

A REVIEW : STUDI STRUKTUR, DAN DESAIN DEVAIS PADA SISTEM KOMUNIKASI BAWAH AIR

¹⁾Muhammad Yuanda Risnadiputra, ²⁾Munasir

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhammad.18025@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: munasir_physics@unesa.ac.id

Abstrak

Hydrophone merupakan devais yang dapat menangkap gelombang akustik dengan prinsip kerja seperti microphone yang digunakan sebagai alat komunikasi bawah air. Dalam berkomunikasi di bawah air yang memiliki tekanan dan kerapatan yang tinggi dibutuhkan metode khusus menggunakan propagasi gelombang akustik, dikarenakan gelombang akustik mampu merambat dengan jangkauan yang jauh di bawah air dengan karakteristik yang berbeda beda. Di dalam artikel ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang perangkat komunikasi bawah air dengan mengumpulkan dan mengkategorikan semua informasi tentang perangkat pendengaran bawah air dan parameter yang mempengaruhi fungsi sistem komunikasi bawah air. Gelombang akustik sebagai media komunikasi lebih unggul daripada gelombang elektromagnetik didalam medium fluida dengan jarak jangkauan yang lebih jauh. Gelombang akustik diketahui secara optimal mampu untuk digunakan pada sistem komunikasi bawah air pada rentang frekuensi 20 Hz - 1 kHz. Literatur diringkas sehingga pembaca dapat dengan mudah merujuk ke desain yang cocok untuk skenario aplikasi yang diinginkan.

Kata Kunci: hydrophone, karakteristik, akustik, komunikasi bawah air

Abstract

Hydrophone is devais that can capture acoustic wave with a working principle like a microphone used as an underwater communication. In communicating underwater which has high pressure and density, special methods are needed using acoustic waves can propagate long distances underwater with another characteristics. In this paper provides a comprehensive overview of underwater communication devais by collected and classified all information about underwater hearing devices and the parameters that affect the functioning of underwater communication systems. Acoustic waves as a communication medium are superior to electromagnetic waves in a fluid medium with a longer range. Acoustic waves are known to be optimally capable of being used in underwater communication systems in the frequency range of 20 Hz - 1 kHz. The literature is summarized so that the reader can easily refer to a design suitable for the desired application scenario.

Keywords: Hydrophone, characteristics, acoustic, underwater communication

I. PENDAHULUAN

Teori akustik memiliki konsep yang sama dengan teori fluida yang ditinjau dari arah rambat gelombang ke segala arah dan kerapatan jenis yang dilalui (Marshall 2006). Kajian mengenai kecepatan suara di bawah air sudah ada sejak abad 1826 yang dilakukan oleh ahli fisika Swiss Daniel Colladon dan Charles-Francois Sturm (Erbe and Editors 2022). Teknologi Akustik pada bidang komunikasi, pencarian dan pengukuran kedalaman di bawah air telah ada sebelum perang dunia II. Pada akhirnya Inggris menggunakan teknologi akustik ini atau yang dikenal dengan ASDIC (*AntiSubmarine Detection Investigating Commite*) yang memiliki kemampuan mendeteksi adanya kapal selam (Arnaya 1991).

Ditinjau dari media perambatan, gelombang dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gelombang mekanik yang dapat merambat dalam medium elastik dan gelombang elektromagnetik yang tidak membutuhkan medium untuk merambat (Cristi 2017). Mikrofon konvensional dapat digunakan sebagai *hydrophone*. Namun, karena perbedaan massa jenis zat yang dilalui oleh gelombang akustik terjadi penurunan bandwidth serta kepekaan dalam penerimaan suara. Sehingga mikrofon jenis ini kurang efektif untuk digunakan di dalam air (Yusro and Aodah 2019). Pada tahun 1929, seorang ilmuwan asal Kanada bernama Reginald Fessenden mengemukakan temuannya tentang *hydrophone*. Pada awalnya, *hydrophone* sederhana ini merupakan suatu osilator yang memanfaatkan getaran mekanis yang bekerja pada 500, 1000, dan 3000 Hz. Alat tersebut dikenal sebagai osilator fessenden (Rolt 1994).

Untuk itu, perkembangan teknologi untuk memenuhi kebutuhan akan ilmu bawah air berkembang seiring waktu, banyak perangkat elektronika yang diciptakan untuk mempelajari dan menganalisa fenomena gelombang di bawah air (Permana, Sinaga, and Triwiyatno 2015). Jaringan sensor akustik bawah air dapat diaplikasikan dalam berbagai hal seperti eksplorasi lingkungan bawah air, pemantauan karakteristik air, navigasi dan lain lain (J. C. Liu et al. 2017). SONAR (Sound and Navigating Ranging) merupakan jenis teknologi propagasi akustik yang khusus dipergunakan dan dipelajari untuk tujuan militer, SONAR digunakan hampir di seluruh dunia untuk menavigasi, berkomunikasi, dan menemukan objek bawah air (Berry 1991).

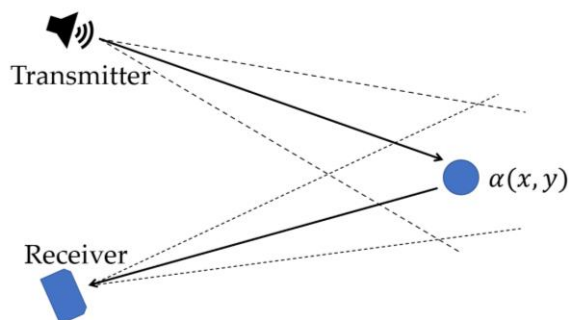
Banyak model *Hydrophone* yang telah dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir menggunakan prinsip yang berbeda. Seperti *hydrophone laser*, *hydrophone piezokomposit*, *hydrophone electromagnetic* dan lain-lain. Tekanan dan frekuensi digunakan sebagai parameter utama dalam pengembangan *hydrophone* (Prabhu et al. 2021). Pada dasarnya sensor *hydrophone* memanfaatkan karakteristik kristal piezoelektrik dengan adanya penalaran gelombang seismik hingga ke permukaan air yang diindikasikan sebagai tekanan. Terdapat beberapa alasan dalam pengembangan *hydrophone* untuk beberapa tahun terakhir terangkum menjadi poin berikut:

1. Perbandingan wilayah di bumi yang merupakan 71% tertutupi oleh air dan hampir 96,5% merupakan wilayah air laut (Isna 2020) memiliki sumber daya alam yang sangat melimpah akan hasil laut. Dengan adanya peralatan deteksi akustik bawah air berkinerja tinggi dapat secara memperkirakan jarak, arah dan posisi ikan.
2. Lalu lintas laut yang semakin padat, menimbulkan kejadian kecelakaan kapal seperti terdampar, tabrakan antar kapal dan kapal tengelam sering terjadi. Penggunaan *hydrophone* skalar dan vektor mampu meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi (Palanisamy, Kalyanasundaram, and Swetha 2012), (Abraham 2008), (Leslie, Kendall, and Jones 1956).
3. *Hydrophone* digunakan pada kapal sipil, tongkang dan militer. Pengangkutan barang dalam volume besar dilakukan volume besar, hal tersebut bisa saja menjadi ancaman pada wilayah maritim seperti penyelundupan dan perang. Teknologi *hydrophone* menjadi teknologi utama untuk meningkatkan keselamatan dari ancaman yang akan datang.

Hydrophone terdiri dari kata *hydro* yaitu air dan *phone* yaitu telepon. Secara garis besar dapat diartikan sebagai suatu alat untuk menangkap impuls akustik di dalam air, prinsip kinerja *hydrophone* identik dengan *microphone*, namun penggunaannya didalam air. Air memiliki struktur yang kompleks dan tidak homogen, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan karakteristik dalam komunikasi bawah air (Supriyanto, Wardhani, and Purbawati 2017).

Pita frekuensi rendah antara 10 Hz dan 15 kHz sangat ideal untuk propagasi akustik di bawah air. Dalam pengujian komunikasi bawah air dengan *hydrophone* biasanya berada pada frekuensi 100 Hz - 60 Khz (Supriyanto, Wardhani, and Purbawati 2017), (Sulastriningsih, Arifianto, and Dhanardono 2017), (Priambudi

2019). Jika dibandingkan dengan serat optik yang dibatasi oleh panjang penghantar yang harus digunakan untuk berkomunikasi di bawah air, terdapat keunggulan yang dimiliki oleh gelombang akustik. Pemancar bertindak sebagai pengirim sinyal (*transmitter*), dan penerima bertindak sebagai penerima sinyal (*receiver*) (Priambudi 2019) seperti Gambar 1.



Gambar 1. Geometri sederhana

Gelombang elektromagnetik banyak digunakan dalam komunikasi nirkabel. Pada kasus tertentu dalam hal media perambatannya adalah air, gelombang elektromagnetik hanya mampu merambat beberapa ratus meter sebelum terjadi redaman yang signifikan. Disisi lain gelombang akustik dapat merambat jauh lebih efisien di air laut sebab dapat dilemahkan dan disebarkan oleh air laut yang relatif lebih sedikit daripada gelombang elektromagnetik (Khelladi and Mograne 2019).

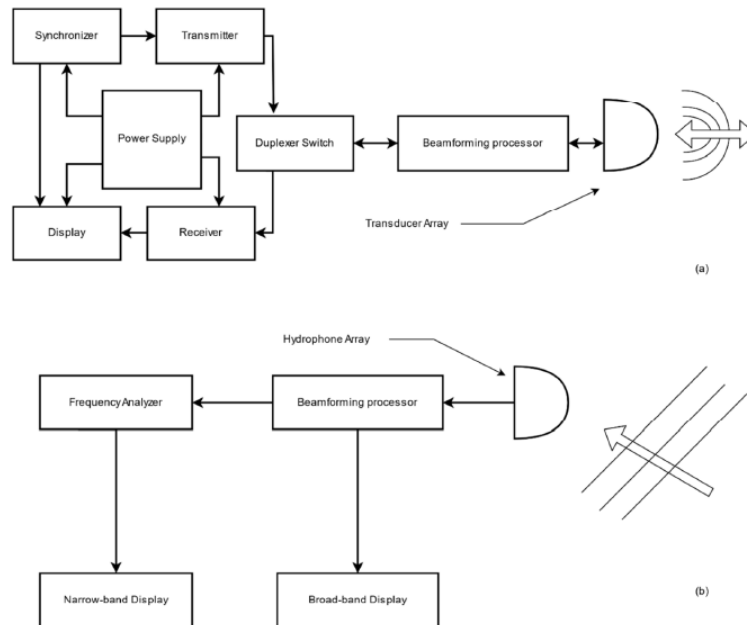
Akustik bawah air adalah cabang penelitian yang menyelidiki penggunaan gelombang akustik sebagai media propagasi di air yang cukup sulit digunakan. Propagasi akustik bawah air optimal pada frekuensi rendah dan memiliki lebar pita yang terbatas (Stojanovic and Preisig 2009). Redaman ultrasonik adalah kehilangan energi akustik yang mengalami redaman selama proses perambatan gelombang, terutama diakibatkan oleh efek pemantulan, hamburan, dan penyerapan gelombang datang oleh medium propagasi. Dengan memodelkan Konstanta atenuasi sebagai berikut.

$$\text{atenuasi} = \propto \left[\frac{dB}{MHz \cdot cm} \right] \cdot 1(cm) \cdot f(MHz) \quad (1)$$

Akibatnya, semakin tinggi frekuensi transduser ultrasonik, semakin tinggi redamannya. Hal ini disebabkan oleh redaman, yaitu penurunan intensitas suara dengan bertambahnya jarak yang ditempuh (Yatarif 2008). Dalam kondisi ideal, tekanan udara berkurang dengan perambatan gelombang, tetapi dalam kenyataannya redaman meningkat dengan penyerapan dan hamburan energi oleh media yang dilalui gelombang. Metode akustik dibagi dalam dua jenis yaitu akustik aktif yang berperan dalam mentransmisikan pulsa kemudian dipantulkan oleh objek dan akustik pasif yang merupakan gabungan antara biologi dan akustik sebagai sarana untuk mendeteksi atau merekam sinyal seperti pada gambar 2. SONAR yang terdapat pada kapal merupakan salah satu pemanfaatan teknologi akustik yang sering dijumpai (Randhi et al. 2017).

Karakteristik transduser elektroakustik berbasis keramik piezoelektrik beroperasi pada rentang pta frekuensi 1 kHz hingga 1 MHz (Tressler 2008). Merujuk pada (Bobber 1970) dan (Butler 2018), *hydrophone* berperforma tinggi memerlukan beberapa parameter yang harus diperhatikan sebagai berikut: Sensivitas tinggi, *High Free Fields Voltage Sensitivity* (FFVS), resolusi kebisingan (*noise*) tinggi, *bandwith* tinggi, signal to noise ratio (SNR), rentang dinamis besar, linieritas yang baik, dan resolusi spasial yang tinggi. Sebagian peneliti dalam beberapa dekade terakhir tertarik pada konsep dan struktur transduser berbasis mikro elektromekanis (MEMS). *Piezoelectric micro-machined ultrasonic transducers* (pMUTs) menyajikan pendekatan baru untuk deteksi gelombang akustik dalam mengatasi kekurangan pada model transducer terdahulu (Shevtsov et al. 2012).

Beberapa dekade terakhir, sensor mikro piezoelektrik berkembang pesat menggunakan metode fabrikasi secara berlapis-lapis yang terbuat dari 1–3 material dengan mengubah beberapa parameter dan menjadi pertimbangan penting dalam efisiensi desain dan pembuatan *hydrophone* dengan kemampuan yang lebih besar daripada sebelumnya (Amiri and Kordrostami 2018; Kordrostami and Roohizadegan 2019). Enkapsulasi merupakan salah satu proses penting pengembangan *hydrophone* yang berdampak langsung terhadap sensitivitas perangkat *hydrophone*. Faktor – faktor penting yang dibutuhkan dalam pengembangan dan desain *hydrophone* dijelaskan sebagai berikut.



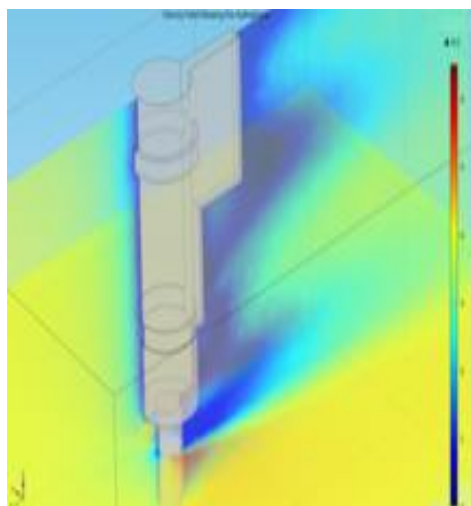
Gambar 2. Sistem Sonar aktif (a) Sistem Sonar Pasif (b) (Neupane and Seok 2020).

1. Ukuran Elemen Aktif

Pemilihan elemen aktif dalam rangkaian yang memberi daya ketika impuls diterima dari sumber luar akan mempengaruhi sensitifitas dan rata - rata spasial. Pada jenis hydrophone jarum dan dan serat optik memiliki variasi ukuran elemen aktif mulai dari $7\mu\text{m}$ hingga $>1\text{mm}$ sebagai acuan untuk menentukan pemilihan elemen aktif yang tepat dan mengkompensasi pengukuran distorsi hydrophone jika dibutuhkan, sedangkan jenis hidrofon membran memiliki ukuran elemen aktif yang lebih besar (K. A. Wear 2019; K. A. Wear, Shah, and Baker 2020). Distorsi pada hidrofon bergantung pada sensitifitas yang dipengaruhi pada frekuensi $M_L(f)$ yang dapat didefinisikan sebagai (K. A. Wear 2019).

$$M_L(f) = \frac{V(f)}{P_{NP}(f)} \quad (2)$$

Dimana $V(f)$ adalah output tegangan hidrofon pada frekuensi yang temporal dan $P_{NP}(f)$ adalah tekanan dari gelombang ultrasound yang terjadi secara normal yang tampak semu planar dengan melintasi elemen sensitif.



Gambar 3. Dispersi akustik hydrophone (Bharath, Groulx, and Campbell 2014)

Jumlah distorsi terkait dengan tingkat ketergantungan frekuensi sensitif hidrofon pada pita frekuensi dalam spektrum tekanan sehingga untuk sinyal tekanan nonlinier terjadi banyak harmonik yang mampu menjangkau puluhan Mhz. Beberapa penelitian yang dilakukan telah menunjukkan tekanan kuasi-planar sebab sensitifitas hidrofon yang bergantung pada frekuensi dapat dikurangi secara substansial dengan dekonvolusi sensitifitas dari sinyal tegangan yang terukur (Eichstädt and Wilkens 2016; A. M. Hurrell and Rajagopal 2017; Andrew Hurrell 2004; Y. Liu, Wear, and Harris 2017; K. Wear et al. 2015; K. A. Wear et al. 2014; Wilkens and Koch 2004). Dalam studi empiris menampilkan efek rata-rata spasial mampu diprediksi secara akurat dengan mengintegrasikan pada bidang di atas permukaan elemen sensitif hidrofon imajiner dengan ukuran elemen aktif yang efektif (Radulescu et al. 2003). saat $k\alpha \ll 1$ (k adalah bilangan gelombang akustik dan α adalah ukuran radial *hydrophone*) maka dispersi gelombang akustik dapat diabaikan (Gambar 3). Oleh karena itu, vektor hidrofon setara dengan partikel air saat kondisi medan jauh. (Hang et al. 2014).

2. Rata - Rata Spasial

Profil pancaran yang diukur saat memindai *hydrophone* menggunakan medan akustik merupakan konvolusi bukaan *hydrophone* dengan distribusi tekanan akustik sebenarnya. Ketika bukaan *hydrophone* lebih besar daripada variasi spasial, sehingga analisis puncak spasial tidak dapat dilakukan secara akurat dengan bandwidth yang diperkirakan terlalu tinggi dan amplitudo dapat diabaikan. Efek ini disebut rata-rata spasial (A. Hurrell and Beard 2012). Dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa terjadi adanya distorsi *hydrophone* yang disebabkan oleh rata rata spasial (Smith 1989), (Boutkadjirt and Reibold 2002), (K. A. Wear, Baker, and Miloro 2019).

Pada pengujian yang dilakukan pada suara dibawah air di kolam non-anechoic, dinding dan dasar kolam terbuat dari concrete dan permukaannya terlapisi ubin dengan penerimaan suara relative $\beta = \xi - i\sigma = \rho_0 c_0 / Z$ (dimana ρ_0 , c_0 dan Z merupakan massa jenis air, kecepatan suara dalam air, dan impedansi dinding). Dalam hal ini pengujian fungsi potensial kecepatan dari medan sumber titik kolam yang dapat dirumuskan (Shang et al. 2020).

$$\nabla^2 \phi(\mathbf{r}) + k^2 \phi(\mathbf{r}) = -4\pi Q_0 \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \quad (3)$$

Pada kondisi batas

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_z = ik\beta \phi \quad (4)$$

$$\phi|_{z=L_z} = 0 \quad (5)$$

Dimana $4\pi Q_0$ adalah kecepatan volumetrik *Point Source*, $\mathbf{r}$ adalah posisi pengamatan, $\mathbf{r}_0$ adalah posisi *source*, Σ mewakili permukaan kolam selain permukaan atas $z = L_z$ dan $k = \omega/c_0$. Dengan mensubstitusi $\phi(\mathbf{r})$ dan $\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0)$ pada persamaan 3 menjadi

$$\phi(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = -4\pi Q_0 \sum_n \frac{\phi_n(\mathbf{r}_0) \phi_n(\mathbf{r})}{(k^2 - k_n^2) V \Lambda_n} \quad (6)$$

Dimana ϕ_n dan k_n adalah fungsi eigen dan nilai eigen dari n gelombang normal pada kolam persegi panjang. V adalah volume tangki. Dan Λ_n adalah rata-rata spasial di seluruh volume V untuk nilai rata rata kuadrat magnitude fungsi eigen.

$$\Lambda_n = \frac{1}{V} \iiint_V |\phi_n(\mathbf{r})|^2 dV \quad (7)$$

3. Sensitifitas

Dalam kasus normal, kepekaan *hydrophone* merupakan kemampuan untuk mengubah tekanan akustik menjadi tegangan keluaran. Pada tekanan gelombang akustik kuasi-planar merupakan fungsi frekuensi (Keith, Piero, and Christian 2020). Sensitifitas dapat diperoleh menggunakan persamaan matematis di bawah ini:

$$S = 20 \log(\Delta U / \Delta P \sigma^{-1}) \quad (8)$$

4. Jalur Propagasi Gelombang Akustik

Pada umumnya, Komponen pemancar dan penerima sinyal akustik dalam komunikasi menggunakan air sebagai medium perambatan dipisahkan menjadi dua kategori yaitu laut dalam (*deep water*) dan perairan dangkal (Panrereng, Wirawan, and Santoso 2015).

4.1. Propagasi jarak pendek

Untuk daerah perairan dangkal ditinjau dari kondisi lingkungan yang sangat kompleks, bandwidth

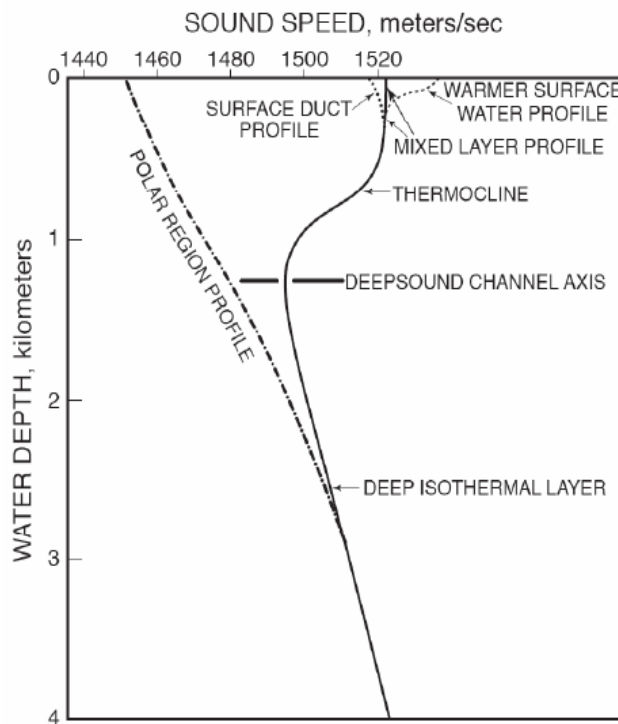
yang tersedia dibatasi oleh jarak dan frekuensi. Pemilihan rancangan desain dan simulasi memerlukan pemodelan saluran secara akurat dengan mengkaitkan teori sinar untuk menciptakan citra deterministik dari propagasi multipath dengan penambahan deskripsi statistik dan variasi saluran acak berdasarkan waktu (De Rango, Veltri, and Fazio 2012), (Radosevic, Proakis, and Stojanovic 2009). propagasi gelombang di bawah air menimbulkan dua jalur pendek utama yaitu *direct path* dan *surface reflected path*. Keduanya menciptakan distribusi spasial akustik yang dikenal sebagai pola cermin Lloyd (*Lloyd mirror pattern*) seperti gambar 2.

4.2. Jalur propagasi jarak jauh

Berdasarkan hukum Snellius, menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan akustik, menghasilkan sudut horizontal yang semakin kecil dengan kata lain gelombang suara dibelokkan menjauh dari wilayah kecepatan akustik tinggi atau mendekati ke daerah dengan kecepatan akustik rendah mengacu pada Gambar 4. (Kuperman and Roux 2007).

$$\frac{\cos \theta(z)}{c(z)} = \text{constant} \quad (9)$$

Masing-masing bagian tersebut memiliki karakteristik serta masalah yang berbeda.



Gambar 4. Variasi kecepatan akustik oleh pengaruh suhu dan tekanan hidrostatik. Source: (Kuperman and Roux 2007).

Apabila posisi sumber suara berada tegak lurus terhadap garis/bidang datar yang melalui dua sensor, maka tidak ada perbedaan waktu tempuh yang dibutuhkan sinyal agar sampai ke penerima. Namun jika sumber suara berada pada sudut tertentu, maka terdapat perbedaan waktu tempuh untuk dapat diterima oleh alat penerima sinyal (*receiver*) yang dirumuskan dengan:

$$\tau(\theta) = \frac{d \sin \theta}{v} \quad (10)$$

Dimana d adalah jarak antar sensor (meter), dan v adalah kecepatan suara dalam air (m/s) (Supartono, 2015).

pada transmitter menggunakan rangkaian *one shot* yang berfungsi untuk mengartikan perintah akuisisi menjadi satu bentuk pulsa positif dengan mengatur panjang pulsa. Nilai tersebut didapatkan menggunakan persamaan:

$$\text{lebar pulsa (ms)} = \frac{1}{2} RC \quad (11)$$

Untuk membangkitkan gelombang sinusoidal digunakan rangkaian *signal gereator* dengan frekuensi tertentu. Nilai tersebut didapatkan dai persamaan:

$$\text{Frekuensi (Hz)} = \frac{1}{RC} \quad (12)$$

Pulsa sinyal mengalami penguatan oleh *pre-amplifier* oleh resistor umpan balik dan resistor masukan dengan persamaan:

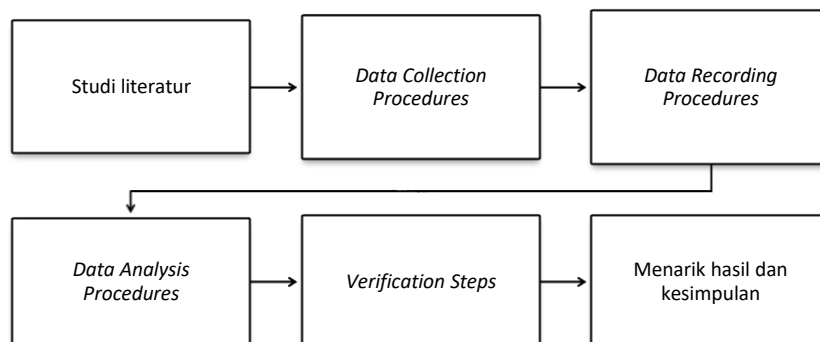
$$G = V_{in} \left(\frac{R_{in} + R_f}{R_{in}} \right) \quad (13)$$

Dalam hal ini satu operasional digunakan sebagai HPF dan lainnya sebagai LPF. Untuk mendapatkan nilai frekuensi filter, digunakan persamaan (Di Cataldo 2006).

$$f_c(Hz) = \frac{1}{2\pi RC} \quad (14)$$

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan kajian dari berbagai studi literatur, baik jurnal nasional dan jurnal internasional dengan kajian khusus pada sistem komunikasi bawah air. Metode ini digunakan terkait adanya pandemi *Covid-19* yang membatasi pengambilan data. Teknik Studi literatur bertujuan untuk menguraikan teori-teori yang relevan dalam memecahkan permasalahan yang sedang diteliti sebagai rujukan dalam pembahasan hasil penelitian. Jenis sinyal yang digunakan merupakan sinyal akustik yang dihasilkan oleh gelombang dari generator, alat yang digunakan adalah pembangkit sinyal sebagai pengirim informasi (*transmitter*) dan *hydrophone* sebagai penerima informasi (*receiver*). Ada banyak metode untuk mengukur besaran sensitivitas *hydrophone* tetapi lebih sedikit metode untuk mengukur fase sensitivitasnya (K. A. Wear et al. 2019). Dalam rangka mengevaluasi nilai optimasi alat ukur bawah air menggunakan *hydrophone*, perlu mempertimbangkan beberapa parameter yang berbeda seperti, frekuensi, jarak, kedalaman dan sebagainya. Beberapa metode menunjukkan bahwa sistem pengukuran *hydrophone* dapat secara akurat dimodelkan sebagai sistem fase minimum. Untuk dapat membangkitkan dan memancarkan gelombang akustik didalam air pada *transmitter* (Tx) harus terdapat bagian pembangkit sinyal pulsa (*pulse signal generator*), pada *low frequency* (LF) band *power amplifier* (penguat daya) untuk memperkuat sinyal pulsa dan *transmit transducer* (transduser pemancar) sebagai pengubah sinyal pulsa menjadi gelombang akustik dan memancarkannya di dalam air (Sawitri, Rustamaji, and Putra 2018).



Gambar 5. Diagram proses akuisisi data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pengukuran sinyal keluaran rangkaian *hydrophone* yang telah dirancang dapat di implementasikan dalam bentuk amplitudo, tegangan dan frekuensi sinyal yang dipancarkan oleh transmitter dari audio generator. Pada Tabel 1. Disajikan hasil komparasi menggunakan empat jenis *hydrophone* yang berbeda dengan melihat nilai optimasi sensitifitas *hydrophone* pada rentang frekuensi tertentu.

Dalam merancang jaringan komunikasi di bawah air bukan persoalan yang mudah, karakteristik air yang dinamis dan selalu mengalami perubahan terhadap waktu menjadi tantangan bagi peneliti agar mampu mengembangkan perangkat alat komunikasi bawah air laut yang optimal dengan memanfaatkan sifat dari gelombang akustik.

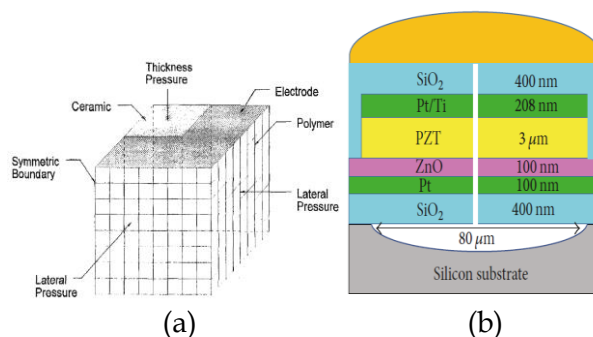
Faktor lingkungan menjadi salah satu masalah utama pengembangan alat komunikasi bawah air, seperti redaman sinyal karena adanya propagasi dan pergeseran frekuensi oleh efek dopler akibat pergerakan sumber (Wei et al. 2021).

Tabel 1. Data Pengukuran Hydrophone yang Digunakan

No	FREKUENSI (HZ)	VALUE	JARAK	Referensi
1	1 – 500	$(-190 \pm 2 \text{ dB}) - (-190 \pm 4 \text{ dB})$		(J. C. Liu et al. 2017)
2	60 – 100 k	0,236 – 7,040 V_{P-P}		(Rustamaji, Sawitri, and Hidayat 2018)
3	20 k	18,3 – 100 magnitudes	10 – 100 cm	(Sontonojaya 2018)
4	4,83 – 279,89 k	49, 95 – 131,62 dB	R = 0,15 – 15 km	(Khelladi and Mograne 2019)
	8 k – 16 k		D = 200 m – 1000 m	

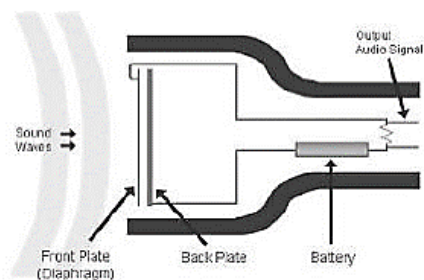
B. Pembahasan

Mengacu pada Tabel 1. Oleh (J. C. Liu et al. 2017) hydrophone yang digunakan menerima impuls gelombang yang ditransmisikan oleh perangkat transmitter dapat ditangkap dengan nilai rentang frekuensi yang adalah 1 Hz – 500 Hz, dalam makalah ini dijelaskan bahwa frekuensi resonansi pada gelombang yang diterima oleh *hydrophone* dipengaruhi oleh ukuran elemen yang digunakan. *Piezoelectric-composite* memiliki sensitifitas hidrostatik yang tinggi serta memiliki ketangguhan mekanik yang sangat baik (Yang et al. 2016). Bandwith tinggi dan berat yang relatif rendah menjadi keunggulan lain dari *hydrophone* jenis ini (Ramesh, Kara, and Bowen 2005). Selain itu, mereka tidak dapat dengan mudah diperluas untuk memasukkan pengaruh komponen tambahan, seperti pelindung, pada kinerja transduser (Bennett and Hayward 1997).



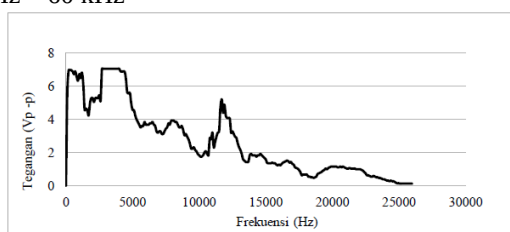
Gambar 3. Model *Finite Element analysis* (a) Model *Finite Element* hidrofons piezoelektrik 1-3 menunjukkan kondisi batas untuk analisis hidrostatik dan mesh standar (Bennett and Hayward 1997) (b) Ilustrasi skema penampang hidrofons menggunakan struktur heterojungsi SiO₂/elektroda atas/PZT/ZnO/elektroda bawah/ SiO₂/Si (J. C. Liu et al. 2017).

Finite Element Analysis (FEA) digunakan untuk memperkirakan parameter getaran *hydrophone* Gambar 3. Film tipis yang ditambahkan secara epitaxial pada ZnO dengan *Pt bottom electrode* menghasilkan sifat piezoelektrik yang baik dan kualitas kristal yang tinggi dengan nilai sensitivitas mencapai $-190 \pm 2 \text{ dB}$ yang diperoleh pada rentang frekuensi 50 Hz – 500 Hz (J. C. Liu et al. 2017). Zhu JL dkk (Zhu, Wei, and Li 2005) pada tahun 2005 memperkenalkan komposit *piezoelektrik* 0 hingga 3 PZT/P(VDF-TFE) yang memiliki sensitifitas mencapai -190 dB.



Gambar 4. Konstruksi dan *microphone condenser*. Source: <https://www.goshen.co.id/detailberita/mengenal-mikrofon-tipe-dan-cara-kerjanya>

Pada Penelitian yang dilakukan Rustamaji dkk tahun 2018 menunjukkan nilai sensitivitas hydrophone dengan menggunakan *microphone condenser* yang memiliki struktur seperti Gambar 4. Penulis menjelaskan bahwa rancangan *hydrophone* dihubungkan dengan rangkaian penguat inverting. Frekuensi yang digunakan untuk memperoleh respons impuls dari *hydrophone* yaitu 100 Hz – 60 kHz



Gambar 5. Grafik respon microphone condenser sebagai alat komunikasi bawah air pada rentang frekuensi 0 Hz – 30 kHz. Source : (Rustamaji, Sawitri, and Hidayat 2018)

Condenser microphone terdiri dari pelat kapasitif yang disekat dengan kerapatan beberapa micron. Prinsip operasi mic jenis ini adalah proses pengisian dan pengosongan kapasitansi yang disebabkan oleh pelat kondenser yang bergetar karena pengaruh frekuensi akustik yang diterima.

Ambient noise dalam pemilihan *microphone condenser* sebagai alat komunikasi bawah air, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Gerakan relatif antara *transmitter* dan *receiver* menyebabkan efek dopler untuk pencapaian resolusi spektral tinggi. *Ambient* selalu hadir dalam setiap komunikasi bawah air seperti turbulensi, pelayaran, gelombang permukaan dan kebisingan termal yang berada pada masing-masing spektrum yang berbeda (Nasri et al. 2010), (Khelladi and Mograne 2019), (Stojanovic and Preisig 2009).

Menurut Strasberg gangguan yang diakibatkan oleh ayunan kabel *hydrophone* dalam aliran air yang berdekatan dengan *hydrophone* dapat dihapuskan atau dikurangi (Taylor 2014). Selain itu, *ambient noise* dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi target dengan menganalisis keunikan *noise* yang di dihasilkan oleh objek.

H2a-XLR merupakan salah satu jenis *hydrophone* yang memiliki kemampuan untuk mampu menerima respon pada rentang frekuensi <10 Hz hingga 100 kHz dengan kedalaman mencapai 80 meter, memiliki impedansi 1 K Ω dan sensitivitas mencapai -180 dB $\pm$ 4dB (pada frekuensi 20 Hz - 4,5 kHz) (Datasheet). Dalam pengujian yang dilakukan oleh (Sontonojaya 2018) pada frekuensi 20 Khz dan jarak komunikasi yang digunakan (horizontal) adalah 10 cm hingga 100 cm, mampu memunculkan sinyal dengan rata rata magnitude adalah 18,3.

Pernyataan tersebut diperkuat oleh (Fidia 2018), dengan menggunakan variasi frekuensi yaitu 500 Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz dan 8 kHz dengan variasi sudut 0° sampai 180° menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi dapat mengurangi akurasi *hydrophone* H2a-XLR yang memiliki sifat omnidirectional. Percobaan ini nilai optimum yang didapatkan adlaah pada frekuensi 1 kHz.

Penelitian yang dilakukan oleh (Khelladi and Mograne 2019) dengan menggunakan model mackenzie serta francois dan Garrison untuk merepresentasikan dan sebagai pertimbangan kemungkinan yang terjadi dalam proses komunikasi bawah air. Dengan menggunakan metode mackenzie dapat menjelaskan pengaruh setiap kenaikan temperatur, suhu dan kedalaman menyebabkan kenaikan kecepatan akustik di bawah air (Ittaqa, 2016).

Model Francois dan Garrison menjelaskan perhitungan efek relaksasi penyerapan dengan peningkatan akurasi koefisien penyerapan α dalam dB terhadap variasi frekuensi, tekanan kedalaman dan temperatur (Lurton and Jackson 2004), (Francois and Garrison, 1982), (Ainslie and McColm 1998). Persamaan yang

digunakan pada model francois dan Garrison digunakan untuk memprediksi penyerapan pada air laut pada rentang frekuensi 200 Hz hingga 1 MHz pada kedalaman mencapai 5 km (Francois and Garrison 1982).

$$\alpha = \frac{A_1 P_1 f_1 f^2}{f^2 + f_1^2} + \frac{A_2 P_2 f_2 f^2}{f^2 + f_2^2} + A_3 P_3 f^2 \text{ dB km}^{-1} \quad (15)$$

Pada penelitian ini, bandwidth yang lebih tinggi didapatkan pada rentang frekuensi yang lebih pendek dengan penundaan propagasi dan redaman sinyal yang lebih rendah (Khelladi and Mograne 2019).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Makalah ini menyajikan kajian dan analisis terhadap data hasil penelitian yang dilakukan terkait dengan komunikasi bawah air. Perambatan gelombang di bawah air memiliki perbedaan karakteristik yang dipengaruhi oleh tekanan, arus dan salinitas sehingga menyebabkan interferensi yang kuat pada sinyal yang ditransmisikan. Perangkat *hydrophone* dapat digunakan sebagai alat komunikasi bawah air dengan rentang frekuensi berada pada 50 Hz – 40 kHz. komunikasi bawah air juga diketahui bahwa semakin tinggi nilai frekuensi dan jarak yang digunakan maka intensitas yang dapat diterima akan semakin kecil karena adanya pengaruh redaman serta tekanan hidrostatik yang tinggi.

B. Saran

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, hasil review ini dapat digunakan sebagai bahan bacaan dan referensi sebagai sarana untuk meningkatkan ilmu pengetahuan alam dan wawasan mengenai efektifitas sensor hydrophone. Bagi peneliti selanjutnya, hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjang penelitian lebih lanjut dengan memperdalam analisis permasalahan terhadap jenis bahan sensor untuk beragam karakteristik dan kedalaman air yang diukur, sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Draxler, K. and Stybikova, R. 2015. Calibration of AC Clamp Meters. *IEEE Instrumentation and Measurement*, doi:10.1109/TIM.2015.2507413, pp. 1-7
- Abraham, Bruce M. 2008. "Low-Cost Dipole Hydrophone for Use in Towed Arrays." 189: 189-201.
- Ainslie, Michael A., and James G. McCollm. 1998. "A Simplified Formula for Viscous and Chemical Absorption in Sea Water." *The Journal of the Acoustical Society of America* 103(3): 1671-72.
- Amiri, Peyman, and Zoheir Kordrostami. 2018. "Sensitivity Enhancement of MEMS Diaphragm Hydrophones Using an Integrated Ring MOSFET Transducer." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 65(11): 2121-30.
- Arnaya, I Nyoman. 1991. Fakultas Perikanan IPB Diktat Kuliah Akustik Kelautan.
- Bennett, Jeremy, and Gordon Hayward. 1997. "Design of 1-3 Piezocomposite Hydrophones Using Finite Element Analysis." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 44(3): 565-74.
- Berry, Jesse F. 1991. "Introduction to Sonar Systems." *Vitro Technical Journal* 9(1): 1-11.
- Bharath, A, D Groulx, and S Campbell. 2014. "Hydrophone Acoustic Receiver Modeling : Turbulent Flow Modeling and Acoustic Analysis." *Comsol* 2(2): 0-6.
- Bobber, Robert J. 1970. 5 Oceanol Int *Underwater Electroacoustic Measurements*.
- Boutkadjirt, T., and R. Reibold. 2002. "Reconstruction of Ultrasonic Fields by Deconvolving the Hydrophone Aperture Effects - I. Theory and Simulation." *Ultrasonics* 39(9): 631-39.
- Butler, Stephen C. 2018. "Properties of Transducers: Underwater Sound Sources and Receivers." (December).
- Di Cataldo, G. 2006. 22 IEEE Circuits and Devices Magazine *The Electronics Handbook, Second Edition [Book Review]*.
- Cristi, Elsa Maria. 2017. "Ujian Tengah Semester: Gelombang."
- Datasheet. "H2a-XLR Hydrophone User's Guide."
- Eichstädt, S., and V. Wilkens. 2016. "GUM2DFT - A Software Tool for Uncertainty Evaluation of Transient Signals in the Frequency Domain." *Measurement Science and Technology* 27(5).
- Erbe, Christine, and Jeanette A Thomas Editors. 2022. 1 Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume

1 *Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1.*

- Fidia, Anisa Shethin. 2018. "Penjejakan (Tracking) Sumber Bunyi Bergerak Bawah Air."
- Francois, R. E., and G. R. Garrison. 1982. "Sound Absorption Based on Ocean Measurements. Part II: Boric Acid Contribution and Equation for Total Absorption." *Journal of the Acoustical Society of America* 72(6): 1879-90.
- Hang, Guo jun et al. 2014. "A Bionic Fish Cilia Median-Low Frequency Three-Dimensional Piezoresistive MEMS Vector Hydrophone." *Nano-Micro Letters* 6(2): 136-42.
- Hurrell, A., and P. Beard. 2012. "Piezoelectric and Fibre-Optic Hydrophones." *Ultrasonic Transducers: Materials and Design for Sensors, Actuators and Medical Applications*: 619-76.
- Hurrell, Andrew. 2004. "Voltage to Pressure Conversion: Are You Getting 'phased' by the Problem?" *Journal of Physics: Conference Series* 1: 57-62.
- Hurrell, Andrew M., and Srinath Rajagopal. 2017. "The Practicalities of Obtaining and Using Hydrophone Calibration Data to Derive Pressure Waveforms." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 64(1): 126-40.
- Isna, Tanayastri Dini. 2020. "71 % Permukaan Bumi Tertutup Air Loh, Cuma 3,5% Yang Bisa Diminum." *Warta Ekonomi.co.id*. <https://wartaekonomi.co.id/read308302/71-permukaan-bumi-tertutup-air-loh-cuma-35-yang-bisa-diminum> (January 3, 2021).
- Ittaqa, Arum Shadewi. 2016. "Best Relay Selection for Underwater."
- Keith, A. Wear, Miloro Piero, and Baker Christian. 2020. "Directivity and Frequency-Dependent Effective Sensitive Element Size of Needle Hydrophones: Predictions From Four Theoretical Forms Compared With Measurements." 379(20): 1971-72.
- Khelladi, Hassina, and Mohamed Abderrahmane Mograne. 2019. "Optimization of Some Acoustic Parameters Intended for the Wireless Communication in Seawater." *Applied Acoustics* 154: 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.04.020>.
- Kordrostami, Zoheir, and Sajjad Roohizadegan. 2019. "Particle Swarm Approach to the Optimisation of Trenched Cantilever-Based MEMS Piezoelectric Energy Harvesters." *IET Science, Measurement and Technology* 13(4): 536-43.
- Kuperman, William A, and Philippe Roux. 2007. *Springer Handbook of Acoustics Springer Handbook of Acoustics*.
- Leslie, C B, J M Kendall, and J L Jones. 1956. "Hydrophone For Measuring Particle Velocity." 28(4).
- Liu, Jeng Cheng et al. 2017. "Fabrication and Characterization of High-Sensitivity Underwater Acoustic Multimedia Communication Devices with Thick Composite PZT Films." *Journal of Sensors* 2017.
- Liu, Yunbo, Keith A. Wear, and Gerald R. Harris. 2017. "Variation of High-Intensity Therapeutic Ultrasound (HITU) Pressure Field Characterization: Effects of Hydrophone Choice, Nonlinearity, Spatial Averaging and Complex Deconvolution." *Ultrasound in Medicine and Biology* 43(10): 2329-42.
- Lurton, Xavier, and Darrell R. Jackson. 2004. "An Introduction to Underwater Acoustics." *The Journal of the Acoustical Society of America* 115(2): 443-443.
- Marshall, Long. 2006. *Architectural Acoustics*.
- Nasri, Nejeh, Laurent Andrieux, Abdennaceur Kachouri, and Mounir Samet. 2010. "Efficient Encoding and Decoding Schemes for Wireless Underwater Communication Systems." *2010 7th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD-10* (November).
- Neupane, Dhiraj, and Jongwon Seok. 2020. "A Review on Deep Learning-Based Approaches for Automatic Sonar Target Recognition." *Electronics (Switzerland)* 9(11): 1-30.
- Palanisamy, P., N. Kalyanasundaram, and P. M. Swetha. 2012. "Two-Dimensional DOA Estimation of Coherent Signals Using Acoustic Vector Sensor Array." *Signal Processing* 92(1): 19-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2011.05.021>.
- Panrereng, Mardawia M, Wirawan Wirawan, and Tri Budi Santoso. 2015. "Estimasi Kanal Akustik Bawah Air Untuk Perairan Dangkal Menggunakan Metode Least Square (LS) Dan Minimum Mean Square Error (MMSE)." *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer* 2(1): 42.
- Permana, Oddy, Putra Sinaga, and Aris Triwiyatno. 2015. "Perancangan Sensor Untuk Mengetahui Keberadaan Ikan Dengan Hydrophone." *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 3(4): 670-76.
- Prabhu, Smitha et al. 2021. "Design of Piezo-Resistive Type Acoustic Vector Sensor Using Graphene for Underwater Applications." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1045(1): 012015.
- Priambudi, Tyas Basuki. 2019. "Implementasi Pembangkitan Secret Key Berbasis Received Signal Strength (RSS) Untuk Sistem Komunikasi Baawh Air."
- Radošević, Andreja, John G. Proakis, and Milica Stojanovic. 2009. "Statistical Characterization and Capacity of

- Shallow Water Acoustic Channels." *OCEANS '09 IEEE Bremen: Balancing Technology with Future Needs*.
- Radulescu, E. G., P. A. Lewin, A. Nowicki, and W. A. Berger. 2003. "Hydrophones' Effective Diameter Measurements as a Quasi-Continuous Function of Frequency." *Ultrasonics* 41(8): 635–41.
- Ramesh, R., H. Kara, and C. R. Bowen. 2005. "Finite Element Modelling of Dense and Porous Piezoceramic Disc Hydrophones." *Ultrasonics* 43(3): 173–81.
- Randhi, Zulfathri et al. 2017. "Akustik Dibandingkan Dengan Densitas Ikan : Kombinasi Metode Aktif Dan Pasif Acoustic Vs Fish Density : A Combination of Active and Passive." 8(2): 187–98.
- De Rango, F., F. Veltri, and P. Fazio. 2012. "A Multipath Fading Channel Model for Underwater Shallow Acoustic Communications." *IEEE International Conference on Communications* (June): 3811–15.
- Rolt, Kenneth D. 1994. "The Fessenden Oscillator: History, Electroacoustic Model, and Performance Estimate." *The Journal of the Acoustical Society of America* 95(5): 2832–2832.
- Rustamaji, Kania Sawitri, and Nur Wahyu Hidayat. 2018. "Prototipe Hydrophone Untuk Komunikasi Bawah Air." *Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 6(1): 49.
- Sawitri, Kania, Rustamaji Rustamaji, and Rian Mahesa Putra. 2018. "Perancangan Transmitter Gelombang Akustik Pada VLF Band Untuk Bawah Air." *Telka- Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol* 4(1): 11–23.
- Shang, Dajing, Rui Tang, Qi Li, and Jiapeng Song. 2020. "Measurement of Radiated Sound Power from a Complex Underwater Sound Source in a Non-Anechoic Pool Based on Spatial Averaging." *Journal of Sound and Vibration* 468.
- Shevtsov, S et al. 2012. "Modeling Amd Optimization of MEMS-Based Acoustic Sensor for Underwater Application." *Haijhuang Rd., Nanzih Dist 344006*(142): 3–6. <http://www.ssc-ras.ru>.
- Smith, R. A. 1989. "Are Hydrophones of Diameter 0.5 Mm Small Enough to Characterise Diagnostic Ultrasound Equipment?" *Physics in Medicine and Biology* 34(11): 1593–1607.
- Sontonojaya, Alivza. 2018. *Rancang Bangun Kapal Tanpa Awak Untuk Mengukur Magnitudo Pinger Dengan Hydrophone Sensor*. Surabaya: Departemen Teknik Elektro Ootomasi Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Stojanovic, Milica, and James Preisig. 2009. "Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization." *IEEE Communications Magazine* 47(1): 84–89.
- Sulastriningsih, Nita Mei, Dhany Arifianto, and Tutug Dhanardono. 2017. "Analysis of Grazing Angle and Frequency Dependence on Acoustic Backscattering Pattern." *Procedia Engineering* 170: 307–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.035>.
- Supartono, Supartono, and Rusmana Rusmana. 2015. "Rancang Bangun Beamforming Sensor Pada Sistem Akustik Bawah Air." *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* 5(2): 139–44.
- Supriyanto, Eko, Eni Dewi Wardhani, and Esti Purbawati. 2017. "Analisis Pengaruh Multi Sumber Pada Sistem Komunikasi Bawah Air." 3: 224–35.
- Taylor, David W. 2014. "Nonacoustic Noise Interference in Measurements of Infrasonic Ambient." 66(5): 1487–93.
- Tressler, James F. 2008. "Piezoelectric Transducer Designs for Sonar Applications." *Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications*: 217–39.
- Wear, Keith et al. 2015. "Correction for Frequency-Dependent Hydrophone Response to Nonlinear Pressure Waves Using Complex Deconvolution and Rarefactional Filtering: Application with Fiber Optic Hydrophones." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 62(1): 152–64.
- Wear, Keith A. et al. 2014. "Improved Measurement of Acoustic Output Using Complex Deconvolution of Hydrophone Sensitivity." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 61(1): 62–75.
- — —. 2019. "Considerations for Choosing Sensitive Element Size for Needle and Fiber-Optic Hydrophones- Part I: Spatiotemporal Transfer Function and Graphical Guide." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 66(2): 318–39.
- Wear, Keith A., Christian Baker, and Piero Miloro. 2019. "Directivity and Frequency-Dependent Effective Sensitive Element Size of Membrane Hydrophones: Theory Versus Experiment." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 66(11): 1723–30.
- Wear, Keith A., Anant Shah, and Christian Baker. 2020. "Correction for Hydrophone Spatial Averaging Artifacts for Circular Sources." *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 67(12): 2674–91.
- Wear, Keith A et al. 2019. "Time-Delay-Spectrometry Measurement of Magnitude and Phase of Hydrophone Response." : 1–21.

- Wei, Yan et al. 2021. "Flow Noise and Its Suppression in Exposed Hydrophone." *Applied Acoustics* 182: 108190. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108190>.
- Wilkins, Volker, and Christian Koch. 2004. "Amplitude and Phase Calibration of Hydrophones up to 70 MHz Using Broadband Pulse Excitation and an Optical Reference Hydrophone." *The Journal of the Acoustical Society of America* 115(6): 2892–2903.
- Yang, Zengtao et al. 2016. "Dynamic Modeling of 1–3 Piezoelectric Composite Hydrophone and Its Experimental Validation." *Composite Structures* 150: 246–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.05.018>.
- Yatarif, N.W. 2008. "Karakterisasi Sinyal Akustik Untuk Mendeteksi Keabnormalan Jaringan Tubuh Menggunakan Ultrasonik." *Skripsi*.
- Yusro, and Aodah. 2019. *Sensor Dan Transduser (Teori Dan Aplikasi)*. Jakarta.
- Zhu, J -I, Y -q Wei, and Y -I Li. 2005. "Shear-Polarized Cylinder Hydrophone Using 0-3 PZT/P (VDF-TFE) Piezocomposite." *Electron* 24(8): 35–37.