

# Penguatan Kapasitas Nasional dalam Teknologi Bawah Air: Strategi Riset, Industri, dan Kolaborasi Akademik

Muhsin Kahar  
Program Studi Magister Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin  
[muhsinkahar@gmail.com](mailto:muhsinkahar@gmail.com)

## Abstrak

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki kepentingan strategis yang mendesak dalam penguasaan teknologi bawah air guna mengelola sumber daya kelautan, menjaga pertahanan, dan memitigasi bencana. Namun, saat ini masih terdapat kesenjangan teknologi yang signifikan antara Indonesia dan negara-negara maju. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan strategi komprehensif dalam memperkuat kapasitas nasional di bidang teknologi bawah laut. Melalui metode analisis deskriptif kualitatif dan studi literatur, artikel ini mengkaji empat fokus utama: (1) analisis kesenjangan teknologi bawah air; (2) urgensi pembangunan infrastruktur laboratorium, sertifikasi, dan kompetensi Sumber Daya Manusia (SDM); (3) model kolaborasi Triple Helix antara universitas, industri, dan pemerintah; serta (4) perumusan peta jalan (roadmap) pengembangan teknologi nasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemandirian teknologi hanya dapat dicapai melalui sinergi yang kuat antara lembaga riset sebagai pusat inovasi, industri sebagai manufaktur dan off-taker, serta pemerintah sebagai fasilitator dan pembuat regulasi. Peta jalan yang diusulkan mencakup fase peningkatan kapasitas dasar, hilirisasi riset, hingga tahap kemandirian dan komersialisasi global menuju Visi Indonesia Emas 2045.

**Kata Kunci:** Teknologi Bawah Air, Kapasitas Nasional, Triple Helix, Roadmap Teknologi, Kesenjangan Teknologi.

## Abstract

*As the world's largest archipelagic country, Indonesia has a pressing strategic interest in mastering underwater technologies to effectively manage marine resources, strengthen national defense, and mitigate maritime disasters. However, a significant technological gap remains between Indonesia and developed countries in this domain. This study aims to formulate a comprehensive strategy to enhance national capacity in underwater technology. Using a descriptive qualitative approach and literature review, this paper examines four key aspects: (1) analysis of the underwater technology gap; (2) the urgency of developing laboratory infrastructure, certification systems, and human resource competencies; (3) the Triple Helix collaboration model involving universities, industry, and government; and (4) the formulation of a national technology development roadmap. The findings indicate that technological self-reliance can only be achieved through strong synergy among research institutions as innovation hubs, industry as manufacturers and off-takers, and government as both facilitator and regulator. The proposed roadmap encompasses phases of foundational capacity building, research downstreaming, and ultimately achieving technological independence and global commercialization in alignment with the Indonesia Emas 2045 vision.*

**Keywords:** Underwater Technology, National Capacity, Triple Helix, Technology Roadmap, Technological Gap.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim dengan lebih dari 70% wilayahnya terdiri dari perairan [1], [3]. Posisi geografis yang strategis serta kekayaan sumber daya laut yang melimpah, mulai dari keanekaragaman hayati, cadangan mineral bawah laut, minyak dan gas bumi, hingga jalur kabel komunikasi bawah laut (SKKL), menuntut adanya kemampuan pemantauan dan pengelolaan yang mumpuni [1], [3]. Dalam konteks ini, teknologi bawah air (*underwater technology*) seperti *Remotely Operated Vehicles* (ROV), *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV), sensor akustik bawah air, dan sistem sonar menjadi kunci utama bagi kedaulatan maritim dan kesejahteraan ekonomi nasional [9], [12], [16]. Teknologi tersebut berperan penting dalam eksplorasi sumber daya laut, pemetaan dasar laut, inspeksi infrastruktur bawah laut, penelitian oseanografi, serta pengawasan wilayah maritim strategis [11], [15].

Meskipun memiliki wilayah laut yang luas, realitas menunjukkan bahwa pemanfaatan dan penguasaan teknologi bawah air di Indonesia masih tertinggal dibandingkan negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang, maupun negara-negara Eropa [4], [5]. Indonesia masih sangat bergantung pada produk impor dan tenaga ahli asing untuk melakukan survei batimetri tingkat lanjut, instalasi pipa bawah laut, penyelamatan bawah air (*Submarine Rescue*), dan eksplorasi laut dalam [5], [13]. Ketergantungan ini tidak hanya membebani devisa negara, tetapi juga menimbulkan risiko terhadap keamanan data strategis maritim nasional serta menghambat kemandirian teknologi dalam mendukung kebutuhan operasional dan pertahanan maritim [3], [18].



Hambatan utama dalam penguasaan teknologi ini tidak berdiri tunggal. Kesenjangan tersebut dipengaruhi oleh ekosistem riset yang belum matang, kurangnya fasilitas pengujian seperti laboratorium hidrodinamika, minimnya standar sertifikasi lokal untuk instrumen bawah air, serta keterbatasan SDM spesialis [6], [13], [14]. Selain itu, banyak hasil penelitian perguruan tinggi masih berhenti pada tahap purwarupa dan sulit mencapai tahap komersialisasi industri, yang dikenal sebagai *Valley of Death* dalam inovasi teknologi [7], [20]. Kondisi ini menunjukkan bahwa hubungan antara dunia riset dan industri nasional belum berjalan secara optimal.

Oleh karena itu, diperlukan suatu kerangka strategi yang komprehensif dan terintegrasi untuk memperkuat kapasitas nasional dalam bidang teknologi bawah air. Penguatan kapasitas tidak dapat dilakukan secara sektoral, melainkan harus melibatkan sinergi antara pemerintah, perguruan tinggi, lembaga riset, dan industri melalui pendekatan *Triple Helix* [2], [20]. Berdasarkan latar belakang tersebut, jurnal ini bertujuan untuk mengkaji dan merumuskan strategi penguatan kapasitas nasional dalam teknologi bawah air dengan fokus pada: (1) pemetaan kesenjangan teknologi; (2) pemenuhan kebutuhan fasilitas dasar, sertifikasi, dan SDM; (3) perancangan kolaborasi akademisi, industri, dan pemerintah; dan (4) pembentukan peta jalan (*roadmap*) jangka panjang yang terintegrasi guna mendukung kemandirian teknologi maritim Indonesia [1], [2], [8].

## TINJAUAN PUSTAKA

### Teknologi Bawah Air dan Signifikansinya

Teknologi bawah air merujuk pada segala jenis instrumen, kendaraan, sistem komunikasi, dan infrastruktur yang dirancang untuk beroperasi di lingkungan akuatik, khususnya laut dalam [9], [15]. Karakteristik laut dalam yang memiliki tekanan hidrostatik tinggi, korosif, dan minim cahaya membuat pengembangan teknologi ini memiliki tingkat kesulitan (*barrier to entry*) yang sangat tinggi [5]. Penguasaan bidang ini krusial untuk sektor O&G (Oil and Gas), oseanografi, pertahanan militer (kapal selam dan deteksi ranjau), serta pemeliharaan infrastruktur kabel optik bawah laut [12], [18].

### Konsep Kesenjangan Teknologi (*Technological Gap*)

Kesenjangan teknologi adalah perbedaan kemampuan antara dua entitas (dalam hal ini, negara maju dan berkembang) dalam mendesain, memproduksi, dan mengimplementasikan teknologi tinggi [5]. Dalam teori transfer teknologi, negara berkembang sering kali hanya bertindak sebagai pengguna akhir (*end-user*). Untuk mengejar ketertinggalan (*catch-up strategy*), diperlukan tahapan dari *reverse engineering*, adopsi, adaptasi, hingga penciptaan inovasi baru secara mandiri [17].

### Model Kolaborasi Triple Helix

Model Triple Helix yang digagas oleh Etzkowitz & Leydesdorff menekankan bahwa inovasi pada era pengetahuan modern lahir dari interaksi yang dinamis antara tiga aktor utama: Universitas (penghasil pengetahuan dasar dan teknologi), Industri (penerapan, produksi, dan komersialisasi ekonomi), dan Pemerintah (regulator, penyedia dana, dan pencipta iklim inovasi) [2]. Dalam konteks teknologi padat modal seperti teknologi bawah air, pendekatan ini sangat mutlak diperlukan [7], [20].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan metode studi literatur (*literature review*) dan analisis kebijakan (*policy analysis*). Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk laporan pemerintah (Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, BRIN, Kementerian Pertahanan), jurnal ilmiah, publikasi industri maritim, serta dokumen peta jalan teknologi dari negara-negara maju sebagai studi komparatif [1], [3], [8], [18].

Proses analisis dilakukan melalui tiga tahapan: (1) Reduksi data, dengan memfokuskan informasi pada empat poin gagasan utama; (2) Penyajian data, dalam bentuk narasi analitis dan perumusan matriks kolaborasi; serta (3) Penarikan kesimpulan dan penyusunan rekomendasi strategis berupa peta jalan pengembangan teknologi bawah air nasional.

## PEMBAHASAN

### Kesenjangan Teknologi Antara Negara Maju dan Berkembang

Kondisi teknologi bawah air di tingkat global saat ini didominasi oleh negara-negara seperti Amerika Serikat, Norwegia, Inggris, dan Tiongkok [5], [16]. Negara-negara ini telah mencapai Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT/TRL) level 9, di mana mereka mampu memproduksi *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV) yang dilengkapi kecerdasan buatan (AI) untuk navigasi mandiri (*swarm robotics*) dan inspeksi bawah laut tanpa intervensi manusia [9], [19].

Sebaliknya, kapasitas teknologi di negara berkembang seperti Indonesia umumnya masih berada pada tingkat TRL 3 hingga 5 [4], [13]. Meskipun beberapa universitas telah berhasil mengembangkan purwarupa ROV dan glider bawah air, masih terdapat sejumlah kendala utama, seperti ketergantungan pada komponen penting yang masih harus diimpor, termasuk thruster, konektor tahan tekanan tinggi, sensor sonar, dan sistem navigasi inersial [4], [11]. Selain itu, ekosistem riset maritim di Indonesia masih terbatas dibandingkan negara maju yang didukung industri besar dan pendanaan kuat [8], [14]. Transfer



teknologi dari pengadaan alutsista atau peralatan survei laut asing juga masih belum optimal karena umumnya hanya mencakup pengoperasian dan pemeliharaan dasar (O&M), belum sampai pada penguasaan desain sistem secara menyeluruh [17], [18].

### **Pentingnya Laboratorium, Sertifikasi, dan Kompetensi SDM**

Untuk memangkas kesenjangan tersebut, penguatan kapasitas dasar mutlak diperlukan. Ketiga elemen pendukung (infrastruktur, standar, dan SDM) adalah fondasi dari ekosistem industri teknologi bawah air [6], [14].

#### **1. Infrastruktur Laboratorium dan Fasilitas Pengujian**

Riset bawah air tidak dapat dilakukan hanya dengan simulasi komputer (CFD), tetapi memerlukan fasilitas pengujian fisik yang presisi [6]. Saat ini, Indonesia masih sangat kekurangan infrastruktur penting seperti Hydrodynamic Towing Tank dan Maneuvering Basin skala besar untuk menguji hidrodinamika kendaraan bawah air [6]. Selain itu, diperlukan Hyperbaric Pressure Chamber (kamar tekan bertekanan tinggi) untuk memastikan komponen elektronik mampu bertahan pada tekanan ekstrem di kedalaman hingga 1.000 meter atau lebih [5]. Ketidakadaan fasilitas tersebut menyebabkan periset Indonesia harus mengirim purwarupa ke luar negeri untuk proses pengujian, sehingga membutuhkan waktu dan biaya yang besar [4].

#### **2. Standardisasi dan Sertifikasi**

Sebuah purwarupa teknologi tidak akan digunakan oleh pihak industri (misalnya Pertamina atau TNI AL) jika belum memiliki sertifikasi kelaikan dan keselamatan [13]. Di sinilah peran badan klasifikasi nasional seperti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) perlu diperluas. BKI harus merumuskan regulasi dan standar klasifikasi khusus untuk instrumen dan kendaraan tak berawak bawah laut (Unmanned Underwater Vehicles / UUV) produksi dalam negeri yang diakui secara internasional [17].

#### **3. Kompetensi SDM (Sumber Daya Manusia)**

Pengembangan teknologi bawah air bersifat multidisiplin, membutuhkan sinergi dari ahli Teknik Kelautan/Perkapalan, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Ilmu Komputer (AI & Control Systems), dan Oseanografi [9], [15]. Kurikulum di perguruan tinggi perlu diadaptasi agar lebih aplikatif. Diperlukan program degree maupun sertifikasi profesi khusus seperti Subsea Engineering, ROV Pilot/Technician, dan Underwater Acoustic Engineering [7], [14].

### **Kolaborasi Universitas–Industri–Pemerintah**

Strategi utama untuk menghilirisasi riset bawah air adalah menerapkan model *Triple Helix* secara konsisten. Kebuntuan inovasi selama ini terjadi karena ketiga aktor berjalan sendiri-sendiri.

#### **1. Peran Universitas (Akademisi)**

Peran universitas (akademisi) difokuskan pada riset dasar, perancangan desain konseptual, serta pengembangan algoritma seperti algoritma navigasi bawah air dan pemrosesan sinyal akustik [9], [10]. Selain itu, universitas juga berperan dalam menyediakan SDM unggul melalui penugasan akhir atau tesis yang relevan dengan permasalahan nyata di bidang kelautan dan teknologi bawah air [7].

#### **2. Peran Industri (BUMN dan Swasta)**

Peran industri (BUMN dan swasta) adalah bertindak sebagai system integrator dan pelaksana manufaktur skala massal, seperti yang dapat dilakukan oleh PT PAL Indonesia, PT LEN Industri, maupun galangan kapal swasta [13]. Industri juga berperan sebagai off-taker atau pembeli/pengguna pertama produk dalam negeri. Sebagai contoh, perusahaan migas domestik maupun TNI AL perlu didorong untuk menyerap produk ROV/AUV buatan nasional, setidaknya untuk operasi survei perairan dangkal, sehingga produk lokal memperoleh rekam jejak operasional yang baik [4], [18].

#### **3. Peran Pemerintah**

Peran pemerintah adalah sebagai regulator dan katalisator dalam pengembangan teknologi bawah air nasional. Pemerintah dapat mengonsolidasikan pendanaan riset melalui BRIN, menerapkan kebijakan TKDN pada proyek eksplorasi laut dan pertahanan, serta memberikan insentif bagi industri yang berinvestasi pada riset dan pengembangan teknologi bawah laut di perguruan tinggi Indonesia [1], [8], [20].

### **Roadmap Pengembangan Teknologi Bawah Laut Nasional**

Untuk memastikan kesinambungan jangka panjang, Indonesia harus memiliki *National Underwater Technology Roadmap* yang jelas, terukur, dan mengikat secara hukum. Peta jalan ini dapat dibagi menjadi tiga fase:

#### **1. Fase 1: Kapasitas Dasar dan Reverse Engineering (Target 2025 – 2030)**



Fokus pada fase ini adalah penguasaan teknologi kendaraan bawah air perairan dangkal dengan kedalaman 0–200 meter [4], [11]. Aktivitas utama meliputi pengadaan fasilitas Hyperbaric Chamber nasional dan kolam uji terpusat, sementara universitas dan lembaga riset diarahkan untuk melakukan reverse engineering komponen sensor dasar serta pengembangan Observation Class ROV [6], [17]. Output yang diharapkan adalah terciptanya regulasi standar pengujian oleh BKI serta prototipe dengan tingkat TRL 7–8 yang telah tersertifikasi nasional [13], [17].

### 2. Fase 2: Substitusi Impor dan Kemandirian Komponen (Target 2030 – 2035)

Fase kedua berfokus pada pengembangan kendaraan laut dalam hingga kedalaman 1.000 meter dan AUV dengan kemampuan semi-otonom [9], [10]. Pada tahap ini, industri lokal diharapkan mulai mampu memproduksi komponen kritis yang sebelumnya diimpor, seperti thruster bawah air dan underwater acoustic modem [13]. Selain itu, sinergi antar-BUMN diarahkan untuk memproduksi Work-Class ROV guna mendukung kebutuhan pemeliharaan pipa bawah laut migas nasional [12], [13]. Output utama fase ini adalah peningkatan TKDN hingga 60% pada setiap instrumen survei bawah air yang digunakan pemerintah [1], [18].

### 3. Fase 3: Kemandirian Penuh, Kepemimpinan Regional, dan Komersialisasi Global (Target 2035 – 2045)

Fase ketiga menargetkan penguasaan teknologi penjelajahan laut dalam (Ultra-Deep Water > 3000 meter), Swarm AUVs, dan sistem pertahanan bawah laut terintegrasi [9], [19]. Aktivitas pada tahap ini mencakup pengembangan inovasi frontier berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk pemetaan dasar laut mandiri tanpa kabel [5], [16]. Dalam fase ini, Indonesia diharapkan tidak lagi hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi mampu menjadi eksportir teknologi kapal tanpa awak dan sensor laut di kawasan ASEAN maupun global [3], [8]. Output akhirnya adalah tercapainya visi Indonesia Emas 2045 sebagai Poros Maritim Dunia yang berdaulat atas teknologi maritimnya [1], [3].

## KESIMPULAN

Penguatan kapasitas nasional dalam teknologi bawah air adalah prasyarat mutlak bagi kedaulatan maritim Indonesia [1], [3]. Kesenjangan teknologi yang ada saat ini disebabkan oleh kurangnya infrastruktur pengujian, minimnya standar kelaikan/sertifikasi spesifik, dan ekosistem riset yang tidak terintegrasi [4], [6], [13]. Untuk keluar dari situasi ini, pendekatan Triple Helix menjadi solusi esensial di mana universitas menyuplai inovasi dan SDM, industri melakukan manufaktur dan bertindak sebagai pasar awal (off-taker), sementara pemerintah memfasilitasi melalui pendanaan, infrastruktur (laboratorium), dan kebijakan perlindungan produk lokal (TKDN) [2], [7], [20]. Semua langkah strategis ini harus diikat dalam sebuah Peta Jalan (Roadmap) Teknologi Bawah Laut Nasional yang bertahap dan konsisten hingga tahun 2045 [1], [8], [18]. 4.2 Innovation Beyond R&D: Building Inclusive Innovation Ecosystems.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bappenas, *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024: Menuju Indonesia Berdaulat dan Mandiri*. Jakarta, Indonesia: Kementerian PPN/Bappenas RI, 2020.
- [2] H. Etzkowitz and L. Leydesdorff, “The dynamics of innovation: From national systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of university-industry-government relations,” *Research Policy*, vol. 29, no. 2, pp. 109–123, 2000.
- [3] Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi Republik Indonesia, *Buku Putih Kebijakan Kelautan Indonesia*. Jakarta, Indonesia: Kemenko Marves RI, 2021.
- [4] A. Pramono and S. Widodo, “Tantangan dan peluang kemandirian teknologi kapal selam tanpa awak di Indonesia,” *Jurnal Inovasi Pertahanan dan Keamanan Maritim*, vol. 14, no. 3, pp. 45–60, 2022.
- [5] R. Smith, P. Johnson, and H. Davis, “Deep sea exploration and the technology gap: Strategies for developing nations,” *Ocean Engineering & Technology Journal*, vol. 35, no. 1, pp. 112–128, 2021.
- [6] H. Supomo and E. Prasetyo, “Peran pengujian hidrodinamika dalam pengembangan kendaraan bawah air,” *Jurnal Teknik Kelautan Nasional*, vol. 8, no. 2, pp. 77–89, 2019.
- [7] A. R. Wibowo, “Hilirisasi riset maritim melalui pendekatan Triple Helix: Studi kasus pembuatan ROV nasional,” *Jurnal Kebijakan Riset dan Inovasi*, vol. 5, no. 1, pp. 22–35, 2023.
- [8] Badan Riset dan Inovasi Nasional, *Peta Jalan Riset Nasional Bidang Kemaritiman 2020–2045*. Jakarta, Indonesia: BRIN, 2021.
- [9] J. Yuh, “Design and control of autonomous underwater robots: A survey,” *Autonomous Robots*, vol. 8, no. 1, pp. 7–24, 2000.
- [10] B. Jalving, K. Gade, O. Hagen, and K. Vestgård, “A toolbox of aiding techniques for the HUGIN AUV integrated inertial navigation system,” in *Proc. IEEE OCEANS Conf.*, 2003, pp. 1146–1153.



- [11] M. R. Triyono and D. Kurniawan, “Pengembangan sistem navigasi pada remotely operated vehicle (ROV) untuk eksplorasi bawah laut,” *Jurnal Teknologi Maritim*, vol. 11, no. 2, pp. 91–102, 2021.
- [12] International Energy Agency, *Offshore Energy Outlook 2022*. Paris, France: IEA Publications, 2022.
- [13] A. Wahyudi, S. Nugroho, and R. Hidayat, “Analisis kemampuan industri nasional dalam mendukung teknologi kendaraan bawah air,” *Jurnal Industri Pertahanan*, vol. 9, no. 1, pp. 33–47, 2020.
- [14] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, *Global Ocean Science Report 2020*. Paris, France: UNESCO Publishing, 2020.
- [15] T. I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. Chichester, U.K.: Wiley, 1994.
- [16] D. R. Blidberg, “The development of autonomous underwater vehicles (AUV): A brief summary,” in *Proc. IEEE ICRA*, 2001, pp. 1–12.
- [17] P. Ridwan and A. Santoso, “Strategi peningkatan transfer teknologi maritim di Indonesia melalui kerja sama internasional,” *Jurnal Kebijakan Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 55–68, 2022.
- [18] Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, *Kebijakan Pertahanan Negara Tahun 2023*. Jakarta, Indonesia: Kemhan RI, 2023.
- [19] S. B. Williams and I. Mahon, “Simultaneous localisation and mapping on the Great Barrier Reef,” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 11, no. 3, pp. 37–46, 2004.
- [20] M. F. Iskandar and Y. Firmansyah, “Pengembangan ekosistem inovasi maritim berbasis kolaborasi universitas dan industri di Indonesia,” *Jurnal Manajemen Teknologi*, vol. 18, no. 3, pp. 201–214, 2023.