

Prototipe *Hydrophone* untuk Komunikasi Bawah Air

RUSTAMAJI, KANIA SAWITRI, NUR WAHYU HIDAYAT

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : rustamajisaja@gmail.com

Received 28 September 2017 | *Revised* 21 Oktober 2017 | *Accepted* 22 Oktober 2017

ABSTRAK

Dalam pencarian suatu obyek di bawah air dibutuhkan metode khusus yang digunakan dengan suara (gelombang akustik), dikarenakan suara dapat merambat dalam jarak jauh pada air. Frekuensi yang dapat diterima oleh SONAR bergantung pada alat penerima yang mengubah suara menjadi sinyal elektrik agar dapat mendeteksi frekuensi, alat penerima ini dinamakan hydrophone. Dalam penelitian ini dibuat perancangan prototipe hydrophone, yang tersusun dari transducer (akustik-elektrik) dan penguat. Berdasarkan perancangan yang telah dibuat prototipe hydrophone mampu menerima (menangkap) gelombang akustik pada range frekuensi 100 Hz – 60 kHz, dengan menggunakan transducer berupa condenser microphone yang diselimuti oleh bahan karet tipis. Prototipe hydrophone tanpa pelindung anti air, dengan pelindung anti air, dan di dalam air dapat menerima (menangkap) gelombang akustik.

Kata Kunci : SONAR, hydrophone, transducer

ABSTRACT

In finding an object beneath the water there has to be a specific method used sound (accoustic wave) in keeping with it can apread in long distance in the depth of water. The frequency which can be detected by sonar system, counts on the receiver which converts sound to electric signal so that the frequency can be detected and it is called hydrophone. In this research, there is hydrophone prototype which piled up by tranducer and amplifier. Based on the trial, hydrophone prototype can detect accoustic wave in range 100 Hz-60 kHz with the condensor microphone as a transducer covered of thin rubber material. Besides, hydrophone prototype with or without water resistor is still capable to detect acoustic wave.

Keywords: SONAR, hydrophone, transducer

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pencarian suatu obyek di bawah air dibutuhkan metode khusus, metode yang digunakan adalah dengan suara (gelombang akustik) dikarenakan suara dapat merambat dalam jarak jauh pada air. Suara dapat diterima dengan sistem *Sound Navigation and Ranging* (SONAR). SONAR terdiri dari sistem pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) (Ismail, 2012).

Obyek di bawah air dapat mengeluarkan suara dan dapat dideteksi dengan cara mengukur frekuensi gelombang akustik yang diterima oleh SONAR (Winder, 1975). Frekuensi gelombang akustik yang dapat diterima oleh SONAR bergantung pada alat penerima yang akan mengubah suara menjadi sinyal elektrik, alat penerima ini dinamakan *hydrophone* (Rustamaji, 2015). Oleh karena itu, sesuai dengan latar belakang, tujuan penelitian ini adalah untuk merancang prototipe *hydrophone* sebagai penerima gelombang akustik pada frekuensi 100 Hz – 60 kHz.

1.2 Pengertian *Sound and Navigation Ranging* (SONAR)

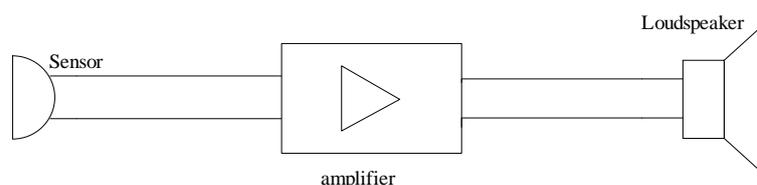
Sound and Navigation Ranging (SONAR) adalah sebuah tipe teknologi propagasi suara yang digunakan dan dikaji khusus bagi kepentingan militer, hampir seluruh dunia menggunakan SONAR untuk keperluan navigasi, komunikasi dan menentukan obyek di bawah air (Hansen, 2009). Frekuensi yang digunakan pada SONAR sangat bervariasi mulai dari yang sangat rendah hingga yang sangat tinggi.

Ada empat metode umum untuk mentransmisikan sinyal di bawah air yaitu melalui optik (cahaya), magnetik, listrik, dan akustik. Transmisi optik (cahaya) jarang digunakan karena air sangat buram terhadap cahaya inframerah dan ultraviolet, serta tidak terlalu transparan untuk cahaya tampak. Transmisi magnetik dapat digunakan tetapi untuk jarak yang tidak terlalu jauh. Elektromagnetik atau gelombang radio jika dilewatkan melalui air akan cepat dilemahkan oleh air, karena air adalah konduktor listrik yang baik. Oleh karena itu digunakan suara yang lebih unggul dari metode yang lain (Osion, 1957).

Hydrophone adalah suatu alat yang dapat menangkap suara di bawah air yang dipancarkan oleh suatu obyek. Komponen utama dari *hydrophone* yaitu *piezoelectric* yang bekerja untuk menangkap suara di dalam air, kemudian suara diperkuat oleh *amplifier*, agar terdengar pada *loudspeaker*. Salah satu jenis *hydrophone* yang sering digunakan terbuat dari *barium titanate*.

2. PERANCANGAN DAN REALISASI

Perancangan prototipe *hydrophone* dibagi menjadi sensor, rangkaian *amplifier*, dan penggabungan dari seluruh rangkaian yang dikuatkan melalui rangkaian *amplifier*. Rancangan diagram blok prototipe *hydrophone* seperti pada Gambar 1.



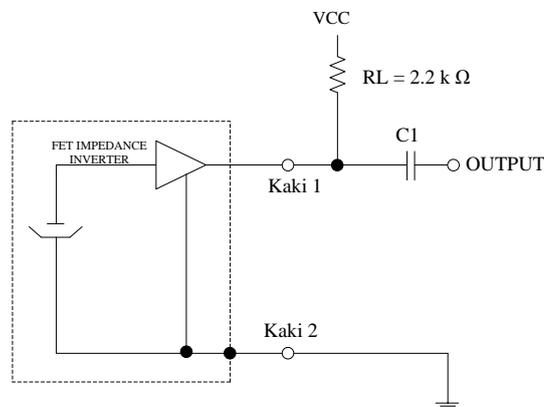
Gambar 1. Diagram Blok Prototipe *Hydrophone*

Spesifikasi rancangan prototipe *hydrophone* yang diinginkan, yaitu :

1. Mampu mendeteksi (menerima) suara (gelombang akustik) pada frekuensi 100 Hz – 60 kHz di dalam air.
2. Sensor untuk mendeteksi suara (gelombang akustik) menggunakan *condenser microphone*.
3. Sensor tahan air menggunakan metoda selubung (diafragma) berupa karet tipis.
4. Menggunakan IC dengan kode LF356 sebagai *operational amplifier*.
5. Menggunakan *power supply* DC 9 volt dari baterai.

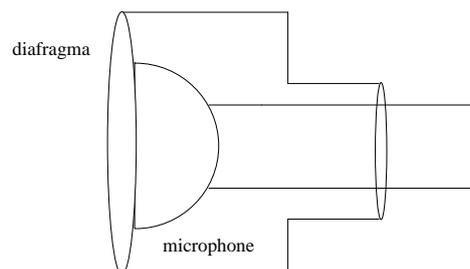
2.1 Sensor

Sensor suara yang digunakan dalam prototipe ini adalah *condenser microphone*, frekuensi yang dapat diterima berada dalam *range* 100 Hz – 20 kHz dari keterangan *datasheet*. Rangkaian ekuivalen dari *condenser microphone* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen *Condenser Microphone*

Agar *condenser microphone* tidak *short circuit* pada saat dimasukkan dalam air, dengan melindungi *condenser microphone* menggunakan pipa pendek dan ditutup dengan diafragma berbahan karet tipis yang kuat, rancangan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan *Microphone Condenser* Anti Air

2.2 Perancangan Rangkaian Penguat (*Amplifier*)

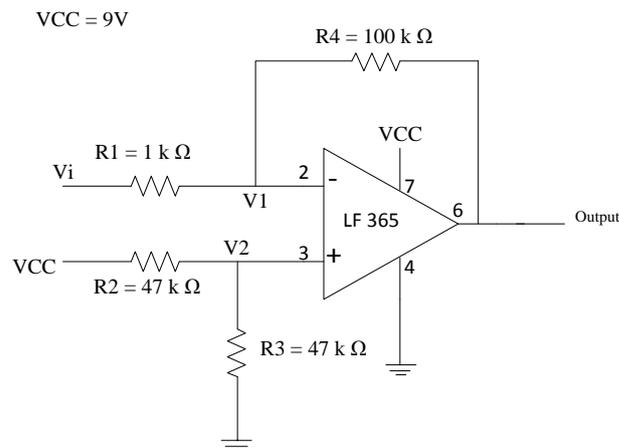
Mode yang digunakan untuk rangkaian ini adalah penguat *inverting*. Rancangan menggunakan op-amp dengan penguatan tegangan:

$$\frac{V_O}{V_I} = -\frac{R_4}{R_1} = -\frac{100 \text{ K}}{1 \text{ K}} = -100 \quad (1)$$

Beberapa komponen yang ditambahkan agar sesuai dengan penguatan yang diinginkan :

$$\begin{aligned}
 V_1 = V_2 &= \frac{1}{2} V_{CC} \\
 \frac{V_i - V_1}{R_1} &= \frac{V_1 - V_o}{R_4} \\
 R_4(V_i - V_1) &= R_1(V_1 - V_o) \\
 R_1 \times V_o &= R_1 \times V_1 + R_4 \times V_1 - R_4 \times V_i = V_1(R_1 + R_4) - R_4 \times V_i \\
 &= \frac{1}{2} V_{CC}(R_1 + R_4) - R_4 \times V_i \\
 V_o &= \frac{\frac{1}{2} V_{CC}(R_1 + R_4)}{R_1} - \frac{R_4}{R_1} \times V_i \tag{2}
 \end{aligned}$$

Rancangan rangkaian penguat dengan op-amp seperti pada Gambar 4.



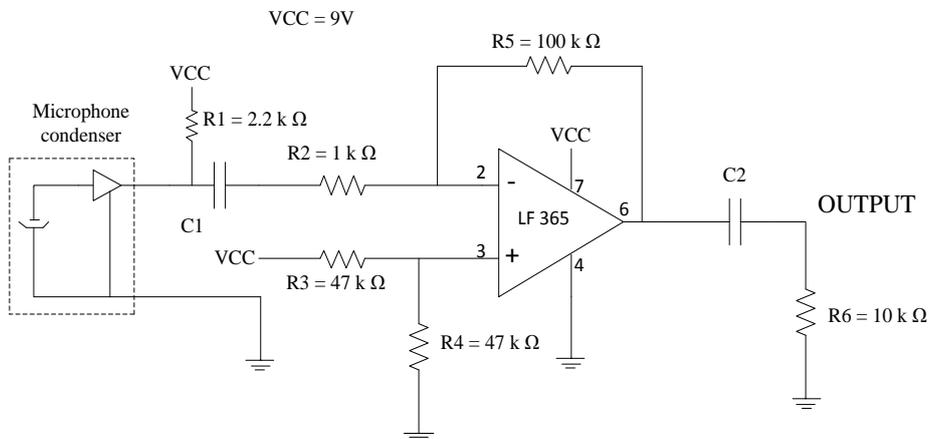
Gambar 4. Rancangan Rangkaian Penguat

Dari Persamaan 2 dengan memasukkan nilai komponen resistor (R_1 , R_2 , R_3 , dan R_4) pada Gambar 4 diperoleh besar penguatan yang dihasilkan yaitu :

$$V_o = \left(\frac{1}{2}V_{CC} \times 101\right) - (100 \times V_i)$$

2.3 Perancangan Rangkaian Prototipe *Hydrophone*

Prototipe *hydrophone* yang dirancang meliputi *condenser microphone* dan rangkaian penguat dengan op-amp. Rangkaian prototipe *hydrophone* yang akan diimplementasikan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan Rangkaian Prototipe *Hydrophone*

Agar prototipe *hydrophone* dapat menerima gelombang akustik (sinyal) frekuensi rendah sebesar 100 Hz, dilakukan perhitungan komponen penentu frekuensi yaitu kapasitor (C_1 dan C_2). Untuk frekuensi 100 Hz, diperoleh kapasitor kopling C_1 :

$$f_{in} = \frac{1}{C_1 \times (R_1 + R_2)} \quad (3)$$

$$100 = \frac{1}{C_1 \times (2.2 \times 10^3 + 1 \times 10^3)}$$

$$C_1 = 3.125 \times 10^{-6} \text{ F}$$

Pada prototipe yang direalisasikan menggunakan kapasitor kopling C_2 sebesar 10 μF , maka frekuensi keluaran minimal yang dapat dilewatkan adalah :

$$f_2 = \frac{1}{C_2 \times (R_L + R_6)} \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{1}{10 \times 10^{-6} \times (2 \times 10^3 + 10 \times 10^3)} = 8.3333333 \text{ Hz}$$

Supaya realisasi prototipe *hydrophone* pada saat dimasukkan dalam air tidak terjadi *short circuit*, prototipe dibungkus dengan kotak yang diberi *shield* berupa karet di setiap celah penutup supaya air tidak masuk, seperti pada Gambar 6.

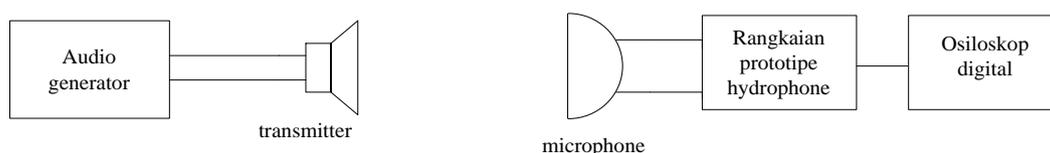


Gambar 6. Realisasi Prototipe Hydrophone

3. PENGUKURAN DAN ANALISIS

3.1 Pengukuran Rangkaian Prototipe *Hydrophone*

Pengukuran sinyal *output* akan dilakukan pada rangkaian prototipe *hydrophone* yang telah dirancang dan diimplementasikan, berupa amplitudo tegangan dan frekuensi sinyal yang bersumber dari *audio* generator yang dipancarkan oleh *transmitter*. Tujuan pengukuran yang diinginkan dari rangkaian prototipe *hydrophone* adalah mampu menangkap (menerima) suara (gelombang akustik) pada frekuensi 100 Hz – 60 kHz. Diagram blok pengukuran rangkaian prototipe *hydrophone* seperti pada Gambar 7.

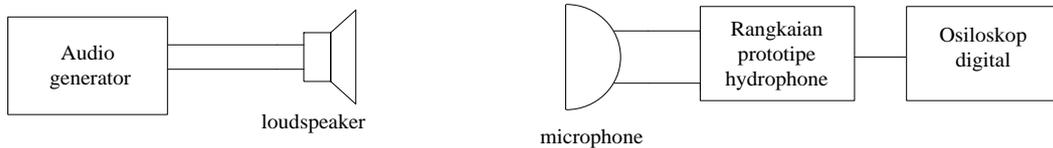


Gambar 7. Diagram Blok Pengukuran Rangkaian Prototipe *Hydrophone*

Dikarenakan batas maksimum frekuensi *loudspeaker* yang dikeluarkan adalah 20 kHz, maka untuk pengukuran 20 kHz – 60 kHz menggunakan *transmitter* yang berbeda, yakni *transducer* ultrasonik. Frekuensi yang dapat dikeluarkan oleh *transducer* ultrasonik berada dalam *range* 40 kHz – 60 kHz.

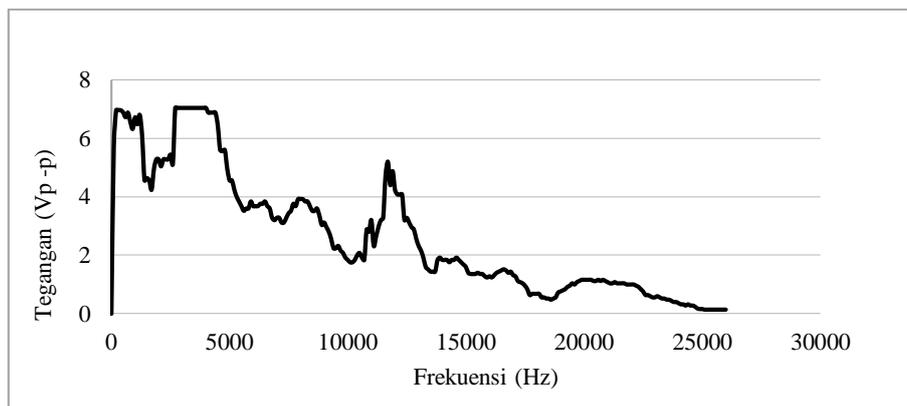
3.1.1 Pengukuran Tanpa Pelindung Anti Air

Pengukuran ini dilakukan untuk mengukur amplitudo tegangan dan frekuensi sinyal yang didapatkan, apakah sesuai dengan yang diinginkan yaitu pada *range* 100 Hz – 20 kHz. Diagram blok pengukuran rangkaian prototipe *hydrophone* tanpa pelindung anti air menggunakan *loudspeaker* sebagai *transmitter*, seperti pada Gambar 8.



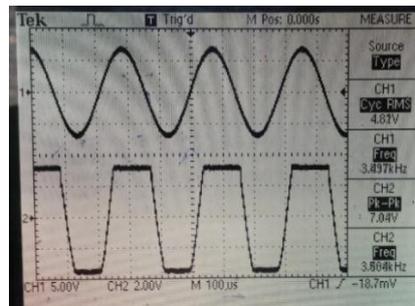
Gambar 8. Diagram Blok Pengukuran Rangkaian Prototipe *Hydrophone* tanpa Pelindung Anti Air dengan *Loudspeaker* Sebagai *Transmitter*

Hasil pengukuran dengan sumber sinyal *sinusoida* sebesar $5 V_{p-p}$ dari *audio* generator diubah-ubah frekuensinya yang dipancarkan melalui *loudspeaker*. Grafik dari respon frekuensi yang diukur seperti pada Gambar 9.



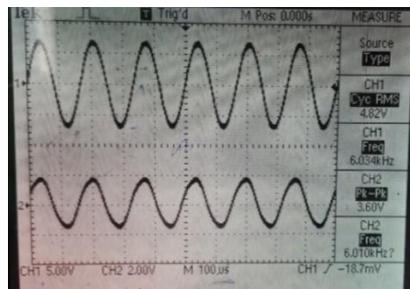
Gambar 9. Grafik Respon Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 100 Hz – 26 kHz tanpa Pelindung Anti Air dengan *Loudspeaker* sebagai *Transmitter*

Pada frekuensi 4 kHz didapat amplitudo tegangan tertinggi sebesar $7.04 V_{p-p}$, tetapi sinyal yang dihasilkan belum sesuai dengan sinyal pada *input*, hal ini dikarenakan pada perancangan rangkaian prototipe *hydrophone* penguatan yang dirancang adalah 100 kali, sehingga besarnya puncak tegangan terpotong, seperti pada Gambar 10.



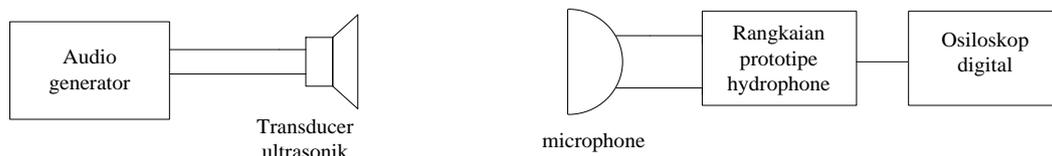
Gambar 10. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 4 kHz tanpa Pelindung Anti Air dengan *Loudspeaker* sebagai *Transmitter*

Pada frekuensi 6 kHz, bentuk sinyal *output* dari rangkaian prototipe *hydrophone* pada ch 2 sesuai dengan bentuk sinyal *input* pada ch 1, seperti pada Gambar 11.



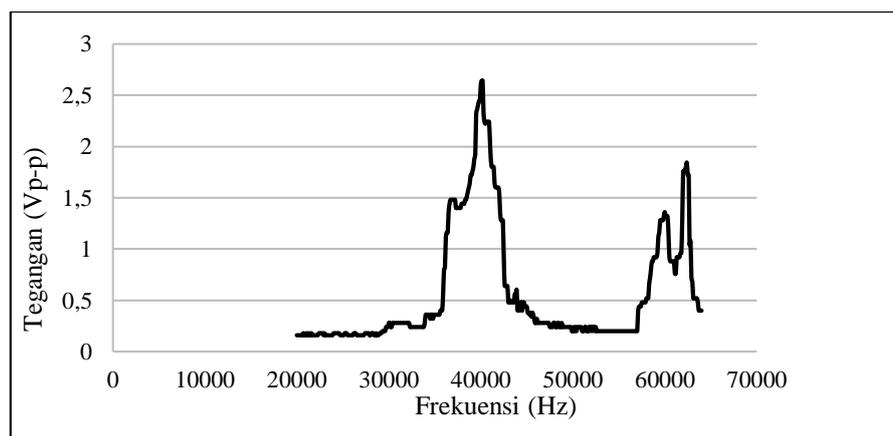
Gambar 11. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 6 kHz Tanpa Pelindung Anti Air dengan *Loudspeaker* Sebagai *Transmitter*

Diagram blok pengukuran rangkaian prototipe *hydrophone* tanpa pelindung anti air menggunakan *transducer* ultrasonik sebagai *transmitter* seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Blok Pengukuran Rangkaian Prototipe *Hydrophone* tanpa Pelindung Anti Air dengan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

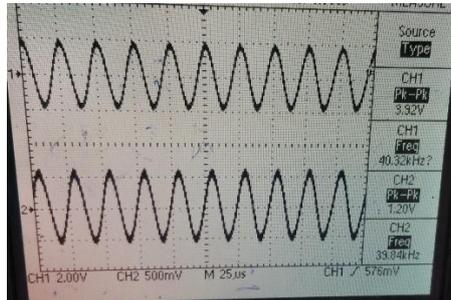
Hasil pengukuran dengan sumber sinyal *sinusoida* sebesar 31 V_{p-p} dari *audio* generator diubah-ubah frekuensinya yang dipancarkan melalui *transducer* ultrasonik. Grafik dari respon frekuensi yang diukur seperti pada Gambar 13.



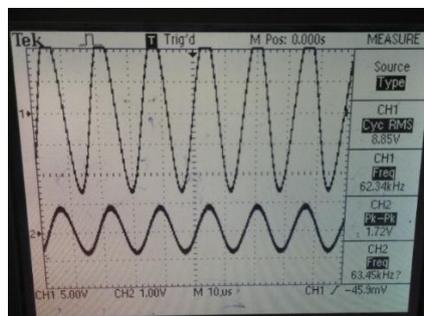
Gambar 13. Grafik Respon Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 20 kHz – 64 kHz tanpa Pelindung Anti Air dengan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

Pada frekuensi 36 kHz – 42 kHz terjadi respon dengan amplitudo tegangan yang paling tinggi pada frekuensi 40.2 kHz sebesar 1.2 V_{p-p} , pada frekuensi 59.4 kHz – 62.9 kHz terjadi respon dengan amplitudo tegangan yang paling tinggi pada frekuensi 62.4 kHz sebesar 1.84

V_{P-P} . Gambar 14 dan 15 memperlihatkan gelombang sinyal *input* dan *output* rangkaian prototipe *hydrophone*.



Gambar 14. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 40.2 kHz Tanpa Pelindung Anti Air dengan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

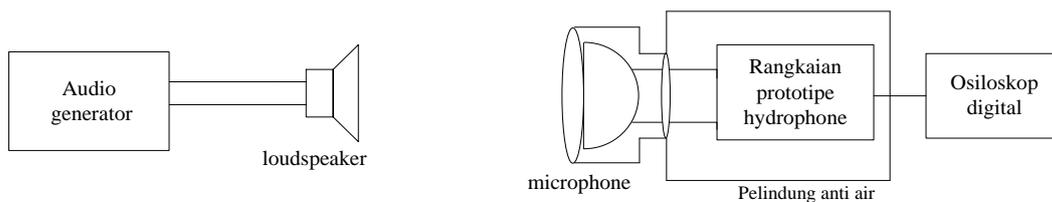


Gambar 15. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 62.4 kHz tanpa Pelindung Anti Air dengan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

Pada Gambar 14 dan 15 bentuk sinyal *output* dari rangkaian prototipe *hydrophone* pada ch 2 sesuai dengan bentuk sinyal *input* pada ch 1 yakni berbentuk sinusoida. Hal ini masih ditoleransi dalam cakupan *range* frekuensi yang diinginkan yaitu 100 Hz – 60 kHz. Walaupun ada beberapa frekuensi yang tidak dapat merespon, hal ini dikarenakan keterbatasan pada *transmitter* yang tidak dapat memancarkan gelombang akustik pada frekuensi tertentu.

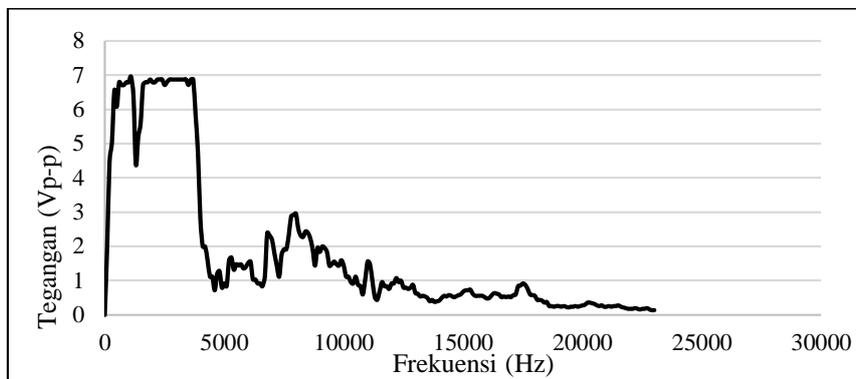
3.1.2 Pengukuran dengan Pelindung Anti Air

Pengukuran ini dilakukan untuk membandingkan apakah ada pengaruh dari pelindung anti air yang mempengaruhi amplitudo tegangan dan frekuensi sinyal. Diagram blok pengukuran rangkaian prototipe *hydrophone* dengan pelindung anti air menggunakan *loudspeaker* sebagai *transmitter* seperti pada Gambar 16.



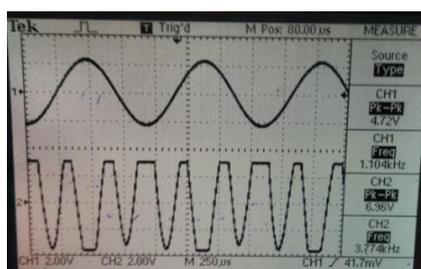
Gambar 16. Diagram Blok Pengukuran Rangkaian Prototipe *Hydrophone* dengan Pelindung Anti Air menggunakan *Loudspeaker* sebagai *Transmitter*

Hasil pengukuran dimana sinyal sinusoida sebesar $5 V_{P-P}$ dari *audio* generator diubah-ubah frekuensinya yang dipancarkan melalui *loudspeaker*. Grafik respon frekuensi yang diukur seperti pada Gambar 17.



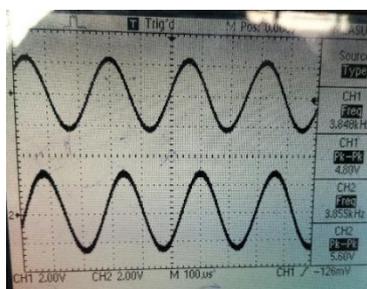
Gambar 17. Grafik Respon Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 100 Hz – 20 kHz dengan Pelindung Anti Air Menggunakan *Loudspeaker* Sebagai *Transmitter*

Pada frekuensi 1.1 kHz, di dapat amplitudo tegangan tertinggi sebesar $6.96 V_{P-P}$, tetapi bentuk sinyal ch 1 sebagai *input* dan ch 2 sebagai *output* belum sesuai, seperti pada Gambar 18.



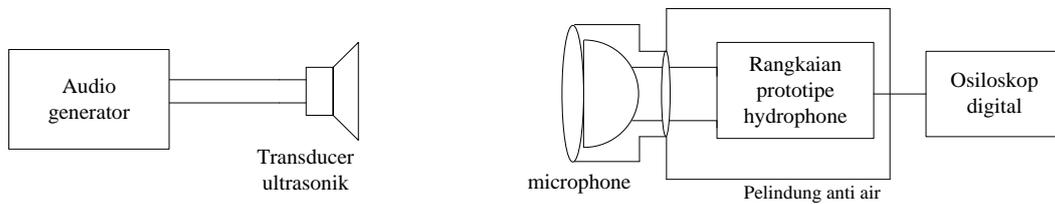
Gambar 18. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 1.1 kHz dengan Pelindung Anti Air Menggunakan *Loudspeaker* Sebagai *Transmitter*

Pada frekuensi 3.8 kHz bentuk sinyal *output* pada ch 2 sesuai dengan bentuk sinyal *input* pada ch 1, berbentuk *sinusoida* dengan amplitudo tegangan sebesar $5.6 V_{P-P}$, seperti pada Gambar 19.



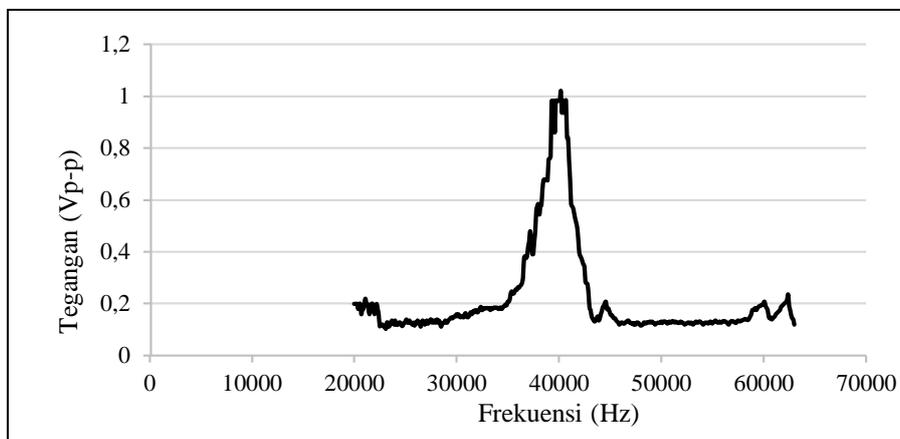
Gambar 19. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 3.8 kHz dengan Pelindung Anti Air menggunakan *Loudspeaker* sebagai *Transmitter*

Diagram blok pengukuran rangkaian prototipe *hydrophone* dengan pelindung anti air menggunakan *transducer* ultrasonik sebagai *transmitter* seperti pada Gambar 20.



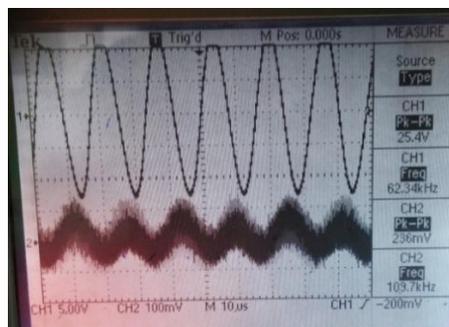
Gambar 20. Diagram Blok Pengukuran Rangkaian Prototipe *Hydrophone* dengan Pelindung Anti Air menggunakan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

Hasil pengukuran dimana sinyal sinusoida sebesar $31 V_{p-p}$ dari *audio* generator diubah-ubah frekuensinya yang dipancarkan *transducer* ultrasonik. Grafik respon frekuensi yang diukur seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Grafik Respon Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada Frekuensi 20 kHz – 63 kHz dengan Pelindung Anti Air menggunakan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

Pada frekuensi 58.7 kHz – 62.7 kHz dapat merespon dengan amplitudo tegangan tertinggi pada frekuensi 62.3 kHz sebesar $0.236 V_{p-p}$, seperti pada Gambar 22.

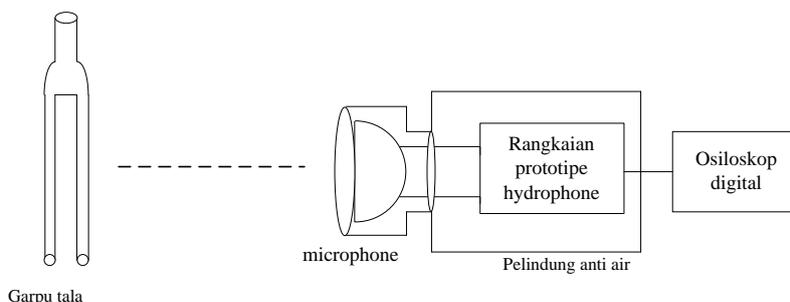


Gambar 22. Gelombang Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian Prototipe *Hydrophone* pada frekuensi 62,3 kHz dengan Pelindung Anti Air menggunakan *Transducer* Ultrasonik sebagai *Transmitter*

Pada percobaan ini, terjadi redaman dan tidak sesuaiya frekuensi pada *range* 58.7 kHz – 62.7 kHz terlihat pada ch 2 sebagai *output*, hal ini disebabkan oleh pelindung diafragma berbahan karet tipis yang menyelimuti *condenser microphone*.

3.2 Pengujian Prototipe *Hydrophone* dalam Air

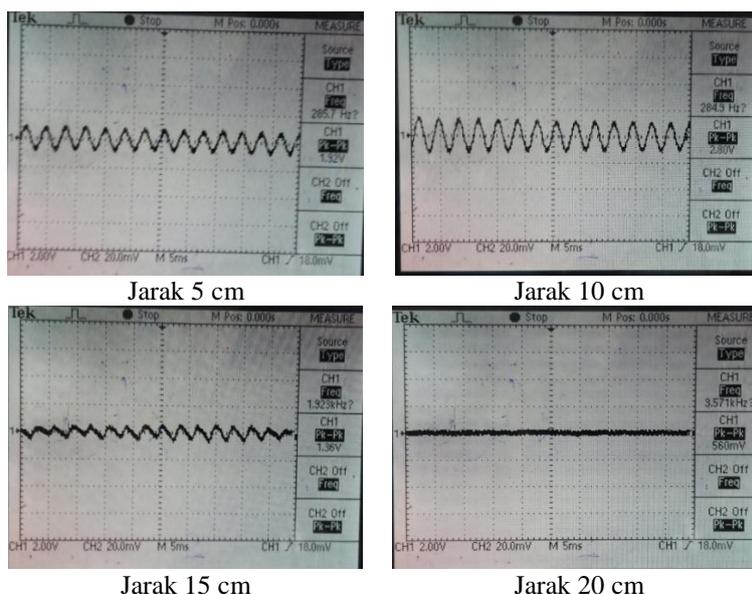
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui prototipe *hydrophone* bekerja sebagaimana alat aslinya yakni mendeteksi suara (gelombang akustik) di dalam air. Diagram blok pengukuran prototipe *hydrophone* menggunakan garpu tala sebagai *transmitter* seperti pada Gambar 23.



Gambar 23. Diagram Blok Pengukuran Prototipe *Hydrophone* menggunakan Garpu Tala sebagai *Transmitter*

Pengukuran ini menggunakan pembangkit getaran atau gelombang akustik (*transmitter*) berupa garpu tala. Pengujian yang dilakukan menggunakan 4 jenis garpu tala yang memiliki frekuensi yang berbeda. Garpu tala menghasilkan getaran berupa sinyal *sinusoida* dengan frekuensi sebesar 320.5 Hz dengan amplitudo tegangan 3.76 V_{P-P} untuk garpu tala 1, frekuensi sebesar 425.5 dengan amplitudo tegangan 1.84 V_{P-P} untuk garpu tala 2, frekuensi sebesar 441 Hz dengan amplitudo tegangan 1.86 V_{P-P} untuk garpu tala 3, dan frekuensi sebesar 433.8 Hz dengan amplitudo tegangan 0.84 V_{P-P} untuk garpu tala 4.

Pengujian prototipe *hydrophone* yang dilakukan menggunakan keempat jenis garpu tala pada setiap jarak 5 cm dalam *range* 5 cm – 20 cm. Respon yang dihasilkan dari prototipe *hydrophone* pada setiap jarak 5 cm untuk garpa tala 1 dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Gelombang sinyal yang Dihasilkan Prototipe *Hydrophone* dengan Garpu Tala 1 sebagai *Transmitter*

Pengujian prototipe *hydrophone* di dalam air menggunakan keempat jenis garpu tala pada jarak 5 cm dan 10 cm prototipe masih dapat merespon. Pada saat garpu tala menjauhi prototipe *hydrophone*, tidak ada respon dari prototipe *hydrophone*, hal ini dikarenakan garpu tala tidak terus-menerus bergetar. Ketika garpu tala dimasukkan di dalam air, getaran garpu tala teredam oleh air, sehingga amplitudo tegangan dalam pengujian prototipe *hydrophone* dalam air berbeda dari garpu tala. Frekuensi yang diterima oleh prototipe *hydrophone* berbeda untuk keempat jenis garpu tala yang telah diuji, hal ini dikarenakan pada saat garpu tala dimasukkan ke dalam air, getaran dari garpu tala ke segala arah permukaan bidang wadah plastik yang berisikan air.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan, merealisasikan rangkaian, mengukur dan menganalisis rangkaian perancangan prototipe *hydrophone*, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Prototipe *hydrophone* yang telah dirancang mampu menangkap (menerima) gelombang akustik dalam *range* frekuensi 100 Hz – 60 kHz yang berasal dari *transmitter* berupa *loudspeaker* dan *transducer* ultrasonik, walaupun ada beberapa frekuensi yang tidak dapat merespon hal ini dikarenakan pada *transmitter* yang digunakan tidak dapat mengeluarkan secara konstan gelombang akustik pada *range* frekuensi 100 Hz – 60 kHz.
2. Dengan menggunakan *condenser microphone* sebagai sensor, rangkaian *hydrophone* dapat menerima (menangkap) gelombang akustik dalam *range* 100 Hz – 60 kHz.
3. Dengan menggunakan diafragma dari bahan karet tipis menyelimuti sensor berupa *condenser microphone*, rangkaian *hydrophone* dapat menerima gelombang akustik dalam *range* frekuensi 100 Hz – 60 kHz.
4. Sinyal *output* prototipe *hydrophone* pada pengujian dalam air memiliki amplitudo tegangan dan frekuensi yang berbeda dengan sumber *transmitter* berupa garpu tala.

DAFTAR RUJUKAN

- Hansen .R. E. (2009). *Course Material to INF-GEO4310*. University Oslo.
- Ismail, S., Permana, D., Pristianto E. J. (2012). *Perancangan Pemancar SONAR untuk Sistem Pendeteksi Kapal Selam*. pp. 21-24.
- Oslon, Harry F. (1957). *Acoustical Engineering*. D. Van Nostrand Company, Inc. New York.
- Rustamaji, Rahmiati, P., Permatasari, S. (2015). *Perancangan Prototipe Receiver Beacon Black Box Locator Acoustic 37,5 kHz Pinger*. Jurnal ELKOMIKA. Bandung.
- Winder, A. A. (1975). *Sonar System Technology*. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics Vol su-22 No. 5. pp. 291-332.