

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar belakang masalah

Dalam era globalisasi yang cepat seperti saat ini, kemajuan teknologi menjadi fenomena yang sangat signifikan. Teknologi telah menjadi aksesibilitas di berbagai tempat dan waktu. Teknologi mampu memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan manusia dan makhluk hidup secara keseluruhan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa peran teknologi secara konsisten berdampingan dengan manusia. Salah satu bidang yang telah mengalami kemajuan teknologi adalah komunikasi, baik komunikasi di udara maupun di bawah laut.

Pentingnya teknologi dalam kehidupan manusia tidak dapat diabaikan. Di era ini, teknologi telah membuka banyak kemungkinan baru dalam komunikasi, mempermudah aksesibilitas informasi dan membantu dalam pemenuhan kebutuhan manusia serta kehidupan makhluk lainnya. Dengan adanya teknologi, proses komunikasi menjadi lebih efisien, cepat, dan dapat mencakup area yang sebelumnya sulit dijangkau. Penerapan teknologi dalam bidang komunikasi juga memainkan peran krusial dalam menyatukan orang-orang dari berbagai lokasi dan memfasilitasi pertukaran informasi serta pengetahuan secara global.

Salah satu contoh kemajuan teknologi dalam komunikasi adalah aplikasi teknologi komunikasi di udara dan di bawah laut. Dalam komunikasi di udara, teknologi seperti satelit dan jaringan nirkabel telah menghadirkan kemudahan dalam berkomunikasi secara jarak jauh dan mendapatkan informasi secara real-time. Sementara itu, kemajuan teknologi dalam komunikasi bawah laut memungkinkan penyampaian informasi di lingkungan laut dengan lebih efektif dan efisien.

Perkembangan pesat dalam komunikasi dan informasi memang membawa dampak positif, namun tidak dapat dihindari pula adanya permasalahan yang sering muncul dalam komunikasi, baik komunikasi yang dilakukan di udara maupun di bawah laut. Penggunaan media komunikasi menggunakan air laut merupakan teknologi yang relatif baru, sehingga masih terbatasnya teknologi yang diterapkan

pada media bawah laut yang menyebabkan munculnya berbagai permasalahan yang belum banyak teratasi. Beberapa permasalahan yang mencuat adalah konflik perebutan wilayah Laut Cina Selatan yang melibatkan beberapa negara, yang berusaha menguasai wilayah dan sumber daya bawah laut di area tersebut.

Salah satu tantangan utama dalam komunikasi bawah laut adalah kesulitan berkomunikasi di bawah permukaan laut, salah satunya adalah komunikasi yang dilakukan oleh penyelam atau tim penyelamatan yang berada di kedalaman laut. Jarak yang jauh menjadi hambatan yang menyebabkan penurunan sinyal dan keterlambatan dalam komunikasi. Selain itu, akses terbatas terhadap informasi di bawah laut juga menjadi masalah umum, mengakibatkan sulitnya mendapatkan data yang diperlukan tentang kondisi lingkungan bawah laut dan keberadaan makhluk hidup di dalamnya.

Masalah lain yang sering dihadapi adalah kesulitan dalam melakukan pencarian dan penyelamatan korban kecelakaan di bawah laut. Keterbatasan akses informasi dan ketidakmampuan untuk berkomunikasi secara efektif menyulitkan tim penyelamatan dalam mengkoordinasikan upaya penyelamatan dan memberikan petunjuk kepada korban. Dalam menghadapi permasalahan ini, diperlukan upaya untuk mencari solusi yang tepat dan efektif. Pengembangan teknologi komunikasi bawah laut yang lebih canggih dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi hambatan dalam berkomunikasi di lingkungan laut.

Pada permasalahan yang terjadi maka telah dibuat sebuah proyek yang berhasil dirancang yaitu desain dan simulasi sistem optik nirkabel tanpa awak untuk komunikasi bawah air laut. Sistem jaringan komunikasi optik ini menggunakan *light emitting diode* (LED) sebagai pengirim informasi, dan memanfaatkan *photodetector* berjenis *positive intrinsic negative* (PIN) BPW34 sebagai penerima informasi. Keunggulan utama dari komunikasi optik bawah air adalah kemampuannya beroperasi pada kecepatan data yang jauh lebih tinggi, mencapai kisaran gigabit per detik (Gbps). Selain itu, komunikasi optik memiliki redaman yang rendah oleh air (sekitar 0,39 dB/m di laut), dan secara signifikan lebih hemat energi daripada komunikasi akustik (30.000 bit/J).

Komunikasi bawah air adalah proses pertukaran informasi yang terjadi di dalam perairan atau di bawah permukaan air. Ada berbagai teknologi yang dapat digunakan untuk komunikasi bawah air, termasuk komunikasi akustik, *radio frequency* (RF), dan komunikasi optik nirkabel [13]. Namun, pada penelitian ini, fokus akan diberikan pada pengembangan sistem komunikasi optik nirkabel karena kelebihanannya dalam kecepatan dan efisiensi energi. Metodologi yang digunakan mencakup tahap desain dan simulasi sistem optik nirkabel. Pemilihan serta karakterisasi komponen optik yang optimal juga dilakukan. Selanjutnya, dibuat model simulasi untuk menguji performa dan kinerja sistem di lingkungan bawah air secara virtual. Simulasi akan melibatkan pengujian sistem dalam berbagai kondisi lingkungan bawah laut yang berbeda, termasuk variasi kekeruhan air dan jarak *transmisi* yang berbeda.

Komunikasi akustik telah menjadi metode umum untuk masalah sambungan nirkabel di dalam air dengan jangkauan yang mencapai puluhan kilometer. Meskipun demikian, metode akustik juga memiliki beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan. Salah satu kelemahan utama pada komunikasi akustik adalah latensi tinggi yang disebabkan oleh propagasi gelombang suara yang lambat di air laut. Selain itu, komunikasi akustik juga membutuhkan daya yang besar, sehingga mengakibatkan konsumsi energi yang tinggi pada perangkat komunikasi. Masalah lain yang sering dihadapi adalah penyebaran doppler yang dapat mengakibatkan distorsi pada sinyal.

Di sisi lain, RF memiliki keunggulan dalam kecepatan data yang relatif tinggi, mencapai puluhan megabit per detik (Mbps). Namun, teknologi RF memiliki batasan jarak sambungan yang terbatas, hanya beberapa meter, sehingga membutuhkan banyak infrastruktur untuk memberikan cakupan yang luas. Selain itu, komunikasi RF juga membutuhkan konsumsi energi yang tinggi, dan biaya yang cukup mahal dengan kebutuhan antena yang besar.

Komunikasi optik nirkabel bawah air, atau *underwater optical wireless communication* (UWOC), merupakan teknologi komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak untuk mentransmisikan data di bawah permukaan air. UWOC menjadi solusi menarik untuk mengatasi beberapa kendala yang dihadapi oleh

komunikasi akustik dan komunikasi RF di bawah air. Salah satu keunggulan utama UWOC adalah kecepatan tinggi dalam transfer data, mampu mencapai kecepatan hingga puluhan atau ratusan Mbps. Hal ini memungkinkan pengiriman informasi dengan cepat dan efisien di lingkungan bawah laut. Selain itu, UWOC memiliki jarak sambungan yang lebih luas dibandingkan dengan komunikasi RF di lingkungan bawah air [2]. UWOC menjadi lebih menarik karena menyajikan kombinasi kecepatan data yang lebih tinggi dengan penggunaan daya yang lebih efisien. Sistem ini juga memiliki kapasitas bandwidth yang lebih luas dan menghadirkan tingkat kesulitan yang lebih rendah dibandingkan alternatif lainnya [5].

Propagasi cahaya yang lebih cepat daripada gelombang suara membuat UWOC memiliki latensi yang rendah dalam mentransmisikan data, sehingga responsivitas komunikasi dapat ditingkatkan. Tidak hanya itu, teknologi UWOC juga memiliki konsumsi daya yang lebih rendah daripada komunikasi RF, sehingga lebih efisien dalam penggunaan energi. Penggunaan energi yang lebih hemat membantu meningkatkan masa pakai perangkat komunikasi dan mengurangi biaya operasional. Namun, UWOC juga dihadapkan pada beberapa tantangan. Sensitivitas terhadap kondisi cahaya dalam air dapat mempengaruhi stabilitas dan keandalan *transmisi* data. Perangkat UWOC juga cenderung lebih kompleks dan mahal, sehingga perlu adanya peningkatan dalam aspek teknologi dan manajemen biaya untuk menerapkan UWOC secara luas [10].

Meskipun demikian, teknologi UWOC menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan kecepatan komunikasi bawah air dalam berbagai aplikasi, termasuk penelitian laut, pertahanan, dan lingkungan industri bawah air. Dengan diterapkannya penelitian dan pengembangan teknologi ini, UWOC berpotensi menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi tantangan komunikasi di lingkungan bawah air laut. Produk ini menawarkan kemampuan yang menarik dan berpotensi untuk mendukung berbagai aplikasi praktis, seperti survei lingkungan laut, eksplorasi sumber daya bawah laut, kepentingan industri, keamanan, penelitian ilmiah proyek konstruksi bawah laut, serta komunikasi dalam misi penyelamatan atau penelitian ilmiah di bawah permukaan laut.

1.2 Informasi pendukung masalah

Visible light communication (VLC) adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media untuk mengirim dan menerima sinyal informasi [1]. VLC juga merupakan suatu sistem komunikasi data yang mengoperasikan informasi melalui modulasi cahaya dalam rentang spektrum (780-375 nm) serta panjang gelombang antara 400 nm hingga 700 nm dan frekuensi antara 430 THz hingga 750 THz [22]. Dalam sistem komunikasi ini, sinar cahaya dihasilkan oleh sumber cahaya berbasis LED berfungsi sebagai pembawa informasi, kemudian sinar cahaya tersebut yang membawa muatan informasi tersebut diterima oleh detektor cahaya. Pendekatan penerangan menggunakan teknologi LED, disamping memberikan fungsi komunikasi, juga mampu mengoptimalkan efisiensi konsumsi daya serta memperpanjang masa pakai bila dibandingkan dengan solusi penerangan tradisional yang saat ini umum digunakan [2].

Berbagai penelitian mengenai cahaya tampak telah banyak dilakukan, salah satunya adalah penerapan teknologi sistem komunikasi VLC di lingkungan bawah air. Dalam penerapannya, teknologi VLC menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisi data di dalam air laut untuk menghubungkan perangkat nirkabel tanpa awak, seperti sensor, kendaraan selam otonom, atau perangkat lainnya.

Penggunaan cahaya tampak dalam sistem komunikasi ini memberikan keuntungan dalam hal tingkat bit yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem komunikasi akustik atau sonar yang telah digunakan sebelumnya. Penerapan teknologi ini membuka peluang untuk mengatasi beberapa kendala dalam komunikasi bawah air, termasuk jangkauan transmisi yang lebih luas dan lebih cepat, mengurangi interferensi dari suara atau getaran lingkungan laut yang dapat mempengaruhi kualitas transmisi data, serta mampu memberikan solusi untuk pengiriman informasi berbentuk teks di bawah laut dengan lebih efisien dan andal.

Komunikasi optik nirkabel bawah air, lebih banyak diminati karena menawarkan kecepatan data yang lebih tinggi dengan konsumsi daya yang jauh lebih rendah, kapasitas bandwidth yang memiliki jangkauan lebih besar dan tingkat kesulitan yang rendah dibandingkan dengan teknik komunikasi lainnya.

Komunikasi dan transmisi data bawah air penting karena digunakan di berbagai bidang yang membutuhkan peran penting komunikasi tambahan menggunakan produk ini. Sistem komunikasi suara bawah air seperti sonar dan akustik telah dikenal sejak lama. Namun, dengan kemajuan teknologi, komunikasi bawah VLC menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisi. Sistem VLC memiliki keunggulan, terutama dalam hal bit rate yang lebih tinggi daripada sistem komunikasi bawah air yang sudah ada sebelumnya. Maka dari itu VLC dapat menjadi solusi yang menjanjikan dalam komunikasi bawah laut di masa depan [15].

Bermula dari penelitian yang dilakukan oleh (Alain Destrez, dan kawan-kawan, 2012), untuk komunikasi bawah air menggunakan sistem komunikasi optik akan memiliki nilai *bit rate* yang tinggi dibandingkan sistem komunikasi bawah air lainnya [6]. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Darlis, dan kawan-kawan, 2016), yaitu sistem VLC telah berhasil diimplementasikan untuk mengirimkan sinyal audio pada jarak sebesar 2,5 m dengan rentang frekuensi 600 Hz sampai dengan 45 kHz [9].

Hingga kini, sejumlah penelitian telah diungkapkan dalam komunikasi cahaya tampak di bawah air (*Underwater Visible Light Communication*). Salah satu contohnya melibatkan rancangan perangkat pemancar suara yang beroperasi di dalam lingkungan air dengan basis teknologi UVLC. Desain perangkat pemancar tersebut mengindikasikan penggunaan sistem UVLC dengan pemanfaatan sinar laser berwarna hijau yang mampu berfungsi secara optimal dalam jarak hingga 1 km di permukaan daratan maupun dalam media air [5].

Selanjutnya, penelitian mengenai *Visible Light Communication* (VLC) yang berfokus pada pengiriman sinyal suara dilakukan dalam lingkungan indoor, menghasilkan daya terima sebesar 2,544 dB pada jarak 5 meter [6].

Selain berfungsi sebagai opsi pengganti gelombang radio dan akustik, teknologi UVLC memiliki karakteristik redaman yang relatif rendah terhadap medium air, kecepatan transfer data yang tinggi, dan dapat berfungsi ganda sebagai sumber penerangan di dalam lingkungan bawah air [7].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Tim Talha A. Khan (Talha A, et al, 2012) serta rekan-rekannya, di mana mereka menjalankan implementasi teknologi

komunikasi cahaya tampak *visible light communication* (VLC) untuk keperluan transmisi data. Namun, karena besarnya volume data yang dikirimkan, strategi multiplexing pembagian panjang gelombang *wavelength division multiplexing* (WDM) diterapkan. Meskipun data yang dikirimkan hanya berupa informasi biasa dan belum terlalu kompleks, sejumlah penelitian tambahan turut memperkuat potensi pemanfaatan VLC sebagai teknologi masa depan yang layak untuk digali lebih lanjut [14].

1.3 Analisis umum

1.3.1 Aspek pertahanan dan keamanan

Produk ini memiliki relevansi dalam aspek pertahanan dan keamanan di lingkungan bawah laut. Dalam operasi militer atau keamanan laut, pengiriman informasi teks dapat digunakan untuk menyampaikan instruksi, intelijen, atau laporan situasi di bawah permukaan laut untuk mengetahui dan menjaga keamanan di bawah laut dimulai dari pencurian kabel fiber optic, pencurian ilegal dan lain sebagainya.

1.3.2 Aspek keselamatan

Pada aspek keselamatan penggunaan produk ini dapat mendukung tim pencarian dan penyelamatan dalam situasi darurat di bawah laut. Dalam kasus kecelakaan kapal atau pesawat di perairan laut, pengiriman informasi teks dapat membantu mengkoordinasikan upaya penyelamatan dan memberikan petunjuk kepada korban atau penyelamat dan mampu meminimalisir angka korban kecelakaan atau kematian para penyelam saat melakukan pencarian.

1.3.3 Aspek penelitian

Produk ini dapat digunakan untuk mendukung penelitian ilmiah di berbagai bidang, termasuk biologi laut, geologi, dan lingkungan bawah laut. Pengiriman data teks memungkinkan para peneliti untuk saling berbagi informasi hasil penelitian untuk meningkatkan pemahaman tentang ekosistem bawah laut dan fenomena geologi.

1.3.4 Aspek proyek konstruksi

Produk ini dapat digunakan untuk membantu dalam konteks proyek konstruksi di bawah laut, melalui produk ini dapat memungkinkan komunikasi dan koordinasi

yang efisien. Misalnya, dalam instalasi kabel bawah laut, pembangunan struktur bawah laut, atau eksplorasi sumber daya komunikasi yang akurat dan cepat dapat memastikan keselamatan dan kelancaran pelaksanaan proyek.

1.4 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Produk ini dirancang khusus untuk kasus pengguna teoritis tertentu antara kendaraan bawah air tak berawak dan kapal selam atau kapal yang dapat mengirim instruksi dan menerima data dari *unmanned underwater vehicle* (UUV) serta, keperluan lain yang sesuai dengan bidang yang membutuhkan produk ini. Adapun jenis spesifikasi kebutuhan yang harus dipenuhi seperti pada **Tabel 1.1** sebagai berikut.

Tabel 1. 1 Spesifikasi kebutuhan.

Hal	Perangkat	Nilai
<i>Transmitter</i> (Tx)	Modulasi	OOK
	LED	5w
	Spektrum Cahaya	Cahaya tampak antara 400 Thz (375 nm) – 800 Thz (780 nm)
	Raspberry Pi	3B+ dan 4
<i>Receiver</i> (Rx)	LCD	NMLCD-M204A-1 (16 X 2)
	<i>Lens</i>	Kolektor cahaya
	Jenis <i>photodetector</i>	PIN BPW34
	Dimensi (P x L x T dalam mm)	5,4 x 4,3 x 3,2
	Sensitivitas radiasi	7,5 mm ²
	Sudut sensitivitas	$\phi = \pm 65^\circ$
Perangkat Tambahan dan	Akuarium	120 cm x 48 cm x 50 cm dan 60 cm x 30 cm x 30 cm

Hal	Perangkat	Nilai
Alat Ukur	Air Laut	<i>Pure sea water, coastal water</i>
	Jarak	<i>Roll meter</i>
	Kadar garam	<i>Refractometer salinity</i>

1.5 Solusi sistem yang diusulkan

Produk ini menyediakan solusi yang efektif untuk mendapatkan informasi di bawah laut tanpa memerlukan penyelaman fisik. Dengan komunikasi dua arah yang dapat dilakukan oleh beberapa bidang yang membutuhkan, kesalahan dalam mendapatkan informasi dapat diminimalkan. Produk ini juga memungkinkan pemantauan lingkungan laut yang lebih efisien, serta menjaga keamanan biota laut. Selain itu, kehadiran produk ini mempermudah proses pencarian dan penyelamatan dalam kondisi darurat di lingkungan bawah laut. Dengan berbagai manfaatnya, produk ini menjadi solusi yang inovatif dan dapat memberikan dampak positif bagi eksplorasi dan pelestarian lingkungan bawah laut.

1.5.1 Karakteristik produk

1.5.1.1 Fitur utama

Fitur utama yang dimiliki oleh produk ini diantaranya adalah terdapat pengirim (*transmitter*) dan juga terdapat penerima (*receiver*). *Transmitter* berfungsi sebagai pengirim informasi yang memanfaatkan LED sebagai sumber cahayanya untuk mengirimkan informasi yang sudah dikonversi menjadi data berbentuk bit, proses ini melibatkan transformasi listrik menjadi cahaya.

Proses pengiriman dimulai dengan mengkonversi informasi yang ingin dikirimkan yaitu berupa teks menjadi representasi biner, dimana setiap karakter atau bagian informasi direpresentasikan oleh rangkaian bit 0 dan 1[12]. Raspberry Pi sebagai mikrokontroler utama berperan dalam mengatur seluruh proses ini. Setelah data diubah menjadi bentuk biner, Raspberry Pi mengendalikan lampu LED dengan mengatur arus listrik yang mengalirinya. Saat arus listrik melewati LED, cahaya akan dihasilkan. Lampu LED akan berkedip dengan kecepatan tinggi sesuai dengan urutan bit dalam bentuk biner yang telah ditentukan. Setiap

perubahan keadaan LED hidup atau mati akan mewakili nilai bit dari data yang dikirimkan.

Sementara itu *receiver* berfungsi untuk menangkap gelombang cahaya dan mengubahnya menjadi representasi informasi dalam bentuk biner. Proses ini melibatkan transformasi cahaya menjadi arus listrik. Ketika cahaya mencapai permukaan penerima, partikel cahaya yang dikenal sebagai foton dapat direspon oleh perangkat dan menyebabkan aliran arus listrik terjadi di dalam komponen penerima. Arus listrik yang dihasilkan kemudian diarahkan melalui serangkaian rangkaian elektronik yang terhubung dengan sebuah *photodetector*.

Hasil dari *photodetector* ini merupakan representasi biner dari cahaya yang awalnya diterima. Informasi biner ini kemudian dapat diterjemahkan menjadi teks yang dapat dibaca. Proses transformasi dari sinyal cahaya menjadi biner melibatkan proses penyampaian arus listrik melalui rangkaian elektronik. Hasil informasi biner ini dapat ditampilkan melalui layar *liquid crystal display* (LCD). Selain itu, gelombang listrik yang dihasilkan juga dapat divisualisasikan melalui alat yang dikenal sebagai *oscilloscope*.

Oscilloscope dapat menampilkan bentuk gelombang listrik yang muncul sebagai respons terhadap cahaya yang masuk ke penerima. Dengan demikian, penerima ini mampu mengubah gelombang cahaya menjadi sinyal arus listrik yang kemudian diinterpretasikan sebagai informasi biner, yang dapat diwujudkan dalam bentuk teks dan juga divisualisasikan melalui LCD dan *oscilloscope*.

1.5.1.2 Fitur dasar

Produk dengan kemampuan tahan air dan hemat energi yang ditujukan untuk desain dan simulasi sistem optik nirkabel tanpa awak di bawah air laut. Produk ini memiliki potensi besar dalam mengatasi kendala komunikasi di lingkungan laut dan dapat menjadi kontributor penting dalam pengembangan teknologi komunikasi.

1.5.1.3 Fitur tambahan

Produk ini memiliki sifat portabel yang memungkinkan untuk dipindahkan tanpa perlu dilakukan penanaman atau pengeboran. Ini menjadi relevan untuk perangkat desain dan simulasi sistem optik nirkabel tanpa awak untuk komunikasi

di bawah air laut, di mana kemudahan mobilitas sangat penting dalam penggunaan dan implementasi.

1.5.2 Skenario penggunaan

Produk ini di uji coba di lingkungan laboratorium dengan skenario dan spesifikasi yang sudah dirancang. Hasil dari pengujian ini akan membentuk dasar usulan pengembangan produk kepada aspek yang membutuhkan terkait dengan penggunaan produk komunikasi bawah laut. Langkah ini diambil untuk memastikan kelayakan dan performa produk sebelum diimplementasikan secara lebih luas.

1.6 Kesimpulan dan ringkasan CD-1

Proyek ini merancang sistem nirkabel transfer data yang dioptimalkan untuk lingkungan bawah laut. Sistem ini dirancang untuk kasus penggunaan teoritis kendaraan tak berawak bawah air yang dapat mengirimkan instruksi dan menerima data atau informasi berbentuk teks. Transmisi data bawah air merupakan sebuah teknologi yang belum berkembang dalam dunia komunikasi dan informasi, namun disamping itu banyak permintaan dari berbagai pihak akan pentingnya komunikasi di bawah laut. Hal itu dikarenakan, banyaknya permasalahan yang muncul ketika mengirimkan informasi di dalam laut, sebagai contoh informasi yang diterima tidak sama dengan yang dikirim, atau kanal air laut.

Produk ini memiliki relevansi penting dalam aspek pertahanan dan keamanan di lingkungan bawah laut, membantu operasi militer, dan keamanan laut dengan pengiriman informasi teks. Produk ini dirancang untuk digunakan sebagai komunikasi darurat atau komunikasi cadangan. Produk ini juga mendukung keselamatan penggunaannya dalam pencarian dan penyelamatan darurat di bawah laut, serta memiliki peran penting dalam penelitian ilmiah di bidang biologi laut, geologi, dan lingkungan bawah laut. Selain itu, produk ini berperan sebagai alat pendukung komunikasi dalam proyek konstruksi di bawah laut, memastikan koordinasi dan efisiensi dalam pelaksanaan proyek-proyek tersebut.

Produk ini menjalani pengujian di lingkungan laboratorium sesuai dengan skenario dan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pengujian ini akan menjadi landasan untuk mengusulkan pengembangan produk, terutama dalam

aspek-aspek yang terkait dengan penggunaan komunikasi bawah laut. Pendekatan ini diambil guna memastikan bahwa produk ini memiliki kelayakan dan performa yang memadai sebelum diterapkan secara lebih luas.