

Pengembangan Teknologi Bawah Laut dalam Mendukung Transformasi Kapabilitas TNI Angkatan Laut Berbasis *System-Oriented Undersea Warfare*

Ningsih Rezeki^{1*}, Rudy Sumantri², Moh. Qomar Syarifuddin³

1,2,3 Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut

* E-mail: ningsih1483@gmail.com

Abstrak

Bagian Perkembangan lingkungan strategis di kawasan Indo-Pasifik menuntut transformasi kekuatan laut yang adaptif, khususnya pada domain bawah permukaan. TNI Angkatan Laut menghadapi tantangan berupa keterbatasan teknologi yang mulai usang serta belum optimalnya doktrin operasional di tengah meningkatnya penggunaan kapal selam dan sistem bawah air tak berawak. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren teknologi bawah laut global serta merumuskan strategi integrasinya dalam postur pertahanan nasional melalui pendekatan *System-Oriented Undersea Warfare* (SOUW). Metode penelitian menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan kerangka PRISMA melalui kajian artikel ilmiah, dokumen kebijakan, dan laporan teknis periode 2015–2025. Hasil penelitian menunjukkan adanya pergeseran dari pendekatan berbasis platform menuju sistem berbasis jaringan yang mengintegrasikan sensor, UUV, dan kecerdasan buatan. TNI AL masih menghadapi keterbatasan pada kemampuan C4ISR bawah air dan implementasi sistem otonom. Rekomendasi penelitian berupa penyusunan roadmap modernisasi bertahap, pengembangan sistem hibrida, serta penguatan industri pertahanan dalam negeri.

Kata kunci: Teknologi Bawah Laut, TNI Angkatan Laut, *System-Oriented Undersea Warfare*, UUV, Pertahanan Maritim, Transformasi Militer.

PENDAHULUAN

Kawasan Indo-Pasifik berkembang sebagai pusat gravitasi geopolitik dan geoekonomi global abad ke-21 yang ditandai oleh meningkatnya rivalitas kekuatan besar di domain maritim. Dinamika tersebut mendorong intensifikasi kompetisi militer, khususnya pada ruang bawah air yang semakin kompleks dan sulit terdeteksi. Perkembangan teknologi seperti kendaraan bawah air tak berawak dan sistem sensor berbasis kecerdasan buatan memperkuat urgensi penguasaan domain ini dalam strategi pertahanan modern (Sumarno, 2025; LeCun et al., 2019).

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan posisi strategis di antara dua samudra memiliki kepentingan vital dalam menjaga keamanan laut dan kedaulatan wilayah. Pengamanan Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) menjadi krusial karena jalur tersebut merupakan lintasan utama pelayaran internasional, termasuk operasi kapal selam asing (Harris et al, 2022; Kusuma, 2026). Kompleksitas ancaman bawah air menuntut kesiapan sistem pertahanan yang tidak hanya kuat secara fisik, tetapi juga adaptif terhadap perubahan lingkungan strategis.

Kapabilitas TNI Angkatan Laut dalam domain bawah air saat ini masih menghadapi berbagai keterbatasan struktural dan operasional. Pendekatan pertahanan yang berorientasi pada platform menunjukkan keterbatasan dalam menghadapi ancaman multidimensi yang semakin terintegrasi. Pendekatan *System-Oriented Undersea Warfare* (SOUW) hadir sebagai paradigma baru yang menekankan integrasi sistem dalam peperangan bawah air. Konsep ini memposisikan keunggulan militer pada kemampuan menghubungkan sensor, sistem persenjataan, dan jaringan informasi dalam satu kesatuan operasional (Fang-jian et al., 2021; Cote, 2019). Kecepatan pengambilan keputusan serta kualitas kesadaran situasional menjadi faktor penentu dalam mencapai superioritas di medan bawah air.

Kajian mengenai implementasi *System-Oriented Undersea Warfare* (SOUW) pada TNI Angkatan Laut masih menunjukkan keterbatasan dalam literatur nasional. Penelitian terdahulu cenderung berfokus pada aspek teknis atau strategi umum tanpa memberikan kerangka implementatif yang kontekstual terhadap kebutuhan Indonesia. Kesenjangan tersebut menunjukkan pentingnya penelitian yang mampu mengintegrasikan perspektif strategis, operasional, dan kebijakan dalam satu analisis komprehensif.

Penelitian yang dilakukan oleh Wijaya (2025) menunjukkan bahwa integrasi sistem yang meliputi sensor, komunikasi, dan senjata menjadi kunci dalam peperangan modern. Studi tersebut menegaskan pentingnya pendekatan *Network Centric Warfare* (NCW) dalam meningkatkan efektivitas operasi militer. Keterbatasan penelitian ini terletak pada fokusnya yang masih berada pada domain udara sehingga belum menjangkau kompleksitas peperangan bawah laut. Temuan ini menguatkan bahwa literatur di Indonesia masih berbasis pada konsep integrasi umum dan belum secara spesifik mengarah pada arsitektur SOUW pada TNI Angkatan Laut.

Penelitian yang dilakukan oleh Syatara dan Alimudin (2024) mengkaji penerapan teknologi akustik bawah laut dalam pengamanan wilayah maritim dengan pendekatan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan adanya berbagai tantangan operasional dan teknis dalam implementasi teknologi tersebut. Keterbatasan penelitian ini terlihat pada tidak dibahasnya integrasi lintas sistem yang mencakup sensor, *platform*, dan *command and control*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kajian yang ada masih bersifat parsial dan belum mengarah pada konsep *system-of-systems* sebagaimana yang ditawarkan dalam pendekatan SOUW.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibowo et al. (2025) menegaskan bahwa integrasi antar matra dan sistem menjadi faktor penting dalam operasi militer modern. Studi ini mengidentifikasi kendala utama berupa keterbatasan teknologi, rendahnya interoperabilitas, serta belum optimalnya kualitas sumber daya manusia. Keterbatasan penelitian terletak pada fokus kajian yang masih berada pada domain spektrum elektromagnetik (*electronic warfare*) dan bukan pada peperangan bawah laut. Temuan tersebut semakin memperkuat bahwa penelitian di berbagai domain masih terpisah dan belum terintegrasi dalam satu kerangka implementasi sistem yang komprehensif seperti SOUW.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam mengintegrasikan konsep *System-Oriented Undersea Warfare* dengan konteks kapabilitas TNI Angkatan Laut yang belum banyak dikaji secara sistematis. Urgensi penelitian semakin menguat seiring dengan arah pembangunan pertahanan Indonesia menuju visi 2045 yang menekankan modernisasi dan integrasi sistem. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan konsep SOUW dalam memperkuat kapabilitas bawah air TNI Angkatan Laut secara adaptif dan berkelanjutan. Hasil kajian diharapkan memberikan kontribusi nyata dalam perumusan kebijakan pertahanan yang efektif, terintegrasi, dan memiliki daya gentar yang kredibel.

METODE/EKSPERIMEN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada kerangka kerja PRISMA untuk memastikan proses penelusuran, seleksi, dan sintesis literatur berlangsung secara sistematis, transparan, serta dapat direplikasi (Yohannes, 2025; Bancong, 2025). Pendekatan ini dipilih untuk meminimalkan bias dalam pemilihan sumber sehingga menghasilkan kajian dengan validitas dan reliabilitas yang kuat. Kerangka kerja PRISMA memberikan panduan terstruktur dalam setiap tahapan penelitian. Hasilnya diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif terkait topik yang dikaji.

Pencarian literatur dilakukan pada beberapa basis data utama, yaitu *Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*, dan *ProQuest Defense & Military Collection*. Strategi pencarian memanfaatkan kombinasi kata kunci dengan operator Boolean untuk memperoleh hasil yang

relevan dan luas (Suarilah et al., 2026). Contoh *search string* yang digunakan mencakup istilah terkait underwater warfare, teknologi, serta strategi militer. Pembatasan tahun publikasi dilakukan pada rentang 2015–2025 dengan bahasa Indonesia dan Inggris untuk menangkap perkembangan mutakhir dalam bidang tersebut.

Kriteria inklusi meliputi artikel ilmiah dari jurnal bereputasi, prosiding konferensi, serta dokumen resmi yang relevan dengan topik penelitian. Publikasi yang membahas teknologi, doktrin, strategi, atau modernisasi peperangan bawah air menjadi prioritas utama. Akses teks penuh menjadi syarat agar analisis dapat dilakukan secara mendalam. Kriteria eksklusi mencakup artikel populer, publikasi tanpa peer-review, serta literatur yang tidak relevan dengan fokus penelitian (Bancong, 2025).

Proses seleksi literatur mengikuti tahapan PRISMA yang terdiri dari identifikasi, penyaringan, uji kelayakan, dan inklusi. Tahap identifikasi menghasilkan 350 artikel dari berbagai basis data. Penyaringan berdasarkan judul dan abstrak menghasilkan 180 artikel yang relevan. Uji kelayakan melalui pembacaan teks penuh mengeliminasi 80 artikel sehingga tersisa 100 artikel yang dianalisis.



Gambar 1. Metode penelitian

Sumber: Peneliti, 2026

Penilaian kualitas literatur dilakukan melalui *quality assessment* dengan mempertimbangkan kejelasan tujuan, kesesuaian metodologi, kedalaman analisis, serta kontribusi ilmiah. Artikel yang tidak memenuhi standar dieliminasi pada tahap kelayakan sehingga hanya sumber berkualitas tinggi yang digunakan. Analisis data dilakukan dengan pendekatan *thematic analysis* melalui reduksi data, kategorisasi, dan sintesis naratif (Pranata, 2025). Tema utama yang dihasilkan meliputi teknologi sonar, sistem bawah air tak berawak, strategi SOW, modernisasi TNI AL, serta aspek komunikasi dan siber.

Pengelolaan referensi dilakukan menggunakan perangkat lunak Mendeley untuk menjaga kerapian sitasi dan memudahkan pengorganisasian sumber. Proses klasifikasi dan analisis data dibantu menggunakan Microsoft Excel secara sistematis. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada pemilihan basis data, pembatasan bahasa, serta kemungkinan literatur relevan yang tidak terindeks

(Sitanggang, 2025). Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan bias publikasi meskipun telah diupayakan mitigasi melalui prosedur seleksi yang ketat.

Tabel 1. Distribusi Artikel Berdasarkan Tema

Kategori Tema	Jumlah Artikel	Persentase	Fokus Utama	Implikasi Strategis
Teknologi Sensor & Sonar	20	20%	DAS, SAS, AI-based detection	Peningkatan <i>Underwater Domain Awareness</i> (UDA)
Sistem Tak Berawak (UUV/AUV)	25	25%	XLUUV, swarm, endurance	Perubahan dari platform ke sistem otonom
Doktrin & Strategi SOUW	20	20%	Network-centric warfare	Transformasi paradigma operasi laut
Kapabilitas & Modernisasi TNI AL	20	20%	Postur, MEF/OEF, kesiapan	Identifikasi gap nasional
Komunikasi & Cyber Bawah Air	15	15%	Acoustic, optical, quantum	Kebutuhan integrasi C4ISR bawah air
Total	100	100%		

Peneliti: 2026

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Transformasi Teknologi Deteksi dan Sensor Bawah Air

Perkembangan teknologi bawah laut global menunjukkan transformasi signifikan dari sistem berbasis platform menuju sistem terintegrasi dan terdistribusi yang mencakup sensor, komunikasi, dan platform operasi. Pemanfaatan *Distributed Acoustic Sensing* (DAS) serta integrasi kecerdasan buatan dalam sistem sonar meningkatkan cakupan deteksi dan akurasi identifikasi target secara signifikan (Wang & Liu, 2020; LeCun et al, 2019). Penerapan *Synthetic Aperture Sonar* (SAS) juga memperkuat kemampuan pemetaan bawah laut dengan resolusi tinggi yang relevan untuk operasi militer dan keamanan maritim.

Perkembangan wahana bawah air tak berawak menunjukkan akselerasi pada dua pendekatan utama yaitu platform besar berdaya jelajah tinggi dan sistem swarm berbasis wahana kecil yang adaptif. XLUUV mampu menjalankan misi jangka panjang dengan berbagai muatan operasional, sedangkan swarm UUV memberikan keunggulan dalam fleksibilitas dan redundansi sistem (O'Rourke, 2022; Bateman, 2016). Dukungan teknologi energi seperti baterai *lithium-ion* dan *fuel cell* meningkatkan daya tahan operasi sehingga memperluas cakupan misi (Bellingham, 2018).

Perkembangan sistem komunikasi bawah air masih didominasi oleh komunikasi akustik dengan keterbatasan bandwidth dan latensi. Inovasi modem akustik adaptif serta komunikasi optik berbasis laser memberikan alternatif peningkatan kapasitas data pada jarak tertentu (Chandra et al., 2025). Riset komunikasi kuantum bawah air juga menunjukkan potensi tinggi dalam meningkatkan keamanan sistem komunikasi militer (Shen, 2021).

Perkembangan sistem persenjataan bawah air menunjukkan peningkatan pada aspek otonomi dan presisi dalam menghadapi ancaman modern. Torpedo modern telah dilengkapi kemampuan adaptif terhadap *countermeasure*, sementara ranjau laut berkembang menjadi sistem cerdas dengan identifikasi target yang lebih spesifik (Polmar & Moore, 2016; Truver, 2017). Teknologi superkavitasi memberikan potensi peningkatan kecepatan ekstrem meskipun masih memiliki keterbatasan dalam aspek kontrol.

Perkembangan platform kapal selam modern tetap menjadi elemen utama dalam kekuatan bawah air dengan peningkatan teknologi signifikan. Penggunaan *Air-Independent Propulsion* (AIP) dan baterai *lithium-ion* memungkinkan peningkatan daya tahan operasi tanpa kebutuhan muncul ke permukaan (Friedman, 2018). Inovasi sensor seperti *optronic mast* juga meningkatkan keamanan

dan fleksibilitas operasional kapal selam (Sutton, 2020).

Spektrum Ancaman dan Dinamika Kawasan Indo-Pasifik

Spektrum ancaman bawah air di kawasan Indo-Pasifik menunjukkan peningkatan kompleksitas yang melibatkan aktor negara dan non-negara. Kehadiran kapal selam asing, UUV militer, sensor seabed, serta ancaman sabotase kabel laut menjadi tantangan nyata bagi keamanan maritim Indonesia (Kusuma, 2026). Tingkat ancaman yang tinggi hingga sangat tinggi menunjukkan urgensi peningkatan sistem deteksi dan respons bawah air secara terintegrasi.

Tabel 2. Peta Ancaman Bawah Air di Indo-Pasifik

Jenis Ancaman	Aktor	Teknologi	Dampak ke Indonesia
Kapal selam asing	Negara besar (AS, China)	SSN, AIP	Pelanggaran ALKI
UUV militer	Negara maju	XLUUV, swarm	<i>Surveillance covert</i>
Sensor <i>seabed</i>	China	<i>Underwater Great Wall</i>	Dominasi informasi
Sabotase kabel laut	Non-state / <i>proxy</i>	Cyber + UUV	Disrupsi ekonomi
Mine warfare	Negara konflik	<i>Smart mines</i>	Gangguan jalur logistik

Peneliti: 2026

Kondisi Kapabilitas TNI Angkatan Laut

Kondisi kapabilitas TNI Angkatan Laut menunjukkan bahwa kekuatan utama masih bertumpu pada kapal selam konvensional kelas Cakra dan Nagapasa dengan jumlah terbatas. Sistem deteksi bawah air masih didominasi sonar lambung yang belum terintegrasi secara luas sehingga membatasi cakupan pengawasan (Jane's Fighting Ships, 2024; Kementerian Pertahanan, 2015). Keterbatasan pada sistem tak berawak, komunikasi, dan C4ISR menyebabkan kemampuan *underwater domain awareness* belum optimal.

Analisis Kesenjangan Kapabilitas

Analisis kesenjangan menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara standar global dan kondisi eksisting pada berbagai aspek kapabilitas. Keterbatasan pada sensor terdistribusi, sistem UUV, serta integrasi data menjadi faktor utama yang menghambat efektivitas operasi. Keterbatasan sumber daya manusia juga memperkuat ketergantungan terhadap pihak eksternal dalam penguasaan teknologi (Kementerian Pertahanan RI, 2015).

Pembahasan

Pergeseran Paradigma Menuju System-Oriented Undersea Warfare

Transformasi peperangan bawah air menunjukkan pergeseran paradigma dari pendekatan *platform-centric* menuju pendekatan berbasis sistem terintegrasi. Konsep *System-Oriented Undersea Warfare* menekankan bahwa keunggulan operasi ditentukan oleh kemampuan integrasi sensor, platform, dan sistem komando dalam satu jaringan terpadu (Cote, 2019). Pendekatan ini memungkinkan terbentuknya gambaran situasional yang lebih akurat dan respons yang lebih cepat dalam menghadapi ancaman.

Tabel 3. Perbandingan Konsep Warfare

Aspek	<i>Platform-Centric</i>	<i>Network-Centric</i>	SOUW
Fokus	Alutsista	Informasi	Sistem
Sensor	Terbatas	Terhubung	Terdistribusi
<i>Decision</i>	Lambat	Lebih cepat	Real-time

Dominasi	Fisik	Informasi	Integrasi penuh
----------	-------	-----------	-----------------

Sumber: Peneliti, 2026

Relevansi SOUW dalam Konteks Geostrategis Indonesia

Konteks geografis Indonesia yang luas dan kompleks menjadikan pendekatan berbasis sistem lebih relevan dibandingkan pendekatan konvensional. Penggunaan jaringan sensor dan sistem tak berawak memungkinkan cakupan pengawasan yang lebih luas dengan biaya yang lebih efisien dibandingkan pengadaan platform secara besar-besaran (Mahadzir, 2022). Pendekatan ini juga mendukung strategi pertahanan asimetris yang sesuai dengan karakteristik wilayah maritim Indonesia.

Implikasi Kesenjangan Teknologi terhadap Operasi Militer

Kesenjangan teknologi yang teridentifikasi menunjukkan bahwa Indonesia masih berada pada tahap awal dalam pengembangan sistem bawah air terintegrasi yang menjadi fondasi utama dalam konsep System-Oriented Undersea Warfare (SOUW). Ketiadaan jaringan sensor permanen serta keterbatasan Unmanned Underwater Vehicle (UUV) menghambat pembentukan *underwater* domain awareness yang komprehensif dan berkelanjutan dalam operasi militer modern (Fattah et al., 2020). Keterbatasan sistem komunikasi serta integrasi data lintas platform turut memperlambat proses pengambilan keputusan operasional sehingga berdampak pada efektivitas respons dan keunggulan taktis di lingkungan peperangan bawah air.

Transformasi Doktrin dan Konsep Operasi

Kondisi doktrin operasional yang masih cenderung konvensional menjadi hambatan dalam implementasi konsep SOUW. Pendekatan yang berorientasi pada platform belum mampu mendukung kebutuhan interoperabilitas dan integrasi sistem secara optimal (Costanzi et al., 2020). Perubahan paradigma menuju penguasaan informasi dan jaringan menjadi kebutuhan mendesak dalam menghadapi dinamika peperangan modern.

Tabel 4.1 Matriks Perbandingan Kapabilitas

Komponen Kapabilitas	Standar Global (SOUW)	Kondisi TNI AL Saat Ini	Level Gap	Dampak Operasional	Prioritas
Platform Kapal Selam	AIP/ Nuklir, Li-ion Battery	Diesel-Electric Konvensional	Sedang	<i>Endurance</i> terbatas	Tinggi
Sensor	<i>Distributed, Networked, AI-processed</i>	<i>Hull-mounted, Standalone</i>	Tinggi	Blind spot ALKI	Sangat Tinggi
Sistem Tak Berawak	XLUUV & <i>Swarm</i>	Terbatas	Tinggi	ISR terbatas	Sangat Tinggi
C4ISR	<i>Real-time Network</i>	Fragmented system	Tinggi	Lambat <i>decision cycle</i>	Sangat Tinggi
Komunikasi	<i>Hybrid acoustic-optical</i>	Akustik konvensional	Sedang	<i>Delay</i> komunikasi	Tinggi
SDM	<i>AI, cyber, oceanography expert</i>	Terbatas	Tinggi	Ketergantungan eksternal	Tinggi

Peneliti, 2026

Tantangan Sumber Daya Manusia dalam Era Teknologi Modern

Kesiapan sumber daya manusia menjadi faktor kunci dalam mendukung transformasi kapabilitas bawah air. Penguasaan teknologi seperti kecerdasan buatan, sistem otonom, dan analisis data

memerlukan kompetensi khusus yang masih terbatas. Keterbatasan tersebut berpotensi menghambat implementasi teknologi serta meningkatkan ketergantungan pada pihak eksternal (Kementerian Pertahanan RI, 2015).

Kerentanan Siber dalam Sistem Peperangan Berbasis Jaringan

Ketergantungan pada sistem berbasis jaringan meningkatkan kerentanan terhadap ancaman siber yang semakin kompleks. Gangguan seperti *jamming*, *spoofing*, dan serangan terhadap sistem C4ISR dapat menghambat aliran informasi dan melemahkan efektivitas operasi (Singer, 2019). Penguatan keamanan siber menjadi elemen penting dalam mendukung keberhasilan implementasi SOUW.

Strategi Transformasi Kapabilitas Secara Bertahap

Strategi transformasi menunjukkan bahwa pendekatan bertahap menjadi pilihan yang paling realistis dan terukur. Tahap awal difokuskan pada penguatan ISR melalui pengadaan UUV dan integrasi sistem data untuk meningkatkan kapabilitas dasar (Bateman, 2016). Tahap menengah dan jangka panjang diarahkan pada pembangunan jaringan sensor, modernisasi platform, serta kemandirian teknologi nasional.

Penguatan Industri Pertahanan Nasional

Penguatan industri pertahanan nasional menjadi faktor pendukung utama dalam keberlanjutan transformasi kapabilitas. Implementasi transfer teknologi harus diiringi dengan investasi riset dan pengembangan dalam negeri secara berkelanjutan (Romi, 2021). Kolaborasi antara pemerintah, militer, perguruan tinggi, dan industri akan mempercepat terciptanya ekosistem inovasi yang mandiri dan kompetitif.

PENUTUP

Hasil kajian ini menegaskan bahwa karakter peperangan bawah air di masa depan tidak lagi ditentukan oleh keunggulan platform semata. Penentu utama bergeser pada kemampuan mengintegrasikan berbagai sistem dalam satu arsitektur yang terpadu. Transformasi ini mencerminkan perubahan paradigma dari *platform-centric* menuju *system-centric warfare*. Dampaknya menuntut kesiapan menyeluruh dalam aspek teknologi, organisasi, dan strategi operasional.

Transformasi kapabilitas TNI Angkatan Laut melalui pendekatan *System-Oriented Undersea Warfare* (SOUW) menjadi kebutuhan strategis yang tidak dapat ditunda. Tantangan keamanan di kawasan Indo-Pasifik menunjukkan dinamika yang semakin kompleks dan multidimensional. Kesenjangan pada aspek teknologi, doktrin, dan sumber daya manusia masih terlihat cukup signifikan. Peluang akselerasi tetap terbuka melalui pemanfaatan inovasi dan penguatan kolaborasi lintas sektor.

Pemanfaatan teknologi sistem tak berawak, penguatan jaringan sensor, serta integrasi sistem informasi menjadi faktor kunci dalam mengejar ketertinggalan. Implementasi strategi transformasi perlu dilakukan secara bertahap dan terarah. Tahap awal difokuskan pada peningkatan kesadaran situasional bawah air sebagai fondasi utama. Tahap lanjutan diarahkan pada penguatan kemandirian teknologi pertahanan yang berkelanjutan.

Keberhasilan transformasi sangat ditentukan oleh konsistensi kebijakan dan keberpihakan anggaran terhadap pengembangan teknologi. Peningkatan kualitas sumber daya manusia menjadi faktor penting dalam mendukung adaptasi terhadap perubahan. Adopsi konsep SOUW secara komprehensif tidak hanya berorientasi pada modernisasi alutsista. Transformasi tersebut juga mencakup perubahan fundamental dalam cara bertempur yang lebih terintegrasi dan adaptif.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil kajian. Pendekatan *Systematic Literature Review* menyebabkan hasil penelitian bergantung pada ketersediaan dan kualitas literatur yang dianalisis. Validasi empiris di lapangan belum dilakukan sehingga implementasi konsep SOUW dalam konteks operasional masih memerlukan pengujian lebih lanjut. Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan pendekatan empiris serta

memperbarui kajian sesuai perkembangan teknologi untuk menjaga relevansi temuan.

Saran yang dapat direkomendasikan menekankan pentingnya penguatan kebijakan strategis yang secara khusus mengarahkan pengembangan konsep *System-Oriented Undersea Warfare* ke dalam doktrin operasional TNI Angkatan Laut. Kebijakan tersebut perlu didukung dengan peta jalan yang jelas dan terukur agar integrasi antar sistem dapat berjalan efektif. Pengembangan teknologi pertahanan bawah air diarahkan pada kemandirian industri dalam negeri melalui kolaborasi antara pemerintah, industri, dan lembaga riset. Prioritas difokuskan pada penguasaan teknologi sistem tak berawak, sensor bawah laut, serta sistem komunikasi dan informasi yang terintegrasi.

Peningkatan kualitas sumber daya manusia menjadi faktor krusial dalam mendukung transformasi menuju SOUW. Program pendidikan dan pelatihan perlu dirancang secara adaptif dengan penekanan pada penguasaan teknologi digital, analisis data, dan operasi sistem terpadu. Implementasi transformasi dilakukan secara bertahap dengan pendekatan yang realistis dan berkelanjutan. Tahapan awal difokuskan pada penguatan jaringan sensor dan sistem pemantauan, sedangkan tahap lanjutan diarahkan pada integrasi penuh sistem tempur dan pencapaian kemandirian teknologi sebagai tujuan jangka panjang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada institusi resmi atau perorangan sebagai penyandang dana, atau yang telah memberikan kontribusi lain dalam penelitian. Ucapan terimakasih dilengkapi dengan nomor surat kontrak penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bancong, H. (2025). *Strategi reвью riset dan konstruksi teori: Metode, analisis, dan studi kasus*. Indonesia Emas Group.
- Bateman, S. (2016). Submarine proliferation in the Indo-Pacific. *Security Challenges*, 12(1), 5–13.
- Bellingham, J. G. (2018). Autonomous underwater vehicle energy systems. *Ocean Engineering*, 145, 12–24.
- Chandra, D., et al. (2025). *Sistem Komunikasi Nirkabel: Konsep, Teknologi, dan Aplikasi*. PT Penerbit Qriset Indonesia.
- Costanzi, R., et al. (2020). Interoperability among unmanned maritime vehicles: Review and first in-field experimentation. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 91.
- Cote, O. (2019). *The third battle: Innovation in the U.S. Navy's silent Cold War struggle with Soviet submarines*. Naval War College.
- Fang-jian, D. U., Yong-feng, Z. H. A. N. G., & Zhi-zheng, Z. H. A. N. G. (2021). Preliminary study of an underwater military network information system of systems based on factor capability reorganization. *水下无人系统学报*, 29(1), 006–13.
- Fattah, S., et al. (2020). A survey on underwater wireless sensor networks: Requirements, taxonomy, recent advances, and open research challenges. *Sensors*, 20(18), 5393.
- Friedman, N. (2018). *Submarine design and development*. Naval Institute Press.
- Harris, A., Sudiarso, A., & Sutanto, R. (2022). Strategi pertahanan laut dalam rangka ancaman keamanan di Alur Laut Kepulauan Indonesia II. *Jurnal Education and Development*, 10(2), 325–331.
- Jane's Fighting Ships. (2024). Indonesia navy profile. IHS Markit.
- Kementerian Pertahanan RI. (2015). *Buku putih pertahanan Indonesia*. Kemhan.
- Kusuma, C. (2026). *Strategi Antiperang Gerilya Modern di Laut Melawan UAV, USV, dan UUV*. Penerbit NEM.

- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2019). Deep learning in sonar image processing. *Nature Electronics*, 2, 12–20.
- Mahadzir, D. (2022). Asymmetric warfare in the underwater domain. *Asian Military Review*.
- O'Rourke, R. (2022). Navy large unmanned surface and undersea vehicles. Congressional Research Service.
- Polmar, N., & Moore, K. J. (2016). *Cold War submarines: The design and construction of U.S. and Soviet submarines*. Potomac Books.
- Pranata, W. H. (2025). Systematic literature review dengan metode PRISMA. *Journal of Science Education and Management Business*, 4(3), 671–677.
- Romi, S. (2021). Triple helix model in Indonesian defense industry. *Journal of Defense Management*, 9(2), 55–62.
- Shen, Y. (2021). Underwater quantum communications: A review. *Physical Review Applied*, 15, 063001.
- Singer, P. W. (2019). *Cybersecurity and cyberwar: What everyone needs to know*. Oxford University Press.
- Sitanggang, R. (2025). Systematic literature review dengan metode PRISMA. *Journal of Science Education and Management Business*, 4(3), 710–719.
- Suarilah, I., Cahyani, I. R., & Arifin, H. (2026). *Pengantar systematic review dan metaanalisis dengan pendekatan PRISMA*. Airlangga University Press.
- Sumarno, I. A. P., et al. (2025). *Manajemen pertahanan modern: Tantangan modernisasi militer dan integrasi AI*. Indonesia Emas Group.
- Sutton, H. I. (2020). Japan's new Taigei-class submarine. *Naval News*.
- Syataria, M. I., & Alimudin, A. S. (2024). Implementation of underwater acoustic technology strategy. *Santhet*, 8(2), 2317–2322.
- Truver, S. C. (2017). Mines and underwater IEDs in U.S. Navy strategy. *Naval War College Review*, 65(1), 108–127.
- Wang, X., & Liu, Y. (2020). Distributed acoustic sensing for underwater surveillance. *IEEE Sensors Journal*, 20(15), 8250–8260.
- Wibowo, J. P. T. E., et al. (2025). Optimalisasi strategi pertahanan elektronika TNI. *Mimbar: Jurnal Penelitian Sosial dan Politik*, 14(1), 71–82.
- Wijaya, W. C. (2025). Network Centric Warfare (NCW) as defense resilience. *Jurnal Impresi Indonesia*, 4(7), 2675–2685.
- Yohannes, S. (2025). Systematic literature review dengan metode PRISMA. *Journal of Science Education and Management Business*, 4(3), 795–803.