

Pengujian Sifat *Anechoic* untuk Kelayakan Pengukuran Perambatan Bunyi Bawah Air pada Akuarium

Indan Pratiwi, Wiratno Argo Asmoro, dan Dhany Arifianto
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: wiratno@ep.its.ac.id

Abstrak— Metode pengukuran waktu dengung umumnya dilakukan di ruang akustik dengan medium udara untuk menentukan seberapa besar tingkat dengung atau gema yang terjadi. Namun nilai waktu dengung juga berpengaruh terhadap dimensi ruangan. Pada pengujian berikut, medium yang digunakan adalah air dengan menguji dimensi akuarium untuk menentukan waktu dengung dan hasil tersebut akan dibandingkan dengan variabel dari dimensi tank yang ukurannya jauh lebih besar. Sifat akuarium dari pengukuran perambatan bunyi di bawah air dapat ditentukan dengan memvariasikan posisi dari kedalaman dan jarak sensor terhadap sumber. Perangkat yang digunakan adalah hydrophone sebagai sensor dan sumber non-omnidirectional yang direkayasa menjadi omnidirectional. Dengan melihat energi peluruhan yang terjadi adalah cara untuk menentukan tingkat waktu dengung. Hasil nilai waktu dengung yang diperoleh di akuarium yang di uji adalah 90 milidetik. Jika dibandingkan dengan dimensi akuarium yang lebih besar, hasil waktu dengung yang diperoleh mempunyai nilai empat kali lebih kecil. Maka akuarium yang di uji terbukti akuarium anechoic.

Kata Kunci— Dimensi akuarium, Sumber non-omnidirectional, Waktu dengung.

I. PENDAHULUAN

PENGUKURAN *underwater acoustic* mempunyai dua cara pengukuran, yaitu dilakukan di laut terbuka dan dilakukan di kolam yang dimensinya terbatas. Pada pengukuran di laut terbuka, tingkat keakurasiannya sangat terjamin, akan tetapi metode pengukurannya sangat tidak efisien dikarenakan operasi pengukuran lebih sulit dan membutuhkan biaya yang cukup mahal. Sedangkan pengukuran di akuarium yang mempunyai dimensi lebih kecil dari kolam yang digunakan pada jurnal [1], tingkat keakurasiannya bisa dikatakan kurang, akan tetapi pengukuran dapat dilakukan lebih mudah dan dapat divariasikan. Untuk keakurasiannya pada pengukuran di akuarium, diusahakan agar tingkat keakurasiannya sama dengan pengukuran di laut terbuka. Pengukuran seperti hal tersebut bertujuan untuk mengetahui bagaimana perambatan suara di bawah air dan waktu dengung seperti metode yang dilakukan pada jurnal [1], sehingga dapat diaplikasikan untuk sistem-sistem yang digunakan di bawah air, misal: sistem komunikasi, sistem sonar aktif dan pasif, dan lain sebagainya. Pada pengukuran waktu dengung tersebut, metodenya diadaptasi dari pengukuran di ruang akustik (di udara) yang kemudian eksperimen dilakukan untuk membandingkan hasil yang

diberikan oleh metode jurnal [1] dengan hasil yang diperoleh di laut terbuka dalam sumber yang berbeda.

Dari metode-metode yang sudah dilakukan di jurnal [1], maka melihat penelitian [2] banyak sekali variabel-variabel yang diperlukan. Pada penelitian [2] variabel yang diukur adalah variasisuhu dan salinitas. Maka untuk tahap selanjutnya adalah menentukan waktu dengung.

Pada tugas akhir ini direncanakan dalam pengambilan data dilakukan di akuarium yang berisi air untuk melihat peluruhan dari sumber yang direkayasa secara omnidirectional. Setelah mendapatkan data-data dari power yang dihasilkan oleh sumber terhadap sensor, diharapkan penelitian ini dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen [3] yang dimensi *water tank* lebih besar.

II. URAIAN PENELITIAN

A. *Acoustic field* pada akuarium

Sumber akustik yang beremisi di dalam *tank*/akuarium akan mengemisikan gelombang akustik yang kemudian direfleksikan pada dinding, permukaan, dan dasar akuarium. Menurut teori *aerial acoustic* (akustik di udara) diasumsikan bahwa bidang akustik di dalam akuarium mempunyai *direct field* dan *acoustic energy density* (W_d yang serupa dengan sumber *acoustic energy density* di medium terbuka dan *reverberated field* dengan *acoustic energy density* W_r dari *multiple reflection* pada dinding.

Direct field merupakan arah densitas energy akustik yang ditentukan menurut jarak (r) dari sumber, dirumuskan sebagaimana pada persamaan 2.1

$$W_d(r) = \frac{P_s}{4\pi cr^2} \quad (1)$$

Dimana:

P_s = Power of the source (104.95 dB)

c = sound velocity

r = jarak dari sumber/ speaker (m)

Reverberated field dikondisikan sama (homogeneity dan isotropy) pada medan *reverberated* tergantung sinyal yang ditransmisikan dan pada ukuran *bandwidth*. Pada *reverberated field* yang homogen dapat dirumuskan seperti persamaan 2.2

$$W_r = \frac{4I_r}{c} \tag{2}$$

Dimana:

W_r = acoustic energy density

I_r = acoustic Intensity (104.95 dB)

c = sound velocity (1454.36 m/s) [2]

B. Waktu Dengung (Reverberation Time)

Pada *reverberation time*, merupakan durasi dimana energi akustik dari lingkungan yang berdentung berkurang 60 dB [1]. Dalam menentukan *reverberation time* di ruang akustik udara tidak berbeda dengan koefisien yang digunakan pada persamaan yang digunakan pada jurnal [1], waktu untuk *Reverberation* dan persamaan Sabine dapat diketahui dengan persamaan berikut [3]

$$Tr = \frac{24}{\log_e \alpha} \frac{V}{ac} = 55.3 \frac{V}{ac} \tag{3}$$

Dimana :

α = koefisien Sabine

V = volume air

c = sound velocity

Dimana sebelum menghitung nilai *reverberation time*, koefisien sabine (α) harus diketahui terlebih dahulu dengan perhitungan dari persamaan 2.4[3]

$$\alpha = s \propto \tag{4}$$

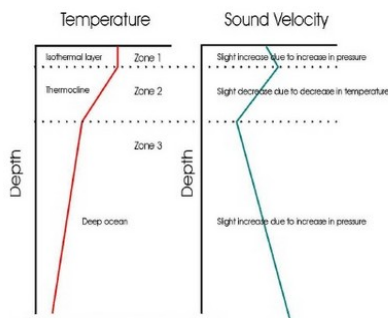
Dimana :

s = luas permukaan (ft²)

\propto = koefisien serapan bunyi

C. Propagasi Suara

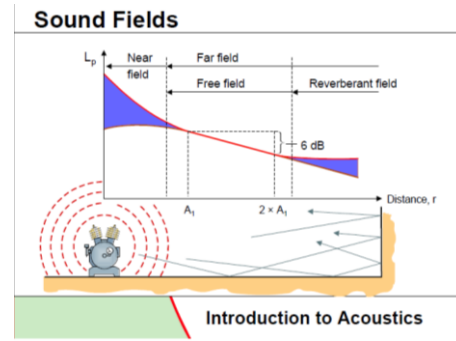
Propagasi suara dalam air umumnya berhubungan dengan *transmission loss* yang membahas tentang *spreading laws* (penyebaran), *absorption* (penyerapan), *velocity of sound* (kecepatan rambat), dan *reflection and scattering* [4].



Gambar 1. Kondisi profil suhu dan kecepatan suara

D. Sound Field

Dalam memprediksi suatu kebisingan dari perangkat-perangkat yang digunakan patut dipahami, baik dalam menentukan bidang suara dan tingkat suara [3]. *Near Field* (sumber dekat), *far field* (medan jauh), *free field* (medan bebas) dan *reverberant field* merupakan istilah yang paling umum digunakan, dengan mengilustrasikan istilah tersebut seperti gambar 2.



Gambar 2. Definisi Sound Fields

E. Fast Fourier Transform (FFT) [4]

Fast fourier transform adalah suatu alogarima untuk menghitung Transformasi *Fourier Diskrit* (DFT) dan inversnya. FFT menjadi sangat penting untuk bermacam-macam aplikasi dari pengolahan sinyal digital dan memecahkan persamaan diferensial parsial menjadi alogarima-alogarima untuk penggandaan bilangan integer dalam jumlah banyak. Istilah *fast* digunakan karena formulasi FFT jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode *Fourier Transform* sebelumnya. Teknik FFT memerlukan sekitar 10000 operasi matematik untuk data dengan 1000 observasi, yaitu 100 kali lebih cepat dibandingkan teknik sebelumnya.

Satu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi adalah dengan transformasi fourier:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \tag{5}$$

F. Aquarium *Anechoich*

Akuarium yang digunakan berukuran 2 x 1 x 1 m yang didalamnya dilapisi busa (*spons*) telur yang berfungsi sebagai peredam, hal ini diibaratkan seperti di laut terbuka yang dinding-dindingnya adalah tanah dan bebatuan.



Gambar 3. Aquarium *anechoich*

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Proses Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di akuarium yang berdimensi 2 x 1 x 1 m dan di dalam akuarium tersebut, baik dasar maupun dinding akuarium dilapisi spons berstruktur gelombang.

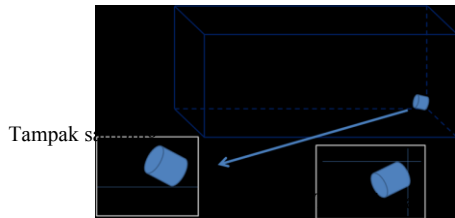


Gambar 4. Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan seperti gambar 4, dimana perangkat-perangkat yang digunakan adalah dua buah laptop, satu buah amplifier yang disambungkan ke speaker, dan M-audio.

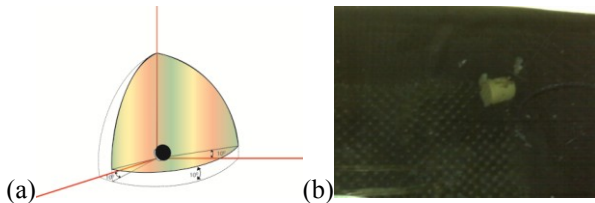
B. Posisi Speaker di dalam Akuarium

Posisi *speaker* yang berada di dalam akuarium berukuran 2 m³ yang berisi air di *setting* sebagaimana teori pengukuran waktu dengung (*reverberation time*) harus menggunakan sumber bunyi yang *omnidirectional*. Berdasarkan kalibrasi, bukaan *speaker* adalah sebesar 80° [2]. Maka posisinya diatur sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar 5.



Gambar 5. Posisi *Speaker* di dalam Akuarium

Sehubungan dengan bukaan dari *speaker* sebesar 80° [2], maka posisi *speaker* naik 10°.



Gambar 6. (a) zona perambatan suara; (b) posisi *speaker* di dalam akuarium tampak atas

C. Posisi Sensor di dalam Akuarium

Dalam menentukan posisi *hydrophone*, terutama *hydrophone near field* (medan dekat) memakai rumus perhitungan sistem komponen perhitungan bola sebagai berikut.

$$X = r \sin \theta \cos \varphi \tag{3.1}$$

$$Y = r \sin \theta \sin \varphi \tag{3.2}$$

$$Z = r \cos \theta \tag{3.3}$$

Tabel 3.1

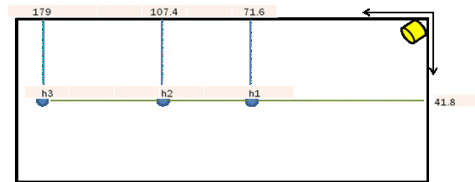
Koordinat untuk menentukan posisi *hydrophone*

Sudut	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Kedalaman <i>hydrophone</i> (cm)
20°	71.6	41.8	14.7	85 - 14.7 = 70.3
40°	53.5	63.6		
60°	28.63	78.67		
20°	56.4	32.5	54.6	85 - 54.6 = 30.4
40°	41.8	49.9		
60°	22.3	61.2		

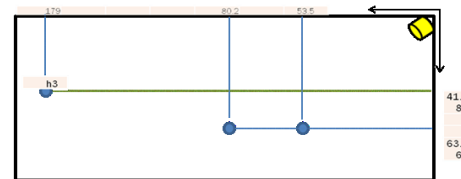
Dimana tabel 3.1 adalah koordinat untuk posisi sensor dekat dengan sumber saja.

D. Pengambilan Data Waktu Dengung

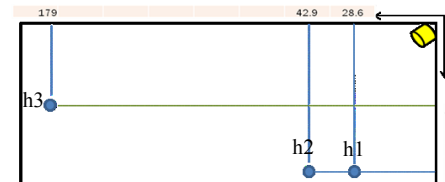
Dari tabel 3.1, terdapat enam cara pengambilan data dengan merubah posisi *hydrophone* menurut koordinat dan kedalamannya yang sudah dihitung menggunakan persamaan 1, 2 dan 3. Terdapat 3 sensor (*hydrophone*) yang digunakan saat pengambilan data. Sensor kedua (*free field*) sebagai pengoreksi dan pembanding, seberapa besar suara yang diterima. Posisi sensor ketiga (*reverberant field*) adalah sensor yang posisinya paling jauh yang fungsinya sama seperti sensor kedua. Maka posisi-posisi sensor dapat diperhatikan dengan cara-cara seperti gambar berikut.



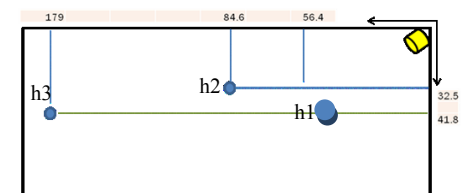
Gambar 7. sudut 20° terhadap *speaker* dengan kedalaman 70.3 cm



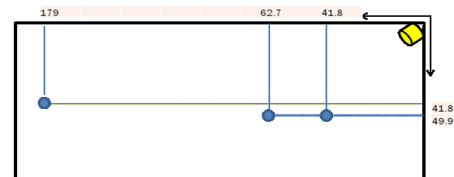
Gambar 8. sudut 40° terhadap *speaker* dengan kedalaman 70.3 cm



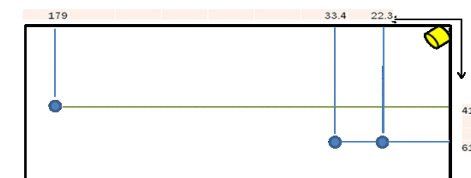
Gambar 9. sudut 60° terhadap *speaker* dengan kedalaman 70.3 cm



Gambar 10. sudut 20° terhadap *speaker* dengan kedalaman 30.4 cm



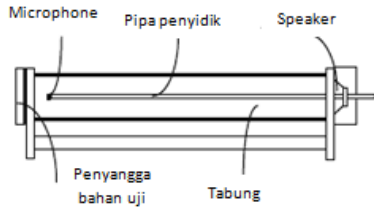
Gambar 11. sudut 40° terhadap *speaker* dengan kedalaman 30.4 cm



Gambar 12. sudut 40° terhadap *speaker* dengan kedalaman 30.4 cm

E. Pengambilan Data Koefisien Serap Spons

Pengujian untuk mengetahui koefisien serap suatu bahan terhadap gelombang bunyi yaitu dengan menggunakan metode tabung impedansi.



Gambar 13. Tabung Impedansi

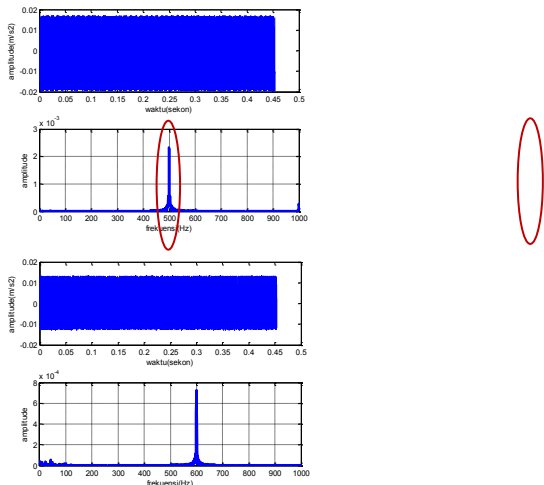
F. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan pada saat pengambilan data adalah *Software Matlab* dan *Adobe Audition cs 5.5*. Data keluaran berupa *wavread* dan frekuensi sampling sebesar 44100 Hz. Kemudian setiap rekaman diolah ke *software matlab*, dengan tahap validasi kemudian dilanjutkan dengan penentuan nilai waktu dengung.

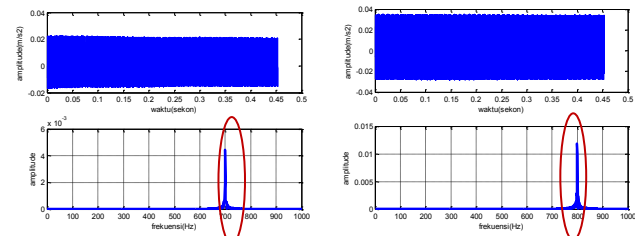
IV. HASIL PENELITIAN

A. Pengolahan Data Tahap Validasi

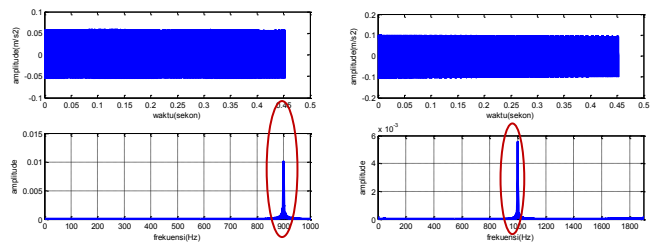
Pengukuran ini menggunakan jenis sumber bunyi *puretone*. Frekuensi yang dibangkitkan bervariasi, diantaranya 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, dan 1000 Hz.



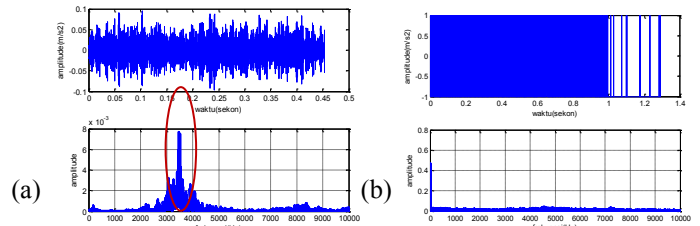
Gambar 14. Hasil FFT 500 Hz dan 600 Hz



Gambar 15. Hasil FFT 700 Hz dan 800 Hz



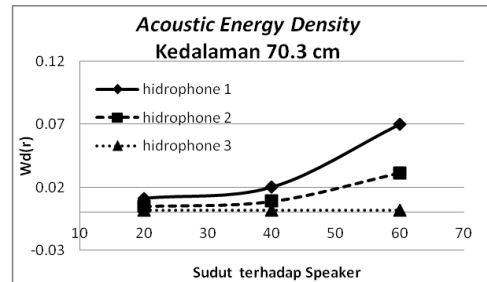
Gambar 16. Hasil FFT 900 Hz dan 1000 Hz



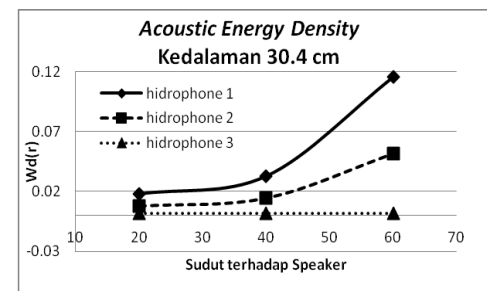
Gambar 17. Hasil FFT *White Noise* (a) sinyal sebelum *demodulated*; (b) sinyal *demodulated*

B. *Acoustic Field* pada Akuarium

Sebelum menentukan waktu dengung (*reverberation time*) pada titik-titik pengukuran, dibutuhkan mengetahui seberapa besar *acoustic energy density* pada medan langsung (*direct field*) akustik di dalam akuarium dengan jarak sensor/*hydrophone* yang berbeda-beda.



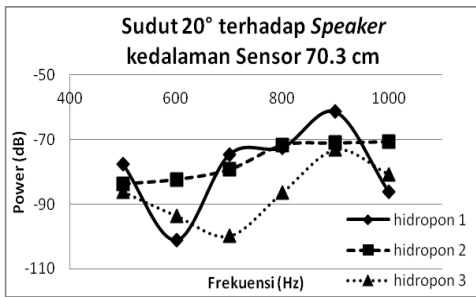
Gambar 18. Grafik nilai *acoustic energy density* di kedalaman 70.3 cm



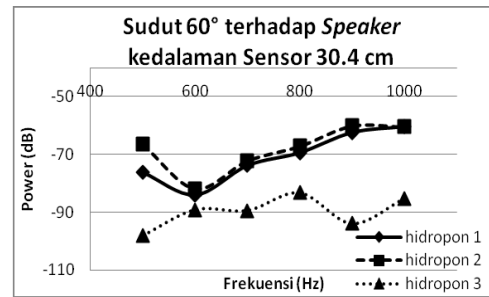
Gambar 19. Grafik nilai *acoustic energy density* di kedalaman 30.4 cm

C. Pengukuran *Power* terhadap *Speaker*

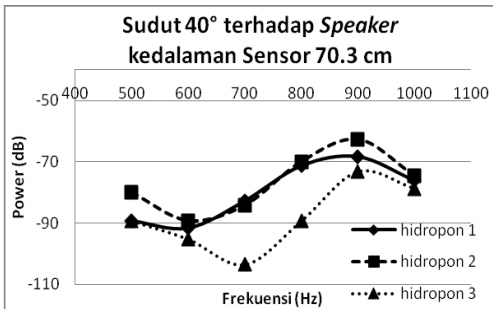
Setelah tahap validasi, setiap frekuensi diolah dan dianalisa dengan menggunakan *software Matlab*, maka dilanjutkan dengan melihat besar nilai *power* yang diterima oleh masing-masing posisi sensor/*hydrophone* dan frekuensi yang dibangkitkan.



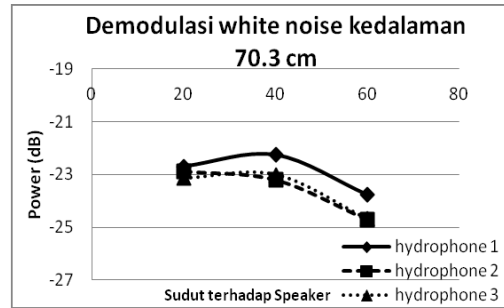
Gambar 20. Grafik nilai *power* sudut 20° terhadap *speaker* di kedalaman 70.3 cm



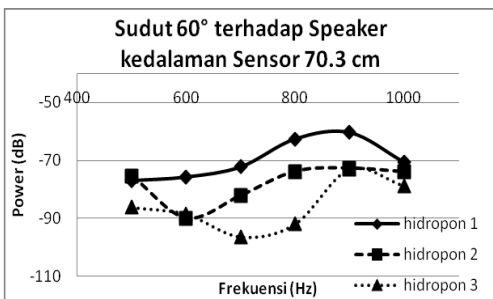
Gambar 25. Grafik nilai *power* sudut 60° terhadap *speaker* di kedalaman sensor 30.4 cm



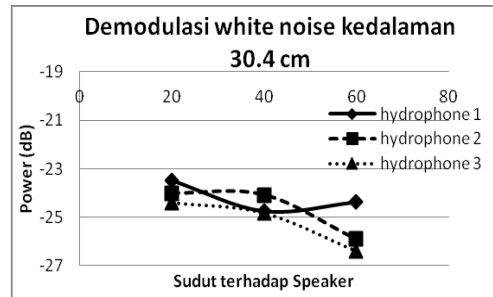
Gambar 21. Grafik nilai *power* sudut 40° terhadap *speaker* di kedalaman sensor 70.3 cm



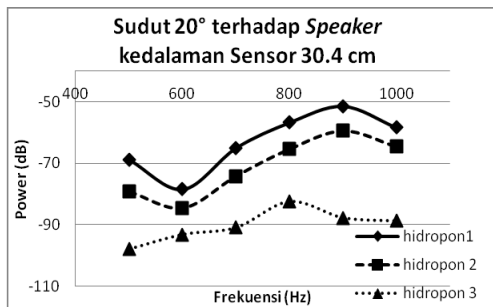
Gambar 26. Grafik nilai *power* (dB) terhadap sudut *speaker* di kedalaman 70.3 cm



Gambar 22. Grafik nilai *power* sudut 60° terhadap *speaker* di kedalaman sensor 70.3 cm



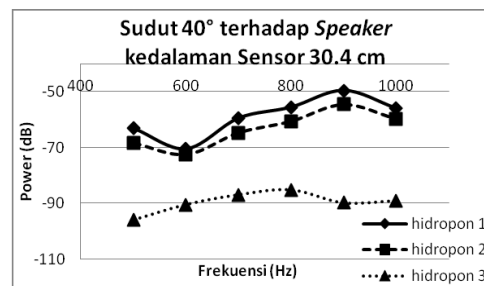
Gambar 27. Grafik *power* (dB) terhadap *speaker* di kedalaman 30.4 cm



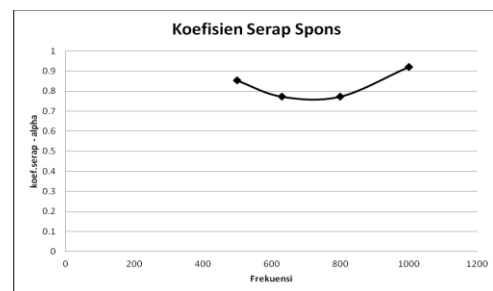
Gambar 23. Grafik nilai *power* sudut 20° terhadap *speaker* di kedalaman sensor 30.4 cm

D. *Validasi koefisien serap spons dengan tabung impedansi dengan variasi frekuensi*

Tahap selanjutnya dalam menentukan waktu dengung harus mempunyai nilai serap dari bahan yang digunakan. Bahan yang peredam yang digunakan adalah spons yang mempunyai struktur gelombang dengan ketebalan 7 cm.



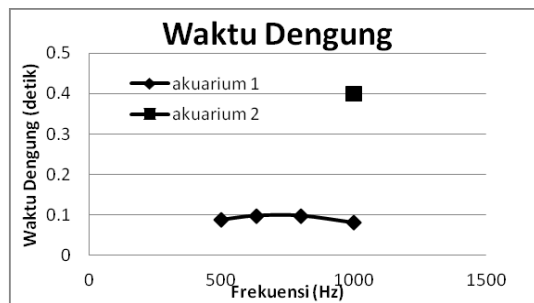
Gambar 24. Grafik nilai *power* sudut 40° terhadap *speaker* di kedalaman sensor 30.4 cm



Gambar 28. Grafik validasi koefisien serap spons

E. *Waktu Dengung*

Waktu dengung dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.1. hasil dapat diperhatikan pada gambar 4.



Gambar 29. Hasil waktu dengung di dimensi akuarium yang berbeda

F. Pembahasan

Dari data yang telah didapatkan bahwa sumber yang dibangkitkan dengan puretone maupun white noise durasinya selama 1 detik terlihat ketika diolah menggunakan FFT. Validasi data ini terbukti setelah rekaman yang berupa data *wavread* diolah menggunakan FFT yaitu pada frekuensi 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz dan 1000 Hz. Sedangkan pada sumber bunyi yang dibangkitkan dengan white noise adalah hasil demodulasi.

Hasil dari *acoustic energy density* menunjukkan bahwa pola dari dua kedalaman yang ditunjukkan pada gambar 18 dan 19 adalah sama penyebaran energi akustik yang artinya hasil tersebut membuktikan bahwa akuarium yang diuji mempunyai nilai waktu dengung.

Hasil untuk sumber bunyi *puretone*, pada sudut 20° , 40° , dan 60° di kedalaman 70.3 cm yang ditunjukkan pada gambar 20, 21, 22 yaitu dekat dengan dasar akuarium (beralaskan spons) bahwa pola yang terutama diterima oleh sensor (*hydrophone*) 3 hampir konsisten. Akan tetapi, setelah dibandingkan dengan yang diterima oleh sensor (*hydrophone*) 1 dan sensor (*hydrophone*) 2 seharusnya pola sama, namun terbukti berbeda. Begitupun pada kedalaman 30.4 cm yang ditunjukkan pada gambar 23, 24, 25 yaitu posisi sensor (*hydrophone*) yang lebih dekat dari permukaan air. Dari perbandingan dua kedalaman yang ditangkap oleh *hydrophone* 1, *hydrophone* 2, dan *hydrophone* 3 adalah sama artinya spons di dasar akuarium cenderung memantulkan suara *speaker*. Selain melihat energi masing-masing yang diterima oleh *hydrophone* di perbedaan kedalaman dan jarak *hydrophone* ke sumber, dapat menentukan sensitivitas *hydrophone* yaitu pada frekuensi 900 Hz.

Hasil demodulasi energi peluruhanya (dB) yang diperoleh pada sumber bunyi *white noise* yang ditunjukkan pada gambar 26 dan 27, diperhatikan pada sensor (*hydrophone*) 3 di kedalaman yang berbeda hasilnya tidak jauh berbeda dan pola yang dihasilkan sama. Semakin dekat jarak *hydrophone* dengan dinding peredam, maka nilai energi yang diperoleh semakin menurun.

Pada gambar 28 adalah hasil nilai koefisien serap spons yang diuji di medium udara di frekuensi 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz dan 1000 Hz mempunyai nilai serap hampir sempurna (mendekati nilai 1). Setelah mengetahui nilai serap benda uji (spons) maka dapat ditentukan nilai waktu dengungnya. Nilai

waktu dengung yang diperoleh dibandingkan antara dimensi akuarium yang berbeda. Akuarium 2 adalah akuarium yang di uji, sedangkan akuarium 3 adalah akuarium pada jurnal [1] dimana akuarium yang dimensinya lebih besar tersebut sebagai tolok ukur akuarium yang di uji. Yang dapat dijadikan tolok ukur adalah di frekuensi 1000 Hz. Dimana antara akuarium yang diuji mempunyai waktu dengung empat kali lebih rendah.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengambilan data, dapat disimpulkan bahwa hasil dari nilai waktu dengung diantara dua dimensi akuarium menyimpulkan bahwa akuarium yang di uji terbukti *anechoic*, yaitu untuk akuarium yang diuji yang berdimensi kecil sebesar 99 milidetik sedangkan pada akuarium berdimensi besar sebesar 399 milidetik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cochard, N., Lacoume, J.L., Arzelies, P., and Gabillet, Y. *Underwater Acoustic Noise Measurement in Test Tank*. IEEE Journal of Oceanic Engineering, October 2000 vol.25, no.4.
- [2] Puspitasari Y. Niken. 2012. *Analisa Perambatan Suara di Bawah Air sebagai Fungsi Kadar Garam dan Suhu pada Akuarium Anechoic*. Institute Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [3] [3] Douglas D. Reynolds. 1981. *Engineering Principles of Acoustics Noise and Vibration Control*. USA.
- [4] [4] Robert J. Urick. 1983. *Principle of underwater sound 3rd edition*. McGraw-Hill.
- [5] [5] Elden F. Ray, 2010. "Modeling Sound Propagation", Journal Industrial Noise Series, part IV