

PENGEMBANGAN *AUTONOMOUS UNMANNED SURFACE VEHICLE* NASIONAL UNTUK PERTAHANAN MARITIM DAN PENANGGULANGAN BENCANA

Dymas

Direktorat Jenderal Potensi Pertahanan, Kemhan
dymashiukencana42@gmail.com
<http://doi.org/10.52307/jmi.v9i2.216>

ABSTRAK

Karakter geografis Indonesia sebagai negara kepulauan menimbulkan kebutuhan akan sarana yang mampu melaksanakan pengawasan, pengumpulan informasi, pengiriman logistik, serta respons awal secara luas dan berkesinambungan. Ketergantungan pada unsur berawak menghadirkan keterbatasan berupa kebutuhan personel, waktu mobilisasi, dukungan pangkalan, biaya operasi, dan risiko keselamatan, terutama untuk misi rutin, berulang, berjarak jauh, atau dilaksanakan pada daerah berbahaya. Kajian ini bertujuan merumuskan arah pengembangan *autonomous unmanned surface vehicle* (USV) nasional yang dapat digunakan untuk mendukung pertahanan maritim sekaligus penanggulangan bencana. Kajian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan kajian konseptual. Data sekunder dikumpulkan melalui studi kepustakaan dan dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan analisis kebutuhan, analisis kesenjangan, dan analisis sistem terhadap perkembangan teknologi USV, kebutuhan operasional, keselamatan, komunikasi, keamanan siber, serta kebijakan industri pertahanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa Indonesia telah memiliki kemampuan awal pada perancangan, integrasi sensor, navigasi, dan pengendalian USV, tetapi pengembangannya masih didominasi purwarupa dan belum terintegrasi sebagai sistem operasi yang berkelanjutan. Karena itu, USV nasional perlu dibangun sebagai sistem terpadu yang mencakup wahana modular, pusat kendali, komunikasi berlapis, paket misi, sumber daya manusia, prosedur operasi, pengujian bertahap, serta dukungan industri dalam negeri. Pengembangan melalui konsorsium lintas instansi diharapkan menghasilkan platform dasar yang dapat dikonfigurasi untuk pengawasan maritim, relai komunikasi, pencarian dan pertolongan, pengiriman bantuan awal, serta tugas pendukung lainnya dengan kendali tetap pada manusia.

Kata kunci: USV nasional; pertahanan maritim; penanggulangan bencana; industri pertahanan; sistem otonom.

ABSTRACT

Indonesia's geographical character as an archipelagic state creates a need for capabilities that can conduct surveillance, collect information, deliver logistics, and provide an initial response across extensive areas on a sustained basis. Reliance on crewed assets presents limitations related to personnel requirements, mobilisation time, base support, operating

costs, and safety risks, particularly for routine, repetitive, long-range missions or operations conducted in hazardous areas. This study aims to formulate a development direction for a national *autonomous unmanned surface vehicle* (USV) capable of supporting both maritime defence and disaster management. It employs a qualitative descriptive method with a conceptual study approach. Secondary data were collected through a literature review and document analysis and subsequently examined using needs analysis, gap analysis, and systems analysis, covering developments in USV technology, operational requirements, safety, communications, cybersecurity, and defence industry policy. The findings indicate that Indonesia has established initial capabilities in USV design, sensor integration, navigation, and control. However, development remains predominantly prototype-based and has yet to be integrated into a sustainable operational system. Therefore, the national USV should be developed as an integrated system encompassing a modular platform, control centre, layered communications, mission packages, human resources, operational procedures, phased testing, and support from the domestic defence industry. Development through a cross-agency consortium is expected to produce a common platform that can be configured for maritime surveillance, communications relay, search and rescue, initial aid delivery, and other supporting missions, while ensuring that control remains under human authority.

Keywords: national USV; maritime defence; disaster management; defence industry; *autonomous systems*.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki karakteristik geografis yang menempatkan laut sebagai ruang penghubung sekaligus ruang strategis nasional. Berdasarkan pemutakhiran data Badan Informasi Geospasial, Indonesia memiliki 17.380 pulau yang tersebar di wilayah yang sangat luas. Persebaran tersebut menimbulkan konsekuensi terhadap penyelenggaraan pertahanan negara, pengawasan wilayah laut, perlindungan jalur pelayaran, pengamanan objek vital, serta pelayanan kepada masyarakat yang tinggal di pulau-pulau terluar dan wilayah terpencil. Kondisi geografis demikian membutuhkan sarana yang mampu beroperasi secara luas, cepat, berkesinambungan, dan tidak selalu

bergantung pada keberadaan awak di atas wahana. (Badan Informasi Geospasial, 2024).

Dari perspektif pertahanan, luasnya wilayah perairan Indonesia belum sepenuhnya dapat dijangkau secara terus-menerus oleh kapal berawak. Pengoperasian kapal perang dan kapal patroli memerlukan kesiapan personel, bahan bakar, dukungan pangkalan, pemeliharaan, dan biaya operasional yang relatif besar. Seiring dengan itu, perkembangan lingkungan keamanan maritim menuntut kemampuan pemantauan, pengintaian, patroli, deteksi dini, pengiriman logistik, dan pengumpulan informasi secara berkesinambungan atau terus-menerus. Penggunaan kapal

berawak untuk setiap tugas tersebut tidak selalu efisien, khususnya untuk misi yang rutin, berulang, berisiko tinggi, atau dilaksanakan dalam jangka waktu panjang.

Kebutuhan serupa muncul dalam penanggulangan bencana. Gempa bumi, tsunami, banjir, cuaca ekstrem, dan bencana lainnya dapat menyebabkan terputusnya akses jalan, rusaknya dermaga, terganggunya jaringan komunikasi, serta terisolasinya masyarakat di pulau kecil atau wilayah pesisir. Kecepatan pengiriman bantuan awal berupa obat-obatan, makanan siap saji, air minum, perangkat komunikasi, *emergency kit*, dan peralatan penyelamatan sangat menentukan efektivitas penanganan darurat. Akan tetapi, pengerahan kapal atau pesawat berawak tidak selalu dapat segera dilaksanakan karena dipengaruhi ketersediaan unsur, jarak, kondisi cuaca, kapasitas fasilitas setempat, dan risiko keselamatan personel.

Salah satu teknologi yang relevan ialah *autonomous unmanned surface vehicle* (USV) atau wahana permukaan tanpa awak yang dapat berlayar secara otonom maupun dikendalikan dari jarak jauh. International Maritime Organization mendefinisikan kapal permukaan otonom sebagai kapal yang, dalam tingkat tertentu, mampu beroperasi secara independen dari interaksi manusia. Dalam tulisan ini, otonomi bukan berarti menghapus kendali manusia, melainkan memberi wahana kemampuan menjalankan fungsi pelayaran dan tugas tertentu secara mandiri di bawah

pemantauan serta kewenangan operator. (International Maritime Organization, 2023).

Pemanfaatan USV telah berkembang untuk survei, pemantauan lingkungan, pencarian dan pertolongan, inspeksi infrastruktur, pengawasan maritim, serta operasi pada daerah yang berbahaya bagi manusia. Kajian Jorge dkk. menunjukkan bahwa USV memiliki potensi dalam penanganan bencana, termasuk untuk penilaian kerusakan, pengumpulan informasi, pencarian, pemetaan, dan pelaksanaan tugas pada wilayah yang sulit dijangkau. Dalam bidang pertahanan, platform serupa dapat digunakan sebagai unsur pendukung pengawasan, patroli, pengintaian, relai komunikasi, dan dukungan logistik. (Jorge dkk., 2019).

Kehadiran wahana tanpa awak perlu dipahami sebagai bagian dari perubahan cara menyusun operasi, bukan sekadar penggantian kapal berawak dengan platform berukuran lebih kecil. Nilai utama USV terletak pada kemampuannya memperpanjang jangkauan sensor, mempertahankan kehadiran pada sektor tertentu, memasuki daerah yang meningkatkan risiko bagi personel, serta menyediakan data awal sebelum unsur utama tiba. Dalam konteks kepulauan Indonesia, fungsi tersebut dapat menghubungkan kebutuhan pertahanan dan kebutuhan kemanusiaan karena keduanya sama-sama memerlukan mobilitas laut, informasi situasional,

komunikasi, dan dukungan logistik pada wilayah yang tersebar.

Meskipun demikian, penggunaan USV tidak dapat dilepaskan dari persoalan keselamatan navigasi, keandalan teknis, ketahanan komunikasi, keamanan data, kewenangan operator, dan integrasi dengan organisasi pengguna. Wahana yang mampu berlayar secara otonom tetapi tidak terhubung dengan pusat komando, tidak memiliki prosedur keadaan darurat, atau tidak dapat memanfaatkan penggunaannya di dalam negeri dan hanya akan menjadi demonstrator teknologi. Oleh sebab itu, arah pengembangan harus menempatkan wahana, jaringan komunikasi, pusat kendali, operator, doktrin, dukungan logistik, dan ekosistem industri sebagai satu kesatuan kemampuan.

Di Indonesia, perguruan tinggi dan lembaga penelitian telah membangun kemampuan awal USV. Setiawan dkk. mengembangkan wahana berbiaya relatif terjangkau dengan dua pendorong, kendali *Proportional–Integral–Derivative*, dan *Mission Planner* yang mampu mengikuti lintasan otonom dengan penyimpangan relatif kecil. Priadi dkk. melalui *Sea Autonomous Observer* mengintegrasikan sensor lingkungan dan navigasi, autopilot, komunikasi nirkabel, serta pemantauan berbasis web untuk akuisisi data dan kendali dua arah secara *real-time*. (Setiawan dkk., 2022; Priadi dkk., 2025).

Temuan tersebut, bersama kajian Jorge dkk. mengenai USV untuk *failure assessment*, pencarian, dan pemetaan bencana, menunjukkan bahwa fondasi teknis dan operasional telah tersedia. Kendati demikian, Pemetaan tersebut menunjukkan bahwa penelitian tersebut telah menyediakan landasan teknis dan operasional, tetapi pembahasannya masih berfokus pada komponen teknologi atau jenis misi tertentu. Berdasarkan ruang lingkup literatur yang ditelaah dalam kajian ini, belum teridentifikasi pembahasan yang secara terpadu menghubungkan kebutuhan pertahanan maritim dan penanggulangan bencana, arsitektur sistem, kendali manusia, pengujian bertahap, tata kelola lintas instansi, serta keterlibatan industri pertahanan dalam kerangka pengembangan USV nasional Indonesia. Dengan demikian, kebaruan kajian ini terletak pada penyusunan konsepsi pengembangan nasional yang mengintegrasikan unsur-unsur tersebut, bukan pada penciptaan teknologi USV yang sepenuhnya baru.

Kesenjangan analisis mencakup tiga lapisan yang belum terhubung. Pertama, kemampuan wahana untuk bernavigasi, membawa muatan, berkomunikasi, dan bertahan di laut. Kedua, kemampuan sistem operasi untuk mengendalikan misi, mengolah data, bekerja bersama unsur berawak (*interoperability*), dan menjaga keselamatan. Ketiga, kapasitas nasional untuk merancang, memproduksi, menguji, mensertifikasi, memelihara, serta

meningkatkan platform secara berkelanjutan. Sebagian pembahasan berhenti pada lapisan pertama, padahal keberhasilan penggunaan ditentukan oleh keterpaduan ketiganya.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, pertanyaan utama dalam kajian ini adalah: bagaimana konsepsi pengembangan USV nasional yang mampu mendukung pertahanan maritim dan penanggulangan bencana serta dapat diproduksi dan dipelihara melalui keterlibatan industri pertahanan dalam negeri? Pertanyaan utama tersebut dijabarkan menjadi tiga pertanyaan penelitian. Pertama, bagaimana kondisi kemampuan USV di Indonesia saat ini dan kesenjangan apa saja yang masih dihadapi untuk mencapai kesiapan operasional? Kedua, kebutuhan operasional, teknis, keselamatan, komunikasi, dan keamanan apa saja yang harus dipenuhi agar USV dapat digunakan di lingkungan kepulauan Indonesia? Ketiga, bagaimana tahapan pengembangan, pembagian peran, mekanisme kolaborasi, serta pengujian yang diperlukan untuk mengubah purwarupa menjadi kemampuan operasional nasional?.

Kajian ini bertujuan mengevaluasi kondisi kemampuan dan kesenjangan pengembangan USV di Indonesia, merumuskan kebutuhan operasional dan teknis yang harus dipenuhi, serta menyusun tahapan pengembangan dan pola kolaborasi antara Kementerian Pertahanan, TNI Angkatan Laut, BNPB,

Basarnas, industri pertahanan, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian. Hasil kajian diharapkan menjadi bahan awal dalam penyusunan kebutuhan operasional, spesifikasi teknis, konsep operasi, peta jalan pengembangan, pembagian peran kelembagaan, serta kerangka pengujian USV nasional. Secara strategis, konsepsi tersebut diarahkan untuk memperkuat pengawasan maritim, mempercepat respons kemanusiaan, mengurangi risiko terhadap personel, dan meningkatkan penguasaan teknologi nasional.

METODE PENELITIAN

Metode Kajian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan kajian konseptual. Penelitian tidak menguji purwarupa melalui eksperimen, tetapi merumuskan hubungan antara kebutuhan operasional, persyaratan teknis, keselamatan, tata kelola penggunaan, dan kemampuan industri. Unit analisis mencakup wahana, paket misi, komunikasi, pusat kendali, operator, prosedur operasi, pengujian, serta dukungan produksi dan pemeliharaan.

Kajian dilaksanakan di Jakarta pada medio Agustus 2026 dengan menggunakan data sekunder yang berasal dari dokumen terbuka. Dokumen dipilih secara purposif berdasarkan empat kriteria, yaitu: relevan dengan pengembangan atau pemanfaatan USV; membahas aspek operasional, teknis, keselamatan, komunikasi, keamanan siber, atau industri pertahanan; berasal dari jurnal ilmiah,

peraturan perundang-undangan, atau lembaga resmi; serta memuat informasi yang dapat ditelusuri sumber dan konteksnya. Dokumen yang tidak berkaitan langsung dengan unit analisis, tidak memiliki kejelasan sumber, atau hanya mengulang informasi dari dokumen lain tidak digunakan.

Pengumpulan data dilakukan melalui studi kepustakaan dan analisis dokumen kualitatif. Setiap dokumen diperiksa untuk mengidentifikasi tujuan kajian, kemampuan yang telah dibuktikan, batasan teknologi, persyaratan keselamatan, kebutuhan komunikasi, bentuk penggunaan, dan implikasinya bagi pengembangan USV nasional. Informasi tersebut dicatat dalam matriks analisis yang memuat sumber, fokus pembahasan, temuan utama, keterbatasan, dan relevansinya terhadap kajian. Selanjutnya, data dikelompokkan ke dalam lima tema, yaitu kebutuhan pengguna, kondisi teknologi saat ini, kemampuan yang diharapkan, dukungan industri, dan tata kelola lintas instansi.

Analisis data dilaksanakan melalui empat tahap. Pertama, analisis kebutuhan digunakan untuk mengidentifikasi tugas pertahanan maritim dan kebencanaan yang dapat didukung oleh USV. Kedua, analisis kesenjangan dilakukan dengan membandingkan kemampuan yang telah tersedia dengan kebutuhan operasi di laut terbuka, jangkauan jauh, integrasi komando dan pengendalian, keselamatan, serta kesinambungan produksi. Ketiga,

analisis sistem digunakan untuk memetakan hubungan antara wahana, sensor, komunikasi, manusia, prosedur, pengujian, dan industri. Keempat, hasil ketiga analisis tersebut disintesis menjadi kebutuhan operasional, persyaratan teknis, tahapan pengembangan, pola pengujian, dan pembagian peran kelembagaan.

Validasi temuan dilakukan melalui triangulasi sumber dengan membandingkan informasi dari artikel ilmiah, dokumen resmi, dan peraturan perundang-undangan. Temuan teknis diperiksa kesesuaiannya antarsumber, sedangkan rekomendasi ditelusuri kembali kepada data dan hasil analisis yang mendasarinya. Informasi yang hanya didukung oleh satu sumber tidak diperlakukan sebagai kesimpulan umum, tetapi sebagai masukan konseptual yang masih memerlukan pengujian lebih lanjut. Konsistensi internal juga diperiksa dengan memastikan keterkaitan antara rumusan masalah, hasil analisis, rekomendasi, dan tujuan kajian.

PEMBAHASAN

Kondisi Saat Ini dan Kesenjangan Kemampuan

Pelaksanaan operasi pertahanan dan keamanan laut Indonesia saat ini masih bertumpu pada kapal perang, kapal patroli, pesawat udara, pos pengamatan, radar pantai, dan personel pada satuan kewilayahan. Dalam penanggulangan bencana dan pencarian serta pertolongan,

pengerahan bantuan menuju pulau kecil dan wilayah pesisir juga masih mengandalkan kapal, perahu cepat, pesawat udara, helikopter, serta dukungan unsur TNI, Polri, kementerian dan lembaga, pemerintah daerah, dan masyarakat. Keberhasilan pola operasi tersebut sangat dipengaruhi kesiapan wahana, ketersediaan awak, posisi unsur terhadap lokasi kejadian, dukungan pangkalan, kondisi cuaca, dan waktu mobilisasi.

Dalam susunan operasi tersebut, wahana permukaan tanpa awak belum digunakan secara terintegrasi dan berkesinambungan. Kapal dan pesawat berawak masih melaksanakan hampir seluruh tahapan operasi, mulai dari pengamatan awal, verifikasi objek, pemantauan wilayah, pengiriman bantuan, sampai dengan pelaksanaan tindakan di lapangan. Belum tersedianya unsur tanpa awak yang siap dikirim lebih awal menyebabkan pengumpulan informasi dan pelaksanaan respons tetap menunggu kesiapan serta kedatangan unsur berawak, khususnya ketika lokasi berada jauh dari pangkalan.

Upaya yang berlangsung masih cenderung menempatkan USV sebagai wahana penelitian mandiri. Pemantauan, pengendalian, dan pengolahan datanya belum sepenuhnya terhubung dengan pusat komando dan pengendalian, sistem pengawasan maritim, unsur berawak, maupun jaringan komunikasi instansi pelaksana. Priadi dkk. juga menilai bahwa platform yang dikembangkan memerlukan

integrasi sensor lebih maju, navigasi berbasis kecerdasan buatan, serta komunikasi satelit atau jaringan hibrida untuk penggunaan jarak jauh. (Priadi dkk., 2025).

Dari sisi industri, belum terbentuk rantai pasok nasional yang secara khusus menghubungkan industri galangan, industri elektronika, pengembang perangkat lunak, produsen material, perguruan tinggi, lembaga penelitian, dan pengguna untuk memproduksi USV secara berkelanjutan. Selain itu, belum tersusun konsep operasi bersama yang mengatur pembagian peran antara USV, unsur berawak, pusat komando dan pengendalian, dan operator di darat. Aspek keselamatan navigasi, kewenangan operator, perlindungan data, keamanan komunikasi, sertifikasi kelaikan, dan pertanggungjawaban apabila terjadi kecelakaan juga memerlukan pengaturan lebih lanjut.

Kesenjangan pertama bersifat operasional. Unsur berawak memiliki fleksibilitas tinggi dan tetap diperlukan untuk penegakan hukum, pertolongan langsung, penggunaan kekuatan, serta pengambilan keputusan kompleks. Di sisi lain, penggunaan unsur berawak untuk pengamatan berulang, verifikasi awal, atau pengiriman muatan terbatas karena dapat menimbulkan biaya yang lebih besar karena kapal dan awak yang bernilai tinggi terikat pada tugas yang sebenarnya dapat didukung wahana tanpa awak. USV dapat mengisi ruang tersebut dengan beroperasi sebagai lapisan pendahulu, pengganda

sensor, atau penghubung logistik, sementara unsur berawak dipusatkan pada tugas yang memerlukan kehadiran dan pertimbangan manusia.

Kesenjangan kedua adalah ketahanan pada lingkungan operasi. Keberhasilan mengikuti *waypoint* di perairan terlindung belum otomatis membuktikan kemampuan menghadapi gelombang, arus, hujan, semprotan air laut, korosi, sampah laut, kepadatan lalu lintas, dan perubahan konektivitas. Operasi hingga ratusan kilometer juga menuntut manajemen energi, redundansi, diagnosis gangguan, dan kemampuan mengambil tindakan aman ketika operator tidak dapat segera memberikan perintah. Konsekuensinya, parameter keberhasilan harus bergeser dari sekadar keberhasilan pelayaran menjadi tingkat ketersediaan, keselamatan, keberhasilan misi, kualitas data, kemudahan pemulihan, dan biaya siklus hidup.

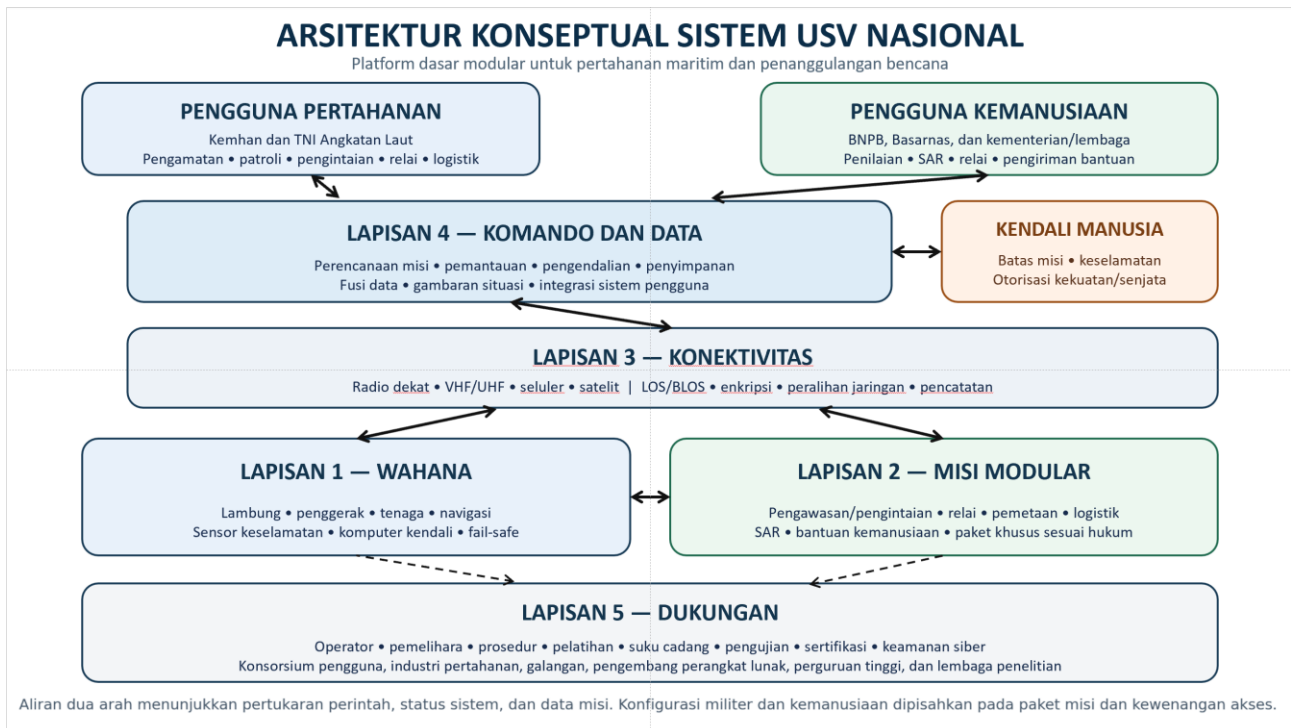
Kesenjangan ketiga menyangkut integrasi organisasi. Data USV akan memiliki nilai terbatas apabila hanya tampil pada konsol khusus yang terpisah dari gambaran situasi maritim. Pengguna memerlukan mekanisme agar posisi, video, deteksi sensor, kondisi teknis, dan status misi dapat diterima pusat komando dan pengendalian serta dibagikan sesuai kewenangan. Sementara itu, integrasi yang terlalu terbuka dapat memperbesar risiko kebocoran data dan serangan siber. Oleh karena itu perlu adanya desain arsitektur

nasional yang menetapkan pemisahan domain, klasifikasi informasi, hak akses, format pertukaran data, dan jejak audit sejak tahap desain.

Konsepsi Sistem USV Nasional

Dalam operasi pertahanan maritim, USV berperan sebagai unsur pendukung untuk pengamatan awal, patroli sektor, relai komunikasi, dan logistik. Pada penanggulangan bencana, wahana ini dapat membawa bantuan darurat sekaligus mengirimkan data mengenai korban, jalur masuk, lokasi pendaratan, dan prioritas pengerahan sebelum unsur utama tiba.

Platform perlu dirancang secara modular agar satu rancangan dasar dapat menggunakan beberapa paket misi, seperti pengawasan maritim, pengintaian, relai komunikasi, pemetaan, pengiriman logistik, pencarian dan pertolongan, serta bantuan kemanusiaan. Untuk kebutuhan pertahanan tertentu, USV dapat dikembangkan dengan paket misi tambahan sesuai ketentuan hukum dan kebutuhan operasi. Dalam rancangan yang diusulkan, setiap keputusan untuk menggunakan kekuatan atau mengaktifkan persenjataan harus tetap berada di bawah kewenangan dan penilaian manusia melalui prinsip *human-in-the-loop*. Prinsip tersebut diperlukan untuk memastikan adanya kendali manusia yang bermakna, pertanggungjawaban, dan kepatuhan terhadap hukum humaniter internasional dalam penggunaan kekuatan. (Ekelhof, 2017).



Gambar 1. Arsitektur Konseptual Sistem USV Nasional

Konsepsi yang diusulkan menempatkan USV dalam lima lapisan. Lapisan wahana meliputi lambung, penggerak, tenaga, navigasi, sensor keselamatan, komputer kendali, dan mekanisme *fail-safe*. Lapisan misi terdiri atas paket sensor atau muatan yang dapat diganti sesuai tugas. Lapisan konektivitas menyediakan komunikasi *line of sight* dan *beyond line of sight* secara berlapis. Lapisan komando dan data mencakup perencanaan misi, pemantauan, pengendalian, penyimpanan, fusi data, serta integrasi dengan sistem pengguna. Lapisan dukungan mencakup operator, pemelihara, prosedur, pelatihan, suku cadang, pengujian, sertifikasi, dan peningkatan kemampuan.

Sifat multiguna tidak berarti seluruh pengguna harus mengoperasikan konfigurasi yang sama. Platform dasar

dapat distandardisasi, sedangkan tingkat keamanan komunikasi, jenis sensor, kapasitas muatan, dan prosedur pengendalian disesuaikan dengan mandat instansi. Pendekatan ini menekan duplikasi penelitian, memperbesar jumlah produksi, memudahkan ketersediaan suku cadang, dan membentuk basis kompetensi nasional yang sama. Sebaliknya, konfigurasi militer dan kemanusiaan harus dipisahkan secara jelas agar kewenangan, perlindungan data, serta aturan penggunaan setiap paket misi tetap terjaga.

Kebutuhan Operasional

USV nasional diharapkan dapat diluncurkan dan dikendalikan dari pangkalan darat maupun kapal pendukung, melaksanakan pelayaran menuju titik tujuan secara presisi, membawa *payload* sekitar 150–200 kilogram, serta memiliki jangkauan misi hingga kurang lebih 500

kilometer. Sasaran tersebut merupakan parameter awal yang masih perlu divalidasi berdasarkan kebutuhan muatan, profil pelayaran, kondisi laut, kebutuhan energi, dan cadangan keselamatan. Sebagai pembandingan, Typhoon USV sepanjang 11 kaki yang dikembangkan Splash Industries di Amerika Serikat dipublikasikan memiliki kapasitas muatan 300 pon atau sekitar 136 kilogram. Situs resmi produsennya juga mencantumkan jangkauan hingga 600 mil laut atau sekitar 1.111 kilometer dan kecepatan maksimum 50 knot. Typhoon telah digunakan dalam kegiatan RIMPAC 2026 untuk mendukung pengiriman logistik kepada USS *Essex*, meskipun berat muatan aktual dalam kegiatan tersebut tidak dipublikasikan. Perbandingan ini menunjukkan bahwa sasaran muatan sekitar 150 kilogram dan jangkauan 500 kilometer masih berada dalam rentang kemampuan yang telah dikembangkan pada USV berukuran kecil di luar negeri. Meskipun demikian, batas atas muatan 200 kilogram tetap harus dibuktikan melalui perhitungan keseimbangan berat, kebutuhan daya, stabilitas, dan pengujian bertahap sesuai kondisi perairan Indonesia. (Gossrow, 2026; Splash Industries, 2026)

Wahana harus mampu menerima perubahan rute atau tugas selama pelaksanaan misi, mengirimkan posisi dan kondisi teknis secara berkala, serta melaksanakan prosedur kembali ke pangkalan, menuju titik aman, berhenti,

atau melanjutkan bagian tertentu dari misi apabila hubungan komunikasi terputus.

Kebutuhan operasional juga mencakup kemampuan interoperabilitas dengan pusat komando dan pengendalian, sistem pengawasan maritim, unsur berawak, dan jaringan komunikasi instansi pengguna. Pengoperasiannya harus didukung oleh prosedur penugasan, peluncuran, pengendalian, pengawasan, pemulihan, pemeliharaan, dan penanganan keadaan darurat.

Angka *payload* 150–200 kilogram dan jangkauan sekitar 500 kilometer perlu diperlakukan sebagai sasaran awal yang divalidasi melalui skenario misi. Untuk operasi pengiriman bantuan, kapasitas muatan harus dikaitkan dengan jenis barang, kemasan tahan air, cara bongkar, kestabilan, dan kemampuan masyarakat menerima muatan tanpa fasilitas dermaga. Untuk pengawasan maritim, kebutuhan energi sensor dan komunikasi dapat lebih penting daripada berat muatan. Karena itu, rancangan harus menyeimbangkan jarak, kecepatan, *endurance*, *payload*, kondisi laut, dan cadangan energi, bukan memaksimalkan satu parameter secara terpisah.

Konsep operasi perlu mengatur siklus misi sejak perencanaan hingga evaluasi. Sebelum peluncuran, operator memeriksa cuaca, jalur, area terlarang, lalu lintas, bahan bakar atau baterai, konektivitas, dan status paket misi. Selama pelayaran, operator memantau posisi,

kesiapan sistem, kontak di sekitar wahana, kualitas jaringan, serta kemungkinan penyimpangan dari rencana. Setelah misi, wahana dipulihkan, data diamankan, kondisi teknis diperiksa, dan rekaman kejadian dianalisis. Siklus tersebut harus berlaku baik ketika USV diluncurkan dari pangkalan darat maupun dari kapal pendukung.

Pembagian fungsi manusia dan otomasi harus dinyatakan secara eksplisit. Sistem dapat diberi kewenangan mempertahankan lintasan, menyesuaikan kecepatan, menghindari bahaya, menjalankan prosedur *lost-link*, dan kembali ke titik aman. Operator tetap menetapkan tujuan misi, batas wilayah, aturan perilaku, prioritas keselamatan, serta keputusan yang berdampak hukum atau melibatkan penggunaan kekuatan. Untuk misi bersenjata, keputusan aktivasi dan penggunaan senjata tetap berada pada manusia melalui prinsip *human-in-the-loop* sehingga tanggung jawab tidak dialihkan kepada algoritma.

Interoperabilitas perlu diuji melalui skenario nyata, bukan hanya melalui keberhasilan pertukaran data di laboratorium. Pengujian harus membuktikan bahwa pusat komando dapat mengubah misi, unsur berawak dapat memahami perilaku USV, notifikasi alarm atau pengiriman data dapat diterima tepat waktu, dan data sensor dapat digunakan dalam proses pengambilan keputusan. Latihan bersama juga diperlukan untuk menguji siapa yang berwenang mengambil

alih kendali, bagaimana prioritas jaringan ditetapkan, dan bagaimana operasi dihentikan ketika keselamatan pelayaran atau keamanan sistem tidak dapat dijamin.

Kebutuhan Teknis, Keselamatan, dan Keamanan

Struktur lambung dapat menggunakan material komposit yang diperkuat serat karbon untuk memperoleh konstruksi yang ringan, kuat, dan tahan korosi. *Teknologi additive manufacturing* atau pencetakan tiga dimensi dapat digunakan secara selektif pada komponen yang telah memenuhi persyaratan kekuatan dan keselamatan. Sistem penggerak menggunakan konfigurasi hibrida yang menggabungkan mesin berbahan bakar, motor listrik, baterai, dan panel surya agar wahana memiliki keseimbangan antara kecepatan, daya tahan, dan efisiensi energi.

Sistem navigasi perlu memisahkan fungsi penentuan posisi, persepsi lingkungan, perencanaan lintasan, dan pengendalian gerak. *Global Navigation Satellite System* (GNSS), *Inertial Navigation System* (INS), dan kompas menghasilkan estimasi posisi, sedangkan radar, kamera elektro-optik, *Automatic Identification System* (AIS), serta sensor lain membentuk pemahaman lingkungan. Perangkat lunak kemudian mempertahankan lintasan, menyesuaikan kecepatan, menghindari tabrakan, dan merencanakan perubahan rute dengan tetap memperhatikan ketentuan

pencegahan tubrukan di laut. Pemisahan tersebut memudahkan evaluasi atas kegagalan deteksi, klasifikasi, keputusan lintasan, maupun respons aktuator, sekaligus membuka ruang intervensi operator ketika sistem tidak mampu menyelesaikan situasi secara aman.

Keandalan wahana didukung oleh mekanisme *fail-safe* untuk mendeteksi gangguan, mengalihkan fungsi kepada sistem cadangan, memberikan peringatan kepada operator, dan menjalankan prosedur aman. Wahana juga harus memiliki kemampuan *self-righting* agar dapat kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan ekstrem atau terbalik akibat hantaman gelombang. Kemampuan tersebut diwujudkan melalui pengaturan titik berat, distribusi daya apung, bentuk lambung dan bangunan atas, penggunaan lunas atau pemberat, serta perlindungan kedap air terhadap komponen kritis. (Trimulyono dkk., 2023).

Self-righting perlu dianalisis bersama stabilitas, *watertight integrity*, lokasi antena, dan keamanan muatan. Wahana yang dapat kembali tegak tetapi kehilangan antena, mengalami masuknya air, atau merusak paket misi belum dapat dinyatakan pulih secara sempurna. Oleh karena itu, uji terbalik harus diikuti pemeriksaan kemampuan menghidupkan kembali sensor, memperoleh posisi, membangun komunikasi, dan melanjutkan prosedur aman. Desain juga perlu mempertimbangkan kemudahan pengangkatan, penundaan, dan pemulihan

apabila tenaga penggerak tidak lagi tersedia.

Komunikasi USV perlu menggunakan arsitektur berlapis yang memilih jalur berdasarkan jangkauan, kapasitas, latensi, keamanan, biaya, dan kondisi gangguan. Radio jarak dekat mendukung peluncuran serta pemulihan, VHF/UHF melayani kendali *line of sight*, jaringan seluler digunakan ketika tersedia, sedangkan satelit mendukung *beyond line of sight*. Layanan orbit rendah seperti Starlink dapat menjadi salah satu pilihan, tetapi tidak boleh berdiri sebagai saluran tunggal. Pergantian jaringan harus berlangsung tanpa memutus kendali atau menghilangkan jejak audit. Jika seluruh hubungan gagal, wahana menyimpan data misi dan menjalankan *lost-link fail-safe* yang telah ditetapkan, seperti mempertahankan posisi, menuju titik aman, atau kembali ke pangkalan. (Zolich dkk., 2019; Ma dkk., 2023; Yoo dan Jo, 2023; Sukarno dkk., 2026).

Keamanan siber harus diterapkan sejak tahap desain. Identitas perangkat, autentikasi operator, enkripsi, manajemen kunci, pembatasan hak akses, pemutakhiran perangkat lunak, pencatatan kejadian, dan pemulihan konfigurasi harus menjadi persyaratan sistem. Jaringan navigasi dan penggerak, jaringan paket misi, serta antarmuka pemeliharaan perlu dipisahkan untuk membatasi penyebaran gangguan apabila salah satu bagian berhasil disusupi. Setiap perintah dari pusat kendali harus diautentikasi,

dienkripsi, diberi penanda waktu, dan diperiksa urutannya guna mencegah penyadapan, perubahan perintah, serta serangan pengiriman ulang. Pembaruan perangkat lunak hanya dapat dilakukan menggunakan paket yang telah ditandatangani dan diverifikasi secara digital. (Cho dkk., 2022).

Dalam lingkungan maritim, keterbatasan *bandwidth*, *latency*, kehilangan paket data, serta terputusnya hubungan komunikasi menyebabkan keamanan USV tidak dapat bergantung pada koneksi terus-menerus dengan pusat kendali. Oleh karena itu, fungsi keselamatan kritis, seperti mempertahankan lintasan, menghindari tabrakan, mendeteksi gangguan sensor, dan menjalankan prosedur *lost-link*, harus diproses secara lokal melalui komputer di dalam wahana. Komunikasi diprioritaskan untuk perintah kendali, posisi, peringatan bahaya, dan kondisi teknis, sedangkan video atau data sensor berukuran besar dapat dikompresi, dikirim secara bertahap, atau disimpan terlebih dahulu melalui mekanisme *store-and-forward*. Pendekatan tersebut mengurangi ketergantungan terhadap komunikasi berkapasitas tinggi sekaligus mempertahankan keselamatan operasi ketika terjadi keterlambatan atau penurunan kualitas jaringan. (Zolich dkk., 2019; Cho dkk., 2022).

Apabila komunikasi terganggu akibat *jamming*, serangan siber, atau kondisi lingkungan, sistem harus beralih ke

saluran komunikasi cadangan dan menjalankan tindakan aman yang telah ditentukan. Ancaman *spoofing* terhadap GNSS atau data sensor diatasi melalui pemeriksaan silang antara GNSS, INS, radar, AIS, kamera, dan data lintasan sebelumnya. Data yang tidak konsisten tidak langsung digunakan sebagai dasar manuver, tetapi ditandai untuk diverifikasi oleh sistem dan operator. Pengujian keamanan selanjutnya dilakukan bersamaan dengan uji pelayaran melalui pembatasan *bandwidth*, penambahan *latency*, kehilangan paket, pemutusan komunikasi, *spoofing*, *jamming*, dan upaya akses tanpa izin. Model dinyatakan memenuhi kebutuhan apabila USV tetap mampu menjaga fungsi keselamatan, melindungi perintah dan data, mencatat kejadian, serta beralih ke kondisi aman tanpa menunggu instruksi dari pusat kendali.

Keandalan juga memerlukan pengelolaan degradasi. Sistem tidak selalu gagal secara total; kualitas sensor dapat menurun, baterai dapat berkurang lebih cepat, satu penggerak dapat kehilangan daya, atau komunikasi dapat menjadi tidak stabil. USV harus mampu mendeteksi perubahan tersebut, menilai dampaknya terhadap misi, memberi tahu operator, dan memilih mode operasi yang lebih aman. Informasi kesehatan sistem perlu direkam untuk mendukung pemeliharaan prediktif, analisis kegagalan, serta perbaikan desain pada *batch* produksi berikutnya.

Sebelum digunakan secara operasional, USV harus melewati pengujian dengan tingkat risiko yang meningkat secara bertahap: komponen dan *hardware-in-the-loop*, laboratorium, perairan terlindung, lingkungan dekat pantai, pelayaran jarak menengah, lalu laut terbuka. Parameter uji mencakup navigasi, daya tahan, tenaga, komunikasi, keamanan siber, keselamatan, gelombang, *self-righting*, muatan, dan integrasi pusat kendali. Setiap tahap wajib memiliki kriteria kelulusan, batas operasi, unsur pendamping, serta rencana pemulihan. Hasilnya menjadi dasar sertifikasi, penyempurnaan konsep operasi, pelatihan operator, konfigurasi produksi, dan perbaikan desain.

Pengembangan Industri dan Tahapan Implementasi

Pada ranah industri, sasaran Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) di atas 30 persen harus menjadi titik awal penguasaan kemampuan, bukan sekadar penjumlahan nilai komponen. Prioritas nasional perlu mencakup desain sistem, konstruksi, perangkat lunak kendali, integrasi, pusat pengendalian, pemeliharaan, keamanan data, dan hak pengembangan karena bidang-bidang tersebut menentukan kemandirian penggunaan. Komponen yang belum tersedia di dalam negeri dapat dipakai secara selektif dengan alternatif pemasok, dokumentasi antarmuka, persediaan, dan rencana substitusi. Pelaksanaannya perlu

melibatkan konsorsium pengguna, industri pertahanan, galangan, industri elektronika, pengembang perangkat lunak, perguruan tinggi, serta lembaga penelitian sesuai amanat Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2012 dan Peraturan Pemerintah Nomor 141 Tahun 2015. (Republik Indonesia, 2012; Republik Indonesia, 2015).

Konsorsium pengembangan memerlukan pembagian peran yang tegas. Pengguna menetapkan skenario, kebutuhan operasional, dan kriteria penerimaan. Integrator sistem memastikan hubungan platform, sensor, komunikasi, perangkat lunak, dan pusat kendali. Industri galangan menangani desain dan produksi struktur serta integrasi maritim. Industri elektronika dan pengembang perangkat lunak membangun kendali, komunikasi, keamanan, dan pengolahan data. Perguruan tinggi dan lembaga penelitian mendukung pemodelan, algoritma, pengujian, dan evaluasi. Kementerian Pertahanan mengarahkan kebijakan, tata kelola program, pengamanan teknologi, dan kesinambungan kebutuhan.

Tahap pertama adalah perumusan kebutuhan bersama dan arsitektur acuan. Pada tahap ini, instansi pengguna menyepakati platform dasar, antarmuka paket misi, kategori data, standar keselamatan, dan prinsip kendali manusia. Hasilnya bukan daftar spesifikasi yang terlalu rinci, melainkan batas desain yang memungkinkan industri mengembangkan solusi. Tahap ini juga menetapkan konfigurasi demonstrator, daerah uji,

ukuran keberhasilan, pembagian biaya, kepemilikan data, hak kekayaan intelektual, dan mekanisme perubahan persyaratan.

Tahap kedua adalah pembangunan demonstrator teknologi dan purwarupa operasional. Demonstrator digunakan untuk menurunkan risiko pada subsistem kritis seperti navigasi, komunikasi *beyond line of sight*, manajemen energi, *self-righting*, serta integrasi pusat kendali. Setelah teknologi utama terbukti, purwarupa operasional dibangun dengan konfigurasi yang mendekati penggunaan nyata. Pengguna harus terlibat sejak awal agar masukan mengenai ergonomi konsol, prosedur peluncuran, kemudahan pemeliharaan, dan masukan tentang kualitas data tidak baru muncul setelah desain terkunci.

Tahap ketiga adalah uji operasi terbatas dan penyempurnaan. Beberapa wahana ditempatkan pada lokasi terpilih untuk melaksanakan misi yang dibatasi, misalnya pengawasan sektor, relai komunikasi, pemetaan, atau pengiriman muatan. Uji ini menilai bukan hanya performa wahana, tetapi juga kesiapan operator, beban kerja pusat kendali, keandalan jaringan, waktu pemeliharaan, ketersediaan suku cadang, dan koordinasi dengan unsur berawak. Data hasil uji menjadi dasar keputusan apakah rancangan siap diproduksi, perlu diubah, atau harus kembali ke tahap pengembangan.

Tahap keempat adalah produksi awal, sertifikasi, dan pembentukan dukungan. Produksi awal dalam jumlah terbatas memungkinkan industri memvalidasi proses, mutu, dokumentasi, dan rantai pasok. Secara paralel, pengguna menyiapkan organisasi operator dan pemelihara, fasilitas kendali, simulator, prosedur, serta program pelatihan. Sertifikasi harus mencakup kelaikan wahana, keselamatan operasi, keamanan komunikasi, dan kesesuaian paket misi. Kontrak dukungan perlu memastikan tersedianya pembaruan perangkat lunak, perbaikan, suku cadang, analisis kegagalan, dan konfigurasi teknis yang terkendali.

Tahap kelima adalah peningkatan skala dan evolusi kemampuan. Setelah konfigurasi dasar stabil, platform dapat dikembangkan dalam varian ukuran atau paket misi baru tanpa mengubah seluruh ekosistem. Data operasi digunakan untuk memperbaiki algoritma, meningkatkan keandalan, dan menyesuaikan interval pemeliharaan. Peta jalan harus mempertahankan jalur peningkatan terbuka agar sistem tidak terkunci pada satu pemasok atau satu generasi teknologi. Melalui pola ini, investasi awal dapat membentuk keluarga atau satu kumpulan kemampuan yang terus berkembang mengikuti perubahan ancaman, kebutuhan kemanusiaan, dan kemajuan industri.

Tata Kelola Pemanfaatan Lintas Instansi

Pemanfaatan lintas instansi memerlukan tata kelola yang membedakan kepemilikan platform, kewenangan misi, pengendalian operasional, dan pengelolaan data. Satu instansi dapat memiliki wahana, tetapi misi tertentu dilaksanakan untuk mendukung instansi lain. Mekanisme dukungan harus menentukan siapa yang menyetujui penugasan, siapa yang mengendalikan wahana, siapa yang menerima data, dan siapa yang bertanggung jawab terhadap keselamatan. Kejelasan tersebut mencegah duplikasi komando dan mempercepat pengambilan keputusan pada situasi darurat.

Untuk pertahanan maritim, TNI Angkatan Laut menetapkan skenario operasi, kebutuhan integrasi dengan gambaran situasi maritim, standar keamanan, serta prosedur hubungan dengan unsur berawak. Penempatan dapat diprioritaskan pada sektor yang memerlukan kehadiran berkesinambungan, dengan keberhasilan diukur melalui perluasan cakupan, kecepatan respons, kualitas informasi, dan efisiensi penggunaan unsur.

Pada penanggulangan bencana, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dapat memimpin skenario penilaian cepat, komunikasi darurat, dan pengiriman bantuan awal. Penetapan wilayah prioritas mempertimbangkan

keterpencilan, risiko bencana, titik peluncuran, dan keterbatasan akses, sedangkan integrasi dengan pos komando memastikan data USV langsung mendukung pengerahan sumber daya.

Bagi Basarnas, USV berfungsi memperluas pengamatan, membawa perangkat komunikasi atau penanda, serta mengirim perbekalan awal kepada korban. Perannya tetap bersifat pendukung karena pertolongan langsung sering memerlukan personel terlatih. Rancangan misi karena itu harus menghubungkan deteksi, komunikasi korban, penentuan posisi, bantuan awal, dan kedatangan unsur penyelamat.

Latihan bersama diperlukan untuk menguji hilangnya komunikasi, perubahan cuaca, kerusakan dermaga, data yang tidak lengkap, pengalihan misi, dan konflik prioritas. Evaluasinya digunakan untuk menyempurnakan pembagian peran, pertukaran data, kebutuhan operator, dan spesifikasi teknis.

PENUTUP

Indonesia telah memiliki kemampuan awal untuk merancang, mengintegrasikan sensor, menavigasikan, dan mengendalikan USV, tetapi belum membentuk sistem yang siap beroperasi di laut terbuka serta didukung produksi dan pemeliharaan berkelanjutan. Karena itu, pengembangan nasional harus menghubungkan wahana modular, pusat kendali, komunikasi berlapis, paket misi,

operator, prosedur, pengujian, dan ekosistem industri dalam satu arsitektur.

Konsepsi tersebut menjawab tujuan tulisan dengan menempatkan USV sebagai pelengkap unsur berawak untuk tugas awal, rutin, berulang, berjarak jauh, atau berisiko tinggi. Sasaran *payload* 150–200 kilogram dan jangkauan sekitar 500 kilometer masih harus divalidasi melalui skenario serta uji bertahap. Tolok ukurnya bukan hanya pelayaran otonom, melainkan keselamatan, keberhasilan misi, interoperabilitas, kualitas informasi, kemudahan pemeliharaan, dan ketahanan rantai pasok. Penggunaan militer maupun kemanusiaan tetap tunduk pada kewenangan instansi, perlindungan data, keselamatan navigasi, serta prinsip *human-in-the-loop* untuk keputusan yang berdampak hukum atau melibatkan kekuatan.

Saran

Kementerian Pertahanan disarankan menginisiasi program USV nasional melalui konsorsium pengguna, industri pertahanan, galangan, industri elektronika, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian. Program ini perlu dilengkapi peta jalan, pendanaan, mekanisme pengadaan, pembagian penguasaan teknologi, target komponen dalam negeri, pengamanan data, kesinambungan pasokan, serta kemampuan pemeliharaan dan pengembangan di Indonesia.

TNI Angkatan Laut perlu menyusun kebutuhan operasional, spesifikasi teknis,

dan konsep operasi berdasarkan skenario pertahanan maritim. Persiapannya mencakup integrasi dengan sistem komando dan pengendalian serta gambaran situasi maritim, mekanisme kendali manusia, daerah pengujian, dan uji operasi bersama industri untuk menilai keandalan, keselamatan, serta interoperabilitas.

BNPB direkomendasikan merumuskan penggunaan USV untuk penilaian cepat, relai komunikasi, dan pengiriman bantuan awal ke pulau kecil atau pesisir yang terisolasi. Kebutuhan tersebut perlu dijabarkan ke dalam wilayah prioritas, jenis bantuan, kapasitas muatan, titik peluncuran dan pendaratan, serta koordinasi dengan pemerintah daerah dan instansi terkait.

Basarnas perlu menyusun konsep penggunaan USV dalam operasi pencarian dan pertolongan di laut, termasuk kebutuhan sensor dan muatan, prosedur, pengujian, serta pelatihan operator. Latihan bersama TNI Angkatan Laut, BNPB, pemerintah daerah, dan potensi SAR diperlukan untuk menguji dukungan pencarian maupun pemberian bantuan awal.

Sebagai saran terakhir, Kementerian Pertahanan, TNI Angkatan Laut, BNPB, dan Basarnas perlu membentuk kelompok kerja bersama untuk menyelaraskan kebutuhan pertahanan dan kemanusiaan dalam satu platform modular. Kelompok ini mengawal perumusan

kebutuhan, pembangunan purwarupa, pengujian, sertifikasi, prosedur, pelatihan, produksi, dan penempatan wahana.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. 2024. "Pulau Indonesia Bertambah Jadi 17.380, Mengapa Angkanya Berubah Setiap Tahun?" <https://sipulau.big.go.id/news/11>.
- Cho, Sungbaek, Erwin Orye, Gabor Visky, dan Vasco Prates. 2022. *Cybersecurity Considerations in Autonomous Ships*. Tallinn: NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence. <https://ccdcoe.org/library/publications/cybersecurity-considerations-in-autonomous-ships/>.
- Ekelhof, Merel A. C. 2017. "Why It Is So Hard to Talk about 'Autonomous Weapons'." *Journal of Conflict and Security Law* 22(2): 311–331. <https://doi.org/10.1093/jcsl/krw029>.
- Gossrow, Ethan. 2026. "Typhoon USV Completes First-Ever At-Sea Resupply with USS Essex." *Naval News*, 16 Juli 2026. <https://www.navalnews.com/naval-news/2026/07/typhoon-usv-uss-essex-at-sea-resupply/>.
- International Maritime Organization. 2026. "FAQ—Autonomous Shipping." <https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/autonomous-shipping.aspx>.
- Jorge, Vitor A. M., Roger Granada, Renan G. Maidana, Darlan A. Jurak, Guilherme Heck, Alvaro P. F. Negreiros, Davi H. dos Santos, Luiz M. G. Gonçalves, dan Alexandre M. Amory. 2019. "A Survey on Unmanned Surface Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions." *Sensors* 19(3): 702. <https://doi.org/10.3390/s19030702>.
- Ma, Sami, Yi-Ching Chou, Haoyuan Zhao, Long Chen, Xiaoqiang Ma, dan Jiangchuan Liu. 2023. "Network Characteristics of LEO Satellite Constellations: A Starlink-Based Measurement from End Users." Dalam *Proceedings of IEEE INFOCOM 2023*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/INFOCOM53939.2023.10228912>.
- Priadi, Antoni Arif, Tri Cahyadi, L. Barasa, Setyawan Ajie Sukarno, Natanael Suranta, dan Markus Yando. 2025. "Development of IoT-Based Monitoring for Unmanned Surface Vessels (USV)." *Journal of Engineering Science and Technology* 20(Special Issue 5): 1–10.
- Republik Indonesia. 2012. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 183. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39088/uu-no-16-tahun-2012>.
- Republik Indonesia. 2015. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 141 Tahun 2015 tentang Pengelolaan Industri Pertahanan*. Lembaran Negara Republik

- Indonesia Tahun 2015 Nomor 364.
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/5720/pp-no-141-tahun-2015>.
- Setiawan, Joga Dharma, Muhammad Aldi Septiawan, Mochammad Ariyanto, Wahyu Caesarendra, M. Munadi, Sabri Alimi, dan Maciej Sulowicz. 2022. "Development and Performance Measurement of an Affordable Unmanned Surface Vehicle (USV)." *Automation* 3(1): 27–46.
<https://doi.org/10.3390/automation3010002>.
- Splash Industries. 2026. "Splash Industries: Typhoon Unmanned Surface Vehicle." *LinkedIn*. Diakses 4 September 2026.
<https://www.linkedin.com/company/splashindustries>.
- Sukarno, Setyawan Ajie, Hisyam Nuruliman, dan Ridwan. 2026. "Design and Implementation Independent Battery and Lost-Link Fail-Safe Module for USV Safety." *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research* 11(2): 755–765.
<https://doi.org/10.12962/j25481479.v11i2>.
- Trimulyono, Andi, Moh. Afroh Fuadi, Ahmad Fauzan Zakki, Ocid Mursid, dan Muhammad Iqbal. 2023. "Design of Anti-Capsize Ship for Patrol Vessel with the Self-Righting Moment." *Journal of Marine Science and Engineering* 11(1): 133.
<https://doi.org/10.3390/jmse11010133>.
- Yoo, Jiwoon, dan Yonghyun Jo. 2023. "Formulating Cybersecurity Requirements for Autonomous Ships Using the SQUARE Methodology." *Sensors* 23(11): 5033.
<https://doi.org/10.3390/s23115033>.
- Zolich, Artur, David Palma, Kimmo Kansanen, Kay Fjørtoft, João Sousa, Karl H. Johansson, Yuming Jiang, Hefeng Dong, dan Tor A. Johansen. 2019. "Survey on Communication and Networks for Autonomous Marine Systems." *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 95: 789–813.
<https://doi.org/10.1007/s10846-018-0833-5>.