Underwater Acoustic Communication Channel Model : A Simulation Study of Ibu Kota Nusantara

Muhamad Asvial 1\*, Annastya Bagas. Dewantara 1

1 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Email: [asvial@eng.ui.](mailto:asvial@eng.ui.)ac.id; annastya.bagas@ui.ac.id

\*Corresponding author

**Abstract**— asdsad

**Keywords**—Underwater wireless sensor network, acoustic channel, Ibu Kota Nusantara

# Introduction

Pemindahan ibu kota negara Indonesia dari DKI Jakarta menuju Ibu Kota Nusantara (IKN) merupakan program pemerintah Indonesia dalam menciptakan pemerataan pembangunan sekaligus untuk mempercepat transformasi ekonomi Indoneisa. Dalam mencapai tujuan tersebut, perencanaan pembangunan infrastruktur dari IKN harus mempertimbangkan faktor-faktor sekuritas serta keselamatan masyarakat. IKN terletak pada persimpangan lempeng Indo-Australia, lempeng pasifik dan lempeng Eurasia, yang menyebkan aktivitas pergeseran tektonik sering terjadi yang berpotensi terjadi bencana tsunami [1]. Salah satu tindakan preventif dari pencegahan tsunami adalah dengan menempatkan beberapa wireless sensor salah satunya sensor pressure akustik untuk memonitoring serta mendeteksi terjadinya aktivitas pergeseran tektonik yang digunakan sebagai system early warning tsunami [2, 3].

Underwater wireless sensor network (UWSN) merupakan salah satu dari penerapan wireless sensor network untuk komunikasi bawah air. UWSN terdiri atas sensor-sensor yang memiliki kemampuan untuk melakukan sensing, komunikasi dan komputasi untuk mencapai tujuan tertentu. Sensor-sensor tersebut terhubung kedalam satu jaringan dan dapat saling berkomunikasi satu sama lain melalui *machine-to-machine* protokol maupun komunikasi antara sensor dengan base station. Salah satu contoh aplikasi dari UWSN adalah Internet of Underwater Things (IoUT). Pada implementasinya IoUT di deploy melalui *floating buoy* atau *anchor buoy* untuk pengambilan data seperti suhu, salinitas, tekanan, dan Cahaya [4–6].

Permasalahan utama yang terjadi pada implementasi sistem UWSN adalah atenuasi, delay, serta noise yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan aktivitas manusia [7]. Penggunaan gelombang acoustic dengan frekuensi rendah digunakan sebagai pengganti dari gelombang radio berfrekuensi tinggi dalam mengatasi hal tersebut [8]. Hal ini disebabkan karakteristik channel komunikasi pada bawah air berbeda dengan channel komunikasi terestrial. Penentuan desain serta link budgetdari UWSN harus di dasarkan atas karakteristik channel bawah air. Parameter seperti frekuensi, temperature, salinitas, jarak kedalaman dan pH dapat mempengaruhi perhitungan daya yang dibutuhkan oleh UWSN.

Analisis karakteristik saluran komunikasi bawah air memegang peranan penting dalam menentukan parameter desain perangkat UWSN. Selain itu, analisis tersebut juga berperan dalam menentukan skema modulasi, protokol, dan koreksi kesalahan yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki serta menganalisis komunikasi saluran bawah air di perairan IKN dengan tujuan menciptakan transmisi data yang handal, mengurangi konsumsi energi, dan memaksimalkan umur jaringan, sehingga memfasilitasi penerapan dan operasi UWSN dengan sukses.

Penulisan dari paper ini dibagi ke dalam beberapa section, yakni : 1. Introduction, yang menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penelitian; 2. Underwater Acoustic Channel Model, yang membahas terkait pemodelan dari lingkungan UWSN; 3. Methodology, bagian ini menjelaskan tentang alur penelitian, metode pengumpulan data dan pendekatan yang digunakan dalam menganalisis hasil data; 4. Result and Analysis This section describes the results and discussion of the simulations that have been carried out, which were evaluated on specific parameters; 5. Conclussion, this section contains findings drawn from the results and discussion, considering the research objectives and suggestions for research development.

# Underwater Acoustic Channel Model

Pemodelan dari karakteristik chanel akustik bawah air secara garis besar dipengaruhi oleh tiga komponen yakni propagation loss, propagation delay dan noise. Nilai dari masing-masing komponen tersebut di pengaruhi oleh parameter-parameter seperti frekuensi operasi, jarak transmisi, kedalaman, salinitas, temperature serta pH pada lingkungan bawah air yang di dasarkan atas karakteristik dari lingkungan bawah air yang digunakan. Pemodelan dari karakteristik chanel akustik tersebut bertujuan untuk menghitung link budget serta mengetahui performa dari protocol UWSN yang digunakan.

Propagation loss merupakan besar loss yang dialami pada saat transmisi dari node satu ke node lainnya, loss tersebut disebabkan akibat absorbtion yang disebabkan oleh magnesium sulphate, boric acid, pergerakan partikel dan geometrical spreading. merupakan propagation loss yang nilainya dipengaruhi oleh nilai jarak , frekuensi dengan satuan kilohertz, koefisien spreading dan koefisien absorbsi , yang ditunjukkan pada persamaan (1). Besar nilai dipengaruhi oleh geometrical spreading untuk spherical , untuk cylindrical , dan untuk practical digunakan [12].

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Pada pemodelan koefisien atenuasi, terdapat beberapa model yang digunakan, yakni Thorp, Fisher & Simons dan Ainslie & McColm. Persamaan Ainslie & McColm memiliki hasil yang akurat, karena menggunakan parameter kedalaman, temperature, salinitas dan pH dalam pemodelannya [9] Persamaan dari Anslie & McColm ditunjukkan pada persamaan (2), dengan temperature dalam celcius , salinitas dalam ppt , dan adalah frekuensi relaksasi dengan satuan kilohertz, dan kedalaman dengan satuan kilometer.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Komunikasi akustik nirkabel dipengaruhi oleh media yang dilalui, yang mana mempengaruhi throughput, latensi dan quality of service pada komunikasi data. Terdapat beberapa pemodelan yang digunakan untuk memodelkan kecepatan suara untuk propagasi bawah air, salah satunya adalah persamaan MacKenzie yang ditunjukkan pada persamaan (3), persamaan MacKenzie memiliki pemodelan yang lebih akurat ketimbang pemodelan lain seperti persamaan Medwin, pada pemodelan kedalaman lebih dari 1 km [10].

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Selain kecepatan suara, besar noise juga mempengaruhi quality of service dari komunikasi akustik. Ambient noise model merupakan model yang digunakan dalam merpresentasikan kehadiran noise pada bawah air, Ambient noise model dapat direpresentasikan ke dalam bentuk Gaussian dan memiliki continous power spectral density, dengan sumber noise terbesar adalah turbulensi , aktivitas kapal , ombak yang terbentuk akibat peregerakan angin dan pengaruh termal [11], yang direpresentasikan pada persamaan (4).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

Dalam memperhitungkan besar transmisi daya serta QoS yang digunakan, perhitungan link budget dilakukan dengan mempertimbangkan signal-to-noise-ratio (SNR) yang nilainya dipengaruhi oleh atenuasi dan noise dengan jarak dan frekuensi sebagai variable dependant, yang ditunjukkan pada persamaan (5).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Besar throughput dari UWSN dipengaruhi oleh medium propagasi yang mempengaruhi kecepatan propagasi. Pada WSN terrestrial kecepatan propagasi dari pengiriman data adalah kecepatan cahaya sehingga ratio delay antara waktu transmisi dan waktu propagasi mendekati nol. Ketiga komponen tersebut di tunjukkan pada persamaan (8)-(10). Pada TDMA nilai dipengaruhi oleh control packet , data packet , dan dalam bytes dan adalah bitrate dengan satuan bit/s. Pada UWSN, kecepatan propagasi sensor akustik dipengaruhi oleh medium bawah air yang ditunjukkan pada persamaan (3), yang menyebabkan ratio delay pada UWSN signifikan lebih besar ketimbang WSN terrestrial.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |
|  | (7) |
|  | (8) |

Carrier sense multiple access collision avoidance (CSMA/CA) merupakan protokol MAC yang digunakan untuk mengatur komunikasi pada satu channel komunikasi yang sama. Dalam mencapai collision avoidance, protokol CSMA/CA melakukan listening terhadap base station sebelum melakukan pengiriman data. Apabila base station sedang idle maka perangkat akan mengirimkan data ke base station.

Terdapat beberapa jenis pada CSMA/CA, 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA dan non-persistent CSMA. Non-persistent CSMA memiliki throughput lebih besar ketimbang 1-persistent CSMA dan p-persistent CSMA karena non-persistent CSMA menggunakan teknik random backoff untuk mengecek apakah channel busy berdasarkan periode waktu random [12]. Persamaan throughput dari non-persistent CSMA dan 1-persistent CSMA di representasikan oleh dan ditunjukkan pada persamaan (9) dan (10).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |
|  | (10) |

Pada ALOHA pengiriman data dilakukan secara terus menerus tanpa perlu menunggu base station untuk idle terlebih dahulu. ALOHA memiliki beberapa jenis salah satunya adalah Pure ALOHA dan Slotted ALOHA. Pure ALOHA merupakan random access protocol dimana multiple device berbagi satu channel yang sama. Random Access memungkinkan masing-masing perangkat untuk mengirimkan data kapanpun tanpa perlu menunggu time slot secara simultan. Pure ALOHA memiliki kemampuan dalam melakukan collision detection. Setelah perangkat melakukan pengiriman data, perangkat tersebut akan menunggu sinyal ACK dari base station. Apabila sinyal ACK tidak diterima oleh perangkat maka perangkat akan melakukan pengiriman data Kembali dalam waktu random tertentu.

Slotted ALOHA merupakan pengembangan dari Pure ALOHA. Protokol tersebut membagi data ke dalam slot waktu interval berbeda untuk setiap perangkat untuk mengurangi potensi terjadinya collision. Persamaan throughput dari Pure ALOHA dan Slotted ALOHA ditunjukkan pada persamaan (11) dan (12).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |
|  | (12) |

# Methodology

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki serta menganalisis komunikasi akustik saluran bawah air di perairan IKN. Dalam mencapai hal tersebut pendekatan kuantitatif digunakan melalui analisis numerik dan statistik terhadap hasil dari simulasi dan komparasi. Metode sampling dilakukan secara eksperimental berbasis simulasi program komputer melalui pemodelan lingkungan bawah air laut IKN. Dalam memperoleh karakteristik lingkungan UWSN pada perairan IKN, studi literatur dan analisis dilakukan untuk memperoleh nilai salinitas, pH, temperatur dan kecepatan angin serta aktivitas kapal yang merupakan parameter penentu dalam menentukan karakteristik lingkungan UWSN yang merupakan variable dependant pada persamaan (1)-(5).

Investigasi serta analisis karakteristik atenuasi dan noise dari channel komunikasi akustik underwater dilakukan dengan memvariasikan jarak transmisi serta peletakkan dari perangkat UWSN. Analisis tersebut digunakan dalam menentukan nilai frekuensi optimum serta daya transmisi yang dibutuhkan dalam mencapai nilai SNR tertenu yang meminimalkan nilai atenuasi serta noise pada channel. Pada analisis throughput, variasi dari protokol dilakukan untuk mengetahui performa dari protokol tersebut pada lingkungan UWSN sebagai data pendukung terhadap pendekatan yang dilakukan.

# Result and Discussion

Informasi karakteristik perairan laut IKN tersebut bertujuan untuk mengetahui model dari underwater akustik channel. Laut IKN terletak pada daerah selat makassar. Pada kedalaman 1 km, laut IKN memiliki karakteristik dari salinitas, pH dan temperatur sebesar 34.31 ppt, 7.82 dan 4.11 [13, 14]. Selat makassar dipengaruhi oleh angin southeast monsoon yang menybebkan fenomena upwelling dengan kecepatan angin 6 m/s [15]. Pembangunan IKN bertujuan untuk menggantikan perkembangan ekonomi dari Jakarta. Hal ini memicu terjadinya peningkatan aktivitas kapal dari aktivitas pengiriman logistik ataupun perdagangan [16]. Atas dasar tersebut, penentuan konstanta aktivitas kapal yang diperlukan pada peramaan (4) di asumsikan bernilai 0.8.

Pada Fig 1 ditunjukkan bahwa jarak transmisi memiliki pengaruh terhadap atenuasi. Semakin besar kedalaman dari perangkat maka semakin kecil nilai konstanta atenuasi dari channel. Pada persamaan Ainslie & McColm nilai atenuasi disebabkan akibat absorption, absorption tersebut dapat dalam bentuk absorption dari pergerakan partikel yang menyebabkan viscous drag serta absorption yang disebabkan karena reaksi kimia. Pada frekuensi tinggi, gerakan partikel yang disebabkan akibat propagasi suara akan menyebabkan panas dari vibrasi partikel yang disebabkan akibat viscous drag. Sebaliknya absorption yang disebabkan akibat pengaruh reaksi kimia tidak memiliki pengaruh signifikan pada frekuensi tinggi.

A graph of different colored lines

Description automatically generated

Fig 1. Karakteristik atenuasi pada underwater channel akustik laut IKN terhadap variasi kedalaman berbeda

Noise merupakan komponen penentu kualitas sinyal yang diterima. Distribusi noise pada perairan laut IKN dalam pemodelan underwater akustik channel dilakukan menggunakan persamaan (4) dengan parameter karakteristik perairan IKN di dapatkan bahwa pengaruh turbulensi memiliki pengaruh tinggi pada frekuensi 0-10 Hz. Pada frekuensi 10-100 Hz, aktivitas kapal memiliki pengaruh tinggi. Pada frekuensi 100 Hz - 100 kHz pengaruh dari kecepatan angin memiliki pengaruh tinggi, dan di atas frekuensi 100 kHz, thermal memiliki pengaruh tinggi yang ditunjukkan pada Fig 2.

A graph of different colored lines

Description automatically generated

Fig 2. Karakteristik noise pada underwater channel akustik laut IKN

Frekuensi dapat dikatakan sebagai frekuensi optimum, apabila memiliki terletak pada nilai SNR minimum. Persamaan (5) menunjukkan relasi antara SNR terhadap nilai atenuasi dan noise. Nilai atenuasi dan noise merupakan nilai yang dipengaruhi oleh frekuensi. Dalam meminimalkan nilai atenuasi dan noise dari channel dengan memaksimalkan nilai SNR, penentuan frekuensi optimum perlu dilakukan dalam memahami relasi kompleks antara kedalaman, frekuensi dan jarak transmisi terhadap nilai SNR.

Ditunjukkan pada Fig 3(a) dan 3(b), bahwa besar nilai kedalaman dan jarak memiliki pengaruh terhadap nilai SNR. Pada Fig 3(a) semakin besar nilai kedalaman dari perangkat maka semakin besar pula nilai atenuasinya. Semakin kecil nilai kedalaman maka semakin tinggi frekuensi optimum yang dibutuhkan dalam mencapai nilai SNR tinggi. Namun berbeda dengan data pada Fig 3(b) bahwa semakin besar jarak transmisi maka semakin kecil pula nilai atenuasinya. Semakin besar nilai jarak transmisi maka semakin rendah frekuensi optimum yang dibutuhkan dalam mencapai nilai SNR tinggi.

|  |
| --- |
| A graph of a number of different colored lines  Description automatically generated |
| (a) |
| A graph of different colored lines  Description automatically generated |
| (b) |
| Fig 3. Karakteristik atenuasi dan noise pada underwater channel akustik laut IKN terhadap (a) variasi kedalaman (b) variasi jarak transmisi |

Karakteristik dari acoustic underwater channel harus di dasarkan atas tujuan dan implementasi dari UWSN. Karakteristik tersebut akan menjadi basis dalam menghitung daya dan frekuensi yang dibutuhkan dalam melakukan desain perangkat. Ditunjukkan pada Table 1., bahwa nilai frekuensi optimum memiliki nilai yang berbeda-beda untuk setiap kedalaman dan jarak transmisi yang digunakan. Berdasarkan tabel tersebut, diketahui frekuensi optimum yang dibutuhkan oleh UWSN untuk aplikasi pada nilai kedalaman 500 m, 1 km, 5 km, 50 km, dan 100 km secara berturut-turut adalah 184.3 kHz, 187 kHz, 210.4 kHz, 790.7 kHz dan 3441.5 kHz pada jarak transmisi 500 m, 1 km, 5 km, 50 km, dan 100 km secara berturut-turut adalah 264.5 kHz, 187 kHz, 83.6 kHz, 26.3 kHz, dan 18.6 kHz.

1. Frekuensi Optimum

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (kHz) | Variations | | | | | |
| 500 m | 1 km | 5 km | 50 km | 100 km |
| Depth | 184.3 | 187 | 210.4 | 790.7 | 3441.5 |
| Distances | 264.5 | 187 | 83.6 | 26.3 | 18.6 |

Perhitungan link budget dilakukan untuk mendapatkan daya minimum nilai dalam mencapai nilai SNR 30 dB. Melalui perhitungan pada kedalaman sebesar 1 km, dan frekuensi optimum pada Table 1 di dapatkan nilai daya yang diperlukan dalam mencapai SNR 30 dB yang ditunjukkan pada Fig 4. Hasil dari perhitungan tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan daya transmit, daya receive serta daya idle dari sensor akustik pada UWSN.

A graph of different colored lines

Description automatically generated

Fig 4. Daya transmisi terhadap SNR

Propagasi delay pada underwater akustik channel mempengaruhi nilai throughput. Persamaan (11) dan (12) menunjukkan pengaruh ratio delay yang nilainya dipengaruhi oleh kecepatan propagasi. Kecepatan propagasi akustik di underwater pada kedalaman 1 m bernilai sebesar 1630.85 m/s dan pada kedalaman 1 km bernilai sebesar 1630.87 m/s. Pada Fig 6, ditunjukkan perbedaan antara throughput pada kecepatan propagasi underwater dengan kecepatan propagasi pada kecepatan cahaya pada bitrate sebesar 500 bit/s. Gambar tersebut menunjukkan nilai throughput terbesar terdapat pada protokol Non-persistent CSMA, hal ini disebabkan pada Non-persistent CSMA, pengiriman data oleh sensor, dilakukan dengan menunggu CH/BS dalam keadaan idle, apabila CH/BS sedang sibuk maka sensor tersebut akan mengunggu waktu backoff random sebelum mengirimkan data kembali. Hal ini akan mengurangi potensi terjadinya collision yang disebabkan akibat banyan sensor yang mengirimkan data secara bersamaan, hasil penelitian tersebut selaras dengan penelitian Zhao et.al yang menunjukkan performa protokol CSMA yang baik pada underwater [17].

A graph of a graph showing the number of different colored dots

Description automatically generated with medium confidence

Fig 6. Pengaruh frekuensi terhadap noise dan atenuasi

# Conclusion

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki serta menganalisis komunikasi akustik saluran bawah air di perairan IKN. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis numerik dan statistik terhadap hasil dari simulasi dan komparasi. Metode sampling dilakukan secara eksperimental berbasis simulasi program komputer melalui pemodelan lingkungan bawah air laut IKN. Dalam memperoleh karakteristik lingkungan UWSN pada perairan IKN, studi literatur dan analisis dilakukan untuk memperoleh nilai salinitas, pH, temperatur dan kecepatan angin serta aktivitas kapal yang merupakan parameter penentu dalam menentukan karakteristik lingkungan UWSN. Melalui penelitian tersebut di dapatkan karakteristik laut IKN seperti salinitas, pH, temperatur, kecepatan angin pada laut IKN dan konstanta aktivitas kapal sebesar 34.31 ppt, 7.82, 4.11 dan 6 m/s. Perhitungan dari frekuensi optimum juga dilakukan dalam meminimalkan nilai atenuasi dan noise dari channel dan di dapatkan frekuensi optimum yang dibutuhkan oleh UWSN untuk aplikasi pada nilai kedalaman 500 m, 1 km, 5 km, 50 km, dan 100 km secara berturut-turut adalah 184.3 kHz, 187 kHz, 210.4 kHz, 790.7 kHz dan 3441.5 kHz pada jarak transmisi 500 m, 1 km, 5 km, 50 km, dan 100 km secara berturut-turut adalah 264.5 kHz, 187 kHz, 83.6 kHz, 26.3 kHz, dan 18.6 kHz. Analisis variasi protokol juga dilakukan dengan membandingkan protokol Pure ALOHA, Slotted ALOHA, 1-persistent CSMA/CA dan non-persistent CSMA juga dilakukan untuk mengetahui performa protokol terbaik pada komunikasi akustik saluran bawah air, dan di dapatkan bahwa protokol non-persistent CSMA/CA memiliki nilai throughput lebih tinggi dari variasi lainnya. Hal ini disebabkan karena pada non-persistent CSMA/CA, potensi terjadinya collision lebih kecil dari protokol lainnya. Melalui penelitian tersebut, diharapkan dapat menjadi acuan dan literatur tambahan dalam meningkatkan informasi dalam perancangan dan penentuan desain dari UWSN. Kedepannya, penelitian berbasis eksperimental komprehensif perlu dilakukan untuk memvalidasi serta mendukung data yang ditemukan pada simulasi.

##### Conflict of Interest

Please declare whether or not the submitted work was carried out with a conflict of interest. If yes, please state any personal, professional or financial relationships that could potentially be construed as a conflict of interest. If no, please add "The authors declare no conflict of interest".

##### Funding

Please add funding information here, e.g., this research was funded by NAME OF FUNDER, grant number XX. If there is no funding, this section can be removed.

##### References

[1] Sri Naryanto Peneliti Ahli Utama pada Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana H, TPSA -Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Gedung BPPT K, Thamrin JM, et al. Analisis Sumber Tsunami untuk Pertimbangan Perencanaan Jalur Kabel InaCBT di Selat Makasar. *Jurnal ALAMI : Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana* 2021; 5: 8–18.

[2] Inoue M, Tanioka Y, Yamanaka Y. Method for Near-Real Time Estimation of Tsunami Sources Using Ocean Bottom Pressure Sensor Network (S-Net). *Geosciences 2019, Vol 9, Page 310* 2019; 9: 310.

[3] Casey K, Lim A, Dozier G. A Sensor Network Architecture for Tsunami Detection and Response. *Int J Distrib Sens Netw* 2008; 4: 27–42.

[4] Trevathan J, Johnstone R, Chiffings T, et al. SEMAT — The Next Generation of Inexpensive Marine Environmental Monitoring and Measurement Systems. *Sensors 2012, Vol 12, Pages 9711-9748* 2012; 12: 9711–9748.

[5] Pérez CA, Jimenéz M, Soto F, et al. A system for monitoring marine environments based on wireless sensor networks. *OCEANS 2011 IEEE - Spain*. Epub ahead of print 2011. DOI: 10.1109/OCEANS-SPAIN.2011.6003584.

[6] Felemban E. Acoustic frequency optimization for underwater wireless sensor network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 2020; 11: 642–648.

[7] Bradley D. Handbook of Underwater Acoustic Engineering . *J Acoust Soc Am* 2006; 120: 2393–2393.

[8] Stojanovic M, Preisig J. Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization. *IEEE Communications Magazine* 2009; 47: 84–89.

[9] Aydin S, Onur TO. Investigation of parameters affecting underwater communication channel. *Journal of Engineering Sciences* 2020; 7: 39–44.

[10] Medwin H. Speed of sound in water: A simple equation for realistic parameters. *J Acoust Soc Am* 1975; 58: 1318–1319.

[11] Coates RFW. Underwater Acoustic Systems. *Underwater Acoustic Systems*. Epub ahead of print 1990. DOI: 10.1007/978-1-349-20508-0.

[12] Lazarou GY, Li J, Picone J. A cluster-based power-efficient MAC scheme for event-driven sensing applications. *Ad Hoc Networks* 2007; 5: 1017–1030.

[13] Pranowo WS, Widi Asmoro N, Tinggi Teknologi Angkatan Laut Bumimoro S, et al. Characteristic of Temperature and Salinity in The Makassar Strait Based on Arlindo 2005 and Timit 2015 CTD Cruise Data. *Jurnal Chart Datum* 2022; 8: 107–116.

[14] Mahasiswa H, Triton O", Institut ", et al. PROSIDING SEMINAR NASIONAL KELAUTAN, http://www.fitb.itb.ac.id/kk-oseanografi (2012, accessed 30 January 2024).

[15] Utama FG, Atmadipoera AS, Purba M, et al. Analysis of upwelling event in Southern Makassar Strait. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2017; 54: 012085.

[16] Aprianti L, Berawi MA, Gunawan S, et al. CONCEPTUAL DESIGN OF PORT DEVELOPMENT TO SUPPORT THE LOGISTICS SUPPLY OF INDONESIA’S NEW NUSANTARA CAPITAL CITY. 2023; 367–379.

[17] Zhao Q, Lambert AJ, Benson CR. A note on CSMA performance in underwater acoustic networks. *Comput Commun* 2015; 55: 62–68.

[18] Sendra S, Lloret J, Jimenez JM, et al. Underwater Acoustic Modems. *IEEE Sens J* 2016; 16: 4063–4071.