman dan mencakup pertanyaan mengenai kapabilitas teknis, kapabilitas operasional, integrasi sistem senjata, kesiapan tempur, kendala teknologi, organisasi, logistik, serta tantangan strategis pengembangan KSO. Karena penelitian hanya menggunakan satu informan, istilah "informan kunci" digunakan secara konsisten. Temuan tidak dimaksudkan untuk mewakili seluruh personel TNI AL atau seluruh organisasi pertahanan.

c. Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan menggunakan pendekatan Thematic Analysis. Braun dan Clarke menjelaskan thematic analysis sebagai metode yang fleksibel untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola atau tema dalam data kualitatif. Tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi:

- 1) familiarisasi dengan seluruh transkrip
- 2) identifikasi unit-unit makna
- 3) pemberian kode awal
- 4) pengelompokan kode menjadi kategori

- 5) pengembangan tema
- 6) pemeriksaan hubungan antartema
- 7) penetapan tema akhir
- 8) interpretasi temuan berdasarkan konteks penelitian.

Proses tersebut mengikuti prinsip bahwa analisis tematik perlu dilakukan secara sistematis, transparan, dan dapat ditelusuri agar memenuhi kriteria *trustworthiness*.

d. Validitas dan *Trustworthiness*

Dalam penelitian kualitatif, *trustworthiness* tidak semata-mata ditentukan oleh jumlah informan, tetapi oleh transparansi proses analisis, konsistensi interpretasi, keterlacakan antara data dan temuan, serta kejelasan batas klaim penelitian.

Penelitian ini menggunakan tiga strategi:

Pertama, data to theme traceability, yaitu setiap tema ditelusuri kembali kepada pernyataan informan.

Kedua, pemisahan data dan interpretasi, yaitu pernyataan informan dibedakan dari interpretasi peneliti.

Ketiga, negative evidence, yaitu jawaban seperti "belum tahu", "belum pernah dicoba", dan "belum ada" tetap dipertahankan sebagai bagian dari data karena menunjukkan area ketidakpastian atau kesenjangan kesiapan.

Pendekatan tersebut penting dalam analisis tematik yang kredibel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Penelitian

Analisis menghasilkan empat tema utama:

1) KSO sebagai *Force Multiplier*

Informan memandang KSO sebagai kebutuhan yang mendesak. Pandangan tersebut didasarkan pada potensi sistem nirawak untuk mengurangi risiko terhadap personel, mengurangi kebutuhan personel dan pelatihan, serta memperluas kemampuan operasi di wilayah laut Indonesia.

Dalam perspektif operasional, KSO diproyeksikan untuk melaksanakan ISR, patroli, tracking sasaran, pengumpulan data awal, operasi khusus, dan mendukung operasi gabungan.

Informan menyatakan: "KSO dapat berfungsi sebagai *multiplier force* dari Kapal Selam..."

KSO juga dinilai lebih sesuai untuk wilayah yang sulit dijangkau kapal selam konvensional, wilayah berisiko tinggi, serta situasi yang membutuhkan tingkat kerahasiaan tinggi.

Interpretasi

Temuan menunjukkan bahwa KSO tidak diposisikan sebagai pengganti kapal selam berawak. Sebaliknya, KSO dipahami sebagai perpanjangan kapabilitas kapal selam. Pembagian fungsi yang disebutkan informan menunjukkan bahwa KSO terutama berfokus pada pengumpulan data dan ISR, sedangkan kapal selam berawak tetap menjalankan fungsi ISR sekaligus unsur pemukul. Dengan demikian, nilai KSO terletak pada

kemampuannya memperluas *operational reach* tanpa secara langsung menempatkan personel pada platform berisiko.

2) Otonomi Berbasis AI dan *Human in the Loop*

Kemampuan AI dipandang sebagai komponen fundamental KSO. Informan menyebut AI sebagai syarat mutlak karena sebagian besar fungsi manusia dalam pengoperasian KSO dapat dibantu atau digantikan oleh sistem otomatis. Namun, otonomi tidak berlaku secara absolut.

Pada keputusan penggunaan senjata, informan menekankan perlunya operator manusia. Konsep tersebut juga diterapkan dalam penggunaan torpedo, di mana keputusan akhir penembakan tetap berada pada operator.

Interpretasi

Temuan menunjukkan adanya model *bounded autonomy*, yaitu otonomi diberikan pada fungsi navigasi, persepsi, pengolahan data, dan fungsi operasional tertentu, tetapi dibatasi pada keputusan yang memiliki konsekuensi penggunaan kekuatan. Dengan demikian, arsitektur KSO ideal berdasarkan perspektif informan bukan:

Human or Machine melainkan: ***Human + Machine***.

Model tersebut mempunyai implikasi penting bagi desain sistem kendali, SOP, *Rules of Engagement*, audit keputusan AI, dan mekanisme konfirmasi perintah.

3) Kesenjangan Kesiapan Ekosistem Operasional

Tema ketiga merupakan temuan paling dominan dalam data. Pada aspek teknologi, komunikasi bawah laut masih menghadapi keterbatasan. Informan menyatakan bahwa komunikasi akustik belum dapat diandalkan sebagai backbone transfer data, sementara komunikasi elektromagnetik bawah air untuk jarak jauh juga memiliki keterbatasan. Masalah serupa muncul pada data link. Transfer data real-time melalui GEM dinilai hampir tidak mungkin, sehingga pendekatan yang lebih memungkinkan adalah komunikasi semiotonom dan transmisi secara terjadwal.

Pada sisi *software*, informan menyatakan: "Saat ini, sama sekali belum ada perangkat lunak yang dioperasikan baik oleh Puskodal Koarmada II dan Koopskasel yang disiapkan untuk mendukung operasional KSO." Pada aspek interoperabilitas, KSO belum pernah diuji dengan platform kapal selam konvensional, platform udara, dan Puskodal Kasel.

Kesenjangan juga ditemukan pada aspek organisasi. Informan menyatakan bahwa doktrin belum mengakomodasi operasional KSO dan belum terdapat SOP khusus KSO. Pada aspek SDM, penguatan kompetensi STEM, AI, literasi data, komunikasi bawah air, cyber warfare, C2, dan pemeliharaan sistem terpadu dinilai diperlukan. Struktur organisasi yang ada juga dinilai belum mendukung pengoperasian KSO, sehingga diperlukan kemungkinan pembentukan satuan khusus, integrasi C4ISR, infrastruktur logistik dan pemeliharaan, serta pembaruan doktrin dan manajemen SDM.

Interpretasi

Temuan tersebut menunjukkan bahwa persoalan utama KSO bukan hanya **technology readiness**, tetapi **system readiness**.

Kapabilitas KSO baru dapat diwujudkan apabila empat lapisan kesiapan terpenuhi:

- a) *Platform Readiness*
- b) *Network and C4ISR Readiness*
- c) *Organizational Readiness*
- d) *Sustainment Readiness*.

Dengan demikian, pembangunan KSO harus menggunakan perspektif *system of systems*.

4) Logistik, Industri, dan Keberlanjutan

Kesiapan pemeliharaan KSO juga masih terbatas. Informan menyatakan bahwa Satsel belum memiliki pengalaman mengoperasikan KSO sehingga diperlukan pendalaman mengenai Integrated Logistic Support (ILS). Selain itu, ketergantungan terhadap komponen dan sparepart dari luar negeri dipandang sebagai persoalan yang harus diantisipasi. Infrastruktur pendukung KSO juga belum tersedia, dengan kebutuhan prioritas pada infrastruktur komunikasi dan pengolahan data.

Informan menekankan pentingnya peningkatan kemampuan produksi dalam negeri serta kolaborasi antara TNI AL, industri pertahanan, dan lembaga penelitian. Model kerja sama yang disebutkan mencakup *joint development*, *co-production*, *licensed production*, *technology transfer package*, *strategic partnership*, dan *offset* yang berorientasi pada pembangunan kapasitas.

Interpretasi

Temuan menunjukkan bahwa kemandirian industri bukan sekadar persoalan ekonomi, tetapi merupakan bagian dari *Operational Sustainability*. Sistem tempur yang bergantung pada rantai pasok eksternal berpotensi menghadapi keterbatasan availability dan sustainment. Karena itu, penguasaan teknologi inti, kemampuan maintenance, ketersediaan sparepart, dan kapasitas produksi domestik harus dipertimbangkan sejak tahap awal pengembangan.

b. Pembahasan

1) Dari Platform menuju System-of-Systems

Temuan penelitian menunjukkan bahwa KSO memiliki potensi operasional yang signifikan, tetapi manfaat tersebut tidak berasal dari kendaraan secara individual. Literatur AUV menunjukkan bahwa autonomous underwater systems memerlukan integrasi navigasi, sensor, komunikasi, kendali, dan pengolahan data. Temuan penelitian memperluas perspektif tersebut dengan menunjukkan bahwa dalam konteks pertahanan, lapisan teknis harus dihubungkan dengan lapisan organisasi dan institusional. Dengan kata lain:

Platform capability $\neq$ operational capability.

Platform dapat memiliki sensor, AI, endurance, dan kemampuan navigasi yang tinggi, tetapi tanpa data link, C4ISR, operator, doktrin, SOP, maintenance, dan infrastruktur, kemampuan tersebut belum otomatis menjadi kapabilitas tempur. Hal ini menjadi kontribusi konseptual penting penelitian.

2) KSO sebagai Force Multiplier

Temuan bahwa KSO berpotensi menjadi force multiplier konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa kendaraan nirawak dapat memperluas kemampuan operasi tanpa menempatkan personel pada platform secara langsung. Literatur mengenai sistem nirawak laut juga menunjukkan potensi pengurangan risiko personel dan peningkatan kemampuan menjalankan misi tertentu. Namun, penelitian ini menunjukkan bahwa konsep force multiplier harus dipahami secara lebih spesifik. KSO menjadi force multiplier bukan karena menggantikan kapal selam, melainkan karena:

- a) memperluas area pengumpulan informasi
- b) meningkatkan persistence
- c) memungkinkan pengoperasian pada wilayah berisiko
- d) menyediakan data tambahan bagi komandan
- e) mendukung operasi kapal selam
- f) mengurangi eksposur personel.

Dengan demikian, KSO lebih tepat dipandang sebagai *force-extending capability*.

3) AI dan Batas Otonomi

Literatur terbaru menunjukkan bahwa full autonomy dalam underwater robotics masih menghadapi tantangan integrasi antara navigasi, *perception*, *localization*, dan *decision-making*.) Temuan penelitian memperlihatkan bahwa perspektif operasional juga memberikan batas terhadap otonomi. Informan menerima penggunaan AI secara luas untuk fungsi

operasional, tetapi tetap mempertahankan manusia pada keputusan penggunaan senjata. Hal ini konsisten dengan gagasan meaningful human control yang berkembang dalam diskursus *autonomous weapon systems*. Temuan ini memiliki implikasi bahwa pengembangan KSO perlu memasukkan *human-machine teaming* sejak tahap desain, bukan setelah platform selesai dikembangkan.

4) Komunikasi sebagai Critical Enabler

Salah satu kesenjangan yang paling jelas adalah komunikasi. Literatur AUV telah lama mengidentifikasi komunikasi dan navigasi sebagai tantangan utama karena lingkungan bawah laut tidak memungkinkan penggunaan sistem komunikasi dan positioning seperti pada permukaan. Sistem akustik menjadi salah satu pendekatan penting, tetapi memiliki keterbatasan (González-García et al., 2020). Temuan penelitian memperkuat persoalan tersebut dalam konteks militer. Karena komunikasi real-time tidak selalu memungkinkan, desain operasi KSO perlu mengakomodasi *semi-autonomous operation*, *pre-planned mission*, *scheduled communication*, dan *mekanisme recovery*. Dengan demikian, keterbatasan komunikasi tidak harus selalu dipandang sebagai kegagalan sistem. Keterbatasan tersebut dapat diantisipasi melalui desain konsep operasi yang menyesuaikan tingkat otonomi dengan kondisi komunikasi.

5) Kesiapan Organisasi sebagai Critical Gap

Salah satu temuan yang membedakan penelitian ini dari kajian teknis AUV adalah

perhatian terhadap organisasi. Data menunjukkan bahwa doktrin, SOP, struktur organisasi, pendidikan, pelatihan, dan SDM belum siap sepenuhnya. Hal ini menunjukkan bahwa transformasi teknologi pertahanan membutuhkan *organizational adaptation*. Teknologi baru dapat menciptakan gap apabila organisasi mengadopsi platform tanpa mengembangkan:

- a) doktrin
- b) SOP
- c) kompetensi
- d) struktur komando
- e) sistem pendidikan
- f) latihan
- g) maintenance
- h) dan tata kelola.

Dengan demikian, kesiapan KSO seharusnya dinilai menggunakan pendekatan multidimensional.

6) Kemandirian Industri sebagai Operational Sustainability

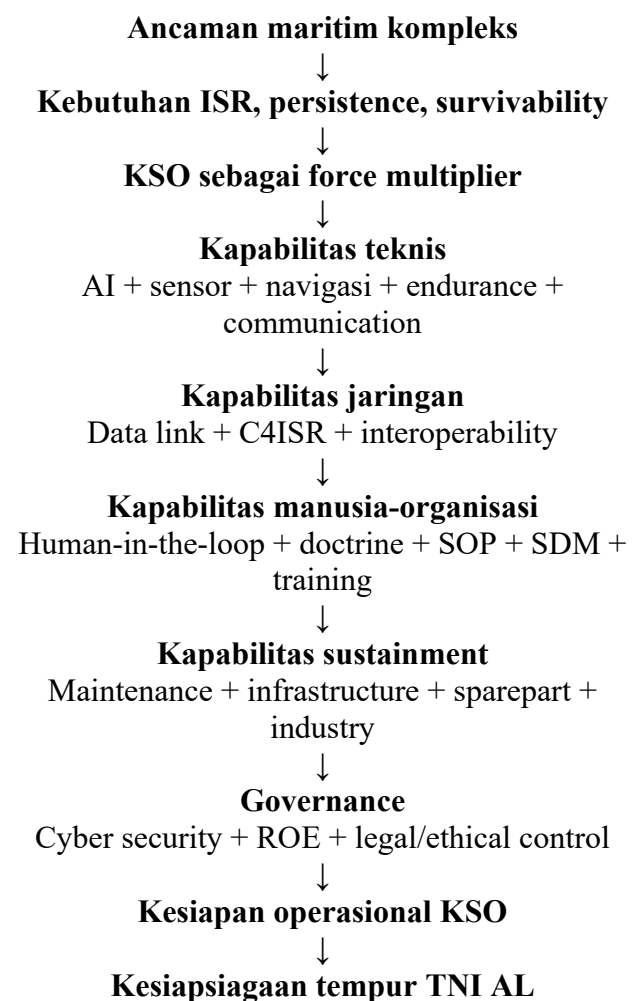
Temuan mengenai industri pertahanan juga memiliki arti strategis. Informan mengusulkan roadmap yang dimulai dari penguasaan teknologi dasar, penguatan industri, pembuatan prototipe, integrasi C4ISR, uji operasional, produksi massal, dan integrasi multidomain. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa KSO sebaiknya dikembangkan sebagai program pembangunan kapabilitas nasional, bukan semata-mata program pengadaan.

Kemandirian industri memberikan manfaat dalam:

- a) maintenance
- b) availability
- c) modernization
- d) sparepart
- e) pengembangan teknologi
- f) pengurangan ketergantungan
- g) peningkatan kapasitas SDM
- h) dan keberlanjutan operasional.

7) Model Konseptual Hasil Penelitian

Berdasarkan sintesis tematik, penelitian ini menghasilkan model konseptual sebagai berikut:



Model ini menunjukkan bahwa kesiapan KSO merupakan fungsi dari integrasi beberapa subsistem.

Secara konseptual dapat dirumuskan:

$$\text{Operational Readiness KSO} = f(\text{Technology, Network, Human, Organization, Sustainment, Governance})$$

Persamaan tersebut bukan model matematis hasil pengukuran kuantitatif, tetapi representasi konseptual dari hubungan antartema yang ditemukan dalam wawancara.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis kapabilitas dan kesiapan operasional KSO dalam mendukung kesiapsiagaan tempur TNI Angkatan Laut berdasarkan perspektif satu informan kunci dari Satuan Kapal Selam Koarmada II. Hasil analisis tematik menghasilkan empat temuan utama.

Pertama, KSO dipandang memiliki potensi sebagai *force multiplier* bagi kapal selam dan unsur TNI AL lainnya, terutama melalui kemampuan ISR, pengumpulan data awal, patroli, operasi pada wilayah berisiko, dan pengurangan risiko terhadap personel. **Kedua**, kemampuan otonomi dan AI merupakan komponen penting KSO, tetapi otonomi perlu dibatasi oleh *human in the loop*, terutama dalam keputusan penggunaan senjata. Dengan demikian, pembangunan KSO memerlukan keseimbangan antara *autonomous capability* dan *human control*. **Ketiga**, kesenjangan utama terdapat pada kesiapan ekosistem operasional, bukan hanya pada teknologi platform. Keterbatasan komunikasi, *data link*, *software*, interoperabilitas, C4ISR, doktrin, SOP,

organisasi, SDM, pendidikan, pelatihan, dan infrastruktur menunjukkan bahwa pembangunan KSO merupakan persoalan *system of systems*. **Keempat**, keberlanjutan operasional KSO membutuhkan kemandirian industri pertahanan, penguasaan teknologi, transfer teknologi, peningkatan kemampuan produksi dalam negeri, kolaborasi TNI AL industri lembaga penelitian, dan roadmap pengembangan bertahap.

Dengan demikian, penelitian menyimpulkan bahwa keberhasilan pembangunan KSO tidak cukup ditentukan oleh keberhasilan menghasilkan platform nirawak bawah laut, tetapi oleh kemampuan membangun keseluruhan ekosistem kapabilitas yang menghubungkan teknologi, manusia, organisasi, jaringan, logistik, industri, dan tata kelola.

a. Implikasi Penelitian

1) Implikasi Teoretis

Penelitian memberikan kontribusi terhadap kajian kapabilitas sistem nirawak dengan menunjukkan bahwa kapabilitas platform perlu dibedakan dari kesiapan sistem. Konsep yang dapat dikembangkan adalah: KSO sebagai *system of systems capability*. Dalam perspektif tersebut, platform merupakan salah satu komponen dari kapabilitas yang lebih luas.

2) Implikasi Operasional

TNI AL perlu mempersiapkan konsep operasi KSO sejak tahap pengembangan teknologi, termasuk:

- a) konsep deployment
- b) command and control
- c) human-machine teaming

- d) komunikasi
- e) recovery
- f) emergency procedures
- g) integrasi dengan kapal selam
- h) integrasi dengan KRI
- i) integrasi C4ISR.

3) Implikasi Organisasi

Perlu dipertimbangkan pembentukan atau penyesuaian organisasi yang memiliki tanggung jawab terhadap:

- a) operasi sistem nirawak
- b) C4ISR
- c) data analysis
- d) AI
- e) cyber security
- f) maintenance
- g) training
- h) dan pengembangan doctrine/SOP.

4) Implikasi Pendidikan dan SDM

Pengembangan SDM perlu diarahkan pada:

- a. AI
- b. autonomous systems
- c. system engineering
- d. data analytics
- e. remote sensing
- f. underwater communication
- g. cyber warfare
- h. C2
- i. maintenance

- j. dan human-machine teaming.

Data wawancara secara eksplisit mengidentifikasi kebutuhan tersebut.

5) Implikasi Industri Pertahanan

Pengembangan KSO sebaiknya menggunakan pendekatan bertahap melalui:

R&D → prototype → testing → limited production → integration → mass production → multi-domain integration.

Pendekatan tersebut sejalan dengan roadmap yang disampaikan informan.

b. Keterbatasan Penelitian

Penelitian memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, data primer yang dianalisis hanya berasal dari satu informan kunci. Oleh karena itu, hasil penelitian tidak dapat digeneralisasikan sebagai representasi seluruh TNI AL. Kedua, penelitian belum menggunakan triangulasi sumber dengan informan lain seperti operator kapal selam, unsur Puskodal, perencana operasi, pengembang teknologi, industri pertahanan, akademisi, atau pembuat kebijakan. Ketiga, penelitian terutama menggambarkan perspektif informan mengenai kebutuhan dan kesiapan KSO. Beberapa aspek seperti anggaran, kesiapan sparepart, kemampuan industri, dan fasilitas docking dinyatakan informan masih memerlukan pendalaman lebih lanjut. Keempat, penelitian tidak melakukan pengujian teknis terhadap KSO. Oleh karena itu, pernyataan mengenai kemampuan teknis harus dipahami sebagai perspektif informan, bukan hasil uji eksperimental. Kelima, penelitian belum

melakukan pengukuran kuantitatif terhadap tingkat readiness KSO.

Keterbatasan tersebut membuka ruang bagi penelitian lanjutan dengan melibatkan lebih banyak informan dan metode *mixed-method* atau *expert assessment*.

c. Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model **KSO Operational Readiness Index** yang mengukur paling sedikit enam dimensi:

- a) technological readiness;
- b) operational readiness;
- c) organizational readiness;
- d) human-resource readiness;
- e) logistic and sustainment readiness;
- f) industrial readiness.

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) atau metode multi-criteria decision making lainnya dapat digunakan untuk menentukan bobot setiap dimensi dan memperoleh indeks kesiapan.

Selain itu, penelitian lanjutan dapat melibatkan:

- a) operator kapal selam;
- b) unsur komando dan kendali;
- c) perencana operasi;
- d) pengembang teknologi;
- e) industri pertahanan;
- f) akademisi;
- g) dan pemangku kebijakan.

Dengan demikian, hasil penelitian dapat berkembang dari *single key informant qualitative assessment* menjadi *multi stakeholder capability assessment*.

d. Pernyataan Kontribusi Penelitian

Kontribusi utama penelitian ini dapat dirumuskan dalam tiga proposisi.

Proposisi 1: KSO memiliki nilai strategis sebagai force multiplier apabila digunakan sebagai bagian dari sistem operasi kapal selam dan bukan sebagai platform yang berdiri sendiri.

Proposisi 2: Tingkat otonomi KSO perlu dirancang secara bertingkat dengan human in the loop pada keputusan yang memiliki konsekuensi penggunaan kekuatan.

Proposisi 3: Kesiapan operasional KSO ditentukan oleh integrasi teknologi, jaringan, manusia, organisasi, sustainment, dan governance; sehingga pembangunan platform tanpa pembangunan ekosistem tidak cukup untuk menghasilkan kapabilitas tempur.

Ketiga proposisi tersebut dapat menjadi dasar penelitian kuantitatif atau studi komparatif pada penelitian berikutnya.

5. REFERENSI

- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
- Chen, X., Bose, N., Brito, M., Khan, F., Thanyamanta, B., & Zou, T. (2022). A review of risk analysis research for the

- operations of autonomous underwater vehicles. *Reliability Engineering & System Safety*, 221, 108011. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108011>
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Paull, L., Saeedi, S., Seto, M., & Li, H. (2014). AUV navigation and localization: A review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1), 131–149. <https://doi.org/10.1109/JOE.2013.2278891> (DOI)
- Sauer, F. (2021). Stepping back from the brink: Why multilateral regulation of autonomy in weapons systems is difficult, yet imperative and feasible. *International Review of the Red Cross*, 103(917–918), 235–266.
- Stokey, R., Roup, A., von Alt, C., Allen, B., Forrester, N., Austin, T., Goldsborough, R., Purcell, M., Jaffre, M., Packard, G., Kukulya, A., Littlefield, R., Chrysostomidis, C., & Goudey, C. (2005). Development of the REMUS 600 autonomous underwater vehicle. *Proceedings of the OCEANS 2005 MTS/IEEE*, 1–6.
- Zhang, B., Ji, D., Liu, S., Zhu, X., & Xu, W. (2023). Autonomous underwater vehicle navigation: A review. *Ocean Engineering*, 273, 113861. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113861>
- Zhang, Y., et al. (2023). A survey on unmanned underwater vehicles: Challenges, enabling technologies, and future research directions. *Sensors*, 23(17), 7321. <https://doi.org/10.3390/s23177321>
- Bae, I., & Hong, J. (2023). Survey on the Developments of Unmanned Marine Vehicles: Intelligence and Cooperation. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s23104643>
- E. Bovio, D. Cecchi, F. B. (n.d.). *Autonomous underwater vehicles for scientific and naval operations.pdf*.
- González-García, J., Gómez-Espinosa, A., Cuan-Urquizo, E., García-Valdovinos, L. G., Salgado-Jiménez, T., & Escobedo Cabello, J. A. (2020). Autonomous underwater vehicles: Localization, navigation, and communication for collaborative missions. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10041256>
- 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). <https://doi.org/10.3390/s23177321>