

Perancangan Transmitter Gelombang Akustik pada VLF Band untuk Bawah Air

Kania Sawitri¹, Rustamaji², Rian Mahesa Putra³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Bandung
Jln. P.K.H. Hasan Mustafa No. 24 Bandung, telp/fax 022-7272215
kania@itenas.ac.id¹, rustamajisaja@gmail.com²

Abstrak – Teknologi akustik saat ini banyak digunakan untuk keperluan sarana navigasi, komunikasi, dan pendeteksian. Sinyal akustik dapat dideteksi dan dihasilkan oleh perangkat transducer electroacoustic. Perangkat untuk mengubah energi akustik menjadi energi listrik disebut hydrophones atau received transducer, dan untuk mengubah energi elektrik menjadi energi akustik disebut proyektor atau transmit transducer. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi transmitter (Tx) sinyal akustik pada very low frequency (VLF) band untuk bawah air, terdiri dari pulse signal generator, power amplifier, dan transmit transducer. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian transmitter (Tx): Tx mampu membangkitkan sinyal suara (gelombang akustik) pada rentang frekuensi 12.67 s.d 33.68 kHz; tanpa pelindung anti air mampu memancarkan gelombang akustik (suara) pada rentang frekuensi 13.16 s.d 21.38 kHz, dengan pelindung anti air mampu memancarkan gelombang akustik (suara) pada rentang frekuensi 12.69 s.d 20.75 kHz, dan mampu memancarkan gelombang akustik (suara) di dalam air pada rentang frekuensi 13.10 s.d 18.91 kHz.

Kata Kunci: akustik, pulse signal generator, power amplifier, transmit transducer

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi akustik di bidang komunikasi, pencarian obyek-obyek, dan pengukuran bawah air telah ada jauh sebelum Perang Dunia II. Sinyal radio secara alamiah sulit untuk menembus air, sehingga alternatif lain dibutuhkan suatu sensor jarak jauh untuk pencarian dan pengukuran bawah air. *Sonar (sound navigation and ranging)* sebagai ekuivalen dari *radar (radio detection and ranging)* akustik, untuk pendeteksian bawah air [1].

Pada awalnya, *sonar* dikenal dengan istilah *sonar* pasif, dimana hanya dapat menerima sinyal atau gelombang akustik, tanpa bisa mengirim sinyal. Seiring perkembangan teknologi, *sonar* memiliki kemampuan mengirim dan menerima sinyal akustik, dikenal dengan istilah *sonar* aktif. Dalam pemanfaatannya pada Perang Dunia I, *sonar* hanya digunakan untuk keperluan militer. Pada Perang Dunia II, *sonar* juga digunakan untuk keperluan nonmiliter [2].

Pada mode aktif, *sonar* membangkitkan pulsa energi suara atau akustik yang kuat. Selanjutnya energi tersebut ditransformasikan menjadi suatu *pressure wave* (gelombang tekanan) oleh *transmit transducer*, kemudian dipancarkan ke arah target tertentu. Pulsa tersebut mengenai target dan dipantulkan kembali dalam bentuk *echo* (gema). *Received transducer* bertindak untuk menerima (*to receive*) pantulan gema, dan mengubah kembali tekanan menjadi energi elektrik. Selanjutnya energi elektrik yang sangat lemah diperkuat dan ditampilkan pada layar atau indikator. Jarak ke target ditentukan oleh waktu yang dibutuhkan oleh pulsa untuk memukul target dan kembali lagi, dan besarnya kecepatan suara yang merambat pada air [1].

Pada saat ini, teknologi akustik banyak dimanfaatkan untuk navigasi, komunikasi, pendeteksian, atau pengukuran. Sinyal atau gelombang akustik dapat dibangkitkan dan dideteksi oleh perangkat *electroacoustic transducer*. Perangkat untuk mengubah energi elektrik menjadi

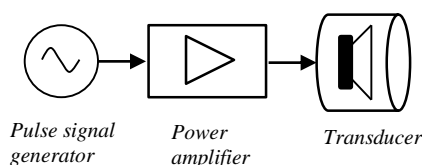
energi akustik disebut *projector* atau *transmit transducer*, dan perangkat untuk mengubah energi akustik menjadi energi elektrik disebut *hydrophones* atau *received transducer* [3].

Beberapa penelitian tentang *transmitter* gelombang akustik yang telah dilakukan, diantaranya: penelitian merancang *acoustic transmitter* menggunakan *impact force* (semacam *electrical hammer*) kedalam *acoustic resonator* untuk membangkitkan suara akustik, tanpa *power amplifier* [4]. Penelitian merancang *high-power mechanical impact transducers* untuk aplikasi *sonar* dan *acoustic* [5]. Penelitian merancang pembangkit sinyal akustik acak berpulsa untuk menghalau hewan laut [6]. Sedangkan pada penelitian ini merancang *transmitter* untuk pembangkit sinyal pulsa, dan *underwater loudspeaker* yang mampu menggetarkan gelombang suara di dalam air dengan menggunakan komponen-komponen elektronik sederhana.

Oleh karena pentingnya fungsi *transmitter* (Tx) gelombang akustik pada pengukuran bawah air, dan masih terbatasnya penelitian mengenai perangkat *transmitter* (Tx) bawah air di Indonesia; maka pada penelitian ini dibahas perancangan *transmitter* (Tx) yang mampu membangkitkan dan memancarkan gelombang akustik (suara) pada *very low frequency* (VLF) band di bawah air, meliputi: perancangan rangkaian *pulse signal generator* (pembangkit sinyal pulsa), rangkaian *power amplifier* (penguat daya), dan *transmit transducer* (tranduser pancar).

2. Metodologi

Pada *transmitter* (Tx) gelombang akustik, untuk dapat membangkitkan dan memancarkan *acoustic wave* (gelombang akustik) di dalam air, harus terdapat bagian: *pulse signal generator* (pembangkit sinyal pulsa) untuk membangkitkan sinyal pulsa pada *very low frequency* (VLF) band, *power amplifier* (penguat daya) untuk memperkuat sinyal pulsa, dan *transmit transducer* (tranduser pancar) untuk mengubah sinyal pulsa menjadi gelombang akustik dan memancarkannya di dalam air. Diagram blok *transmitter* (Tx) gelombang akustik, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok *transmitter* (Tx)

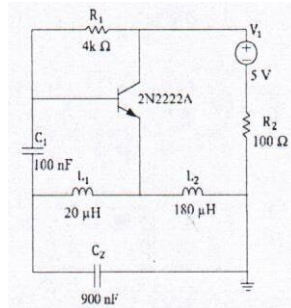
Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah, perancangan dan realisasi “*Transmitter* (Tx) yang mampu membangkitkan dan memancarkan gelombang akustik pada *very low frequency* (VLF) band di dalam air” meliputi: perancangan dan realisasi rangkaian *pulse signal generator*, *power amplifier*, dan *transmit transducer*.

Spesifikasi *transmitter* (Tx) yang direncanakan:

1. *Pulse signal generator* berupa osilator *Hartley* yang mampu membangkitkan sinyal pada *very low frequency* (VLF) band atau frekuensi 3 s.d 30 kHz.
2. *Power amplifier* menggunakan transistor tipe 2N3055 dan *output transformer* (OT).
3. *Transmit transducer* berupa *audio loudspeaker* yang dimodifikasi dengan memasang membran tipis dari bahan lateks, sehingga dapat memancarkan gelombang akustik di dalam air.
4. Rangkaian *transmitter* (Tx) dilindungi dari air menggunakan wadah plastik.
5. *Transmitter* (Tx) mampu membangkitkan gelombang akustik pada *very low frequency* (VLF) band.
6. *Transmitter* (Tx) atau *transmit transducer* mampu memancarkan gelombang akustik di dalam air.

2.1. Perancangan dan Realisasi Pulse Signal Generator

Rangkaian *pulse signal generator* yang dirancang berupa osilator *Hartley*, untuk membangkitkan sinyal pulsa pada *very low frequency* (VLF) band atau frekuensi 3 s.d 30 kHz; direalisasikan menggunakan transistor tipe 2N2222A, seperti pada Gambar 2 [7].



Gambar 2. Realisasi rangkaian *pulse signal generator* berupa osilator *Hartley*

Besarnya frekuensi keluaran osilator *Hartley* dapat dihitung menggunakan persamaan [8]:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_2 \cdot L_T}} \text{ Hz} \tag{1}$$

dimana:

$$L_T = L_1 \text{ seri } L_2 = L_1 + L_2 = 20 \mu\text{H} + 180 \mu\text{H} = 200 \mu\text{H}$$

$$C_2 = 900 \text{ nF}$$

Sehingga:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{(900 \times 10^{-9}) \cdot (200 \times 10^{-6})}} = 11.862 \text{ kHz}$$

Pada realisasinya digunakan nilai C_2 yang berbeda-beda untuk menghasilkan frekuensi f_o .

Sedangkan besarnya *loop gain*:

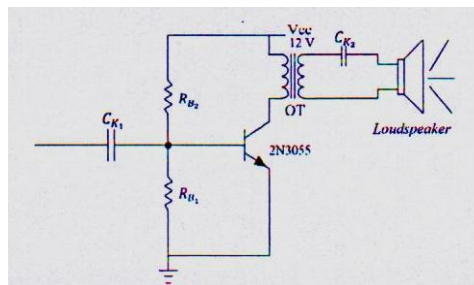
$$A_V (\text{loop}) = g_m R_L \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \tag{2}$$

dengan $g_m = 0.0015 \text{ A/V}$, dan $R_L = 450 \Omega$, diperoleh: $A_V (\text{loop}) = 6.075$

Nilai $A_V (\text{loop})$ sudah memenuhi syarat terjadinya osilasi, yakni: $A_V (\text{loop}) = 6.075 \geq 1$.

2.2. Rangkaian Power Amplifier

Rangkaian *power amplifier* yang dirancang untuk memperkuat sinyal keluaran osilator *Hartley*, berupa *OT power amplifier*. Direalisasikan menggunakan transistor tipe 2N3055 dan *output transformer* (OT). Sinyal keluaran *power amplifier* digunakan untuk menggerakkan *transmit transducer* berupa *audio loudspeaker* yang dimodifikasi. Realisasi *OT power amplifier* seperti pada Gambar 3 [9].



Gambar 3. Realisasi *OT power amplifier*

Besar penguatan *power amplifier* ditentukan oleh komponen R_{B1} , R_{B2} , dan $R_{OT} = 25 \Omega$, seperti pada Gambar 3 [10].

Dari *loop output*:

$$-V_{CC} + V_{RC} + V_{CEQ} = 0$$

untuk transistor 2N3055 dengan data: $I_{Cmax} = 15 \text{ A}$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $V_{CEQ} = 6 \text{ V}$, $\beta = 70$ diperoleh: $I_C = 0.24 \text{ A}$, dan $I_B = 0.00343 \text{ A}$.

Dari *loop input*:

$$-V_{TH} + V_{RTH} + V_{BE} = 0$$

$$-\left(\frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}\right)V_{CC} + \left(\frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}\right)I_B + V_{BE} = 0$$

dengan data $R_{B1} = 244 \Omega$, $R_{B2} = 20 \text{ k}\Omega$, $I_B = 0.00343 \text{ A}$

$$V_{RTH} = \left(\frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}\right)I_B = \left(\frac{244 \cdot 20000}{244 + 20000}\right)0.00343 = 0.83 \text{ V}$$

Sehingga diperoleh penguatan tegangan dari *power amplifier* secara perhitungan:

$$A_V = \frac{V_C}{V_{RTH}} = \frac{6}{0.83} = 7.23$$

Besarnya kapasitor kopling C_{k1} untuk frekuensi $f = 11.862 \text{ kHz}$, dengan $R_1 = 20 \Omega$ adalah:

$$C_{k1} = \frac{1}{2\pi f \left(R_1 + \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}\right)} = \frac{1}{2\pi(11.862 \times 10^3) \cdot \left(20 + \left(\frac{20000 \cdot 244}{20000 + 244}\right)\right)} = 0.0514 \mu\text{F}$$

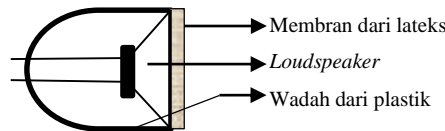
Besarnya kapasitor kopling C_{k2} untuk frekuensi $f = 35.588 \text{ kHz}$, dengan impedansi *output transformer* = 23Ω , dan beban berupa *loudspeaker* dengan impedansi = 4Ω adalah:

$$T = 1/f = R \cdot C_{k2} \tag{3}$$

$$C_{k2} = \frac{1}{R \cdot f} = \frac{1}{27 \cdot 35.588 \times 10^3} = 1.04 \mu\text{F}$$

2.3. Perancangan *Transmit transducer*

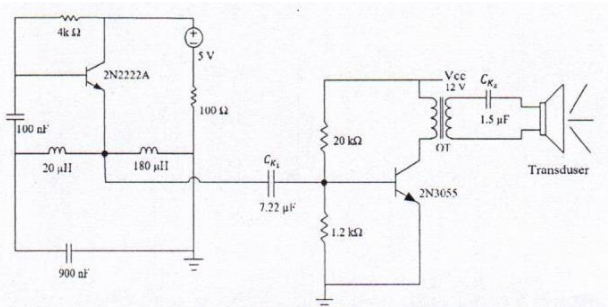
Transmit transducer yang dirancang untuk mengubah sinyal elektrik keluaran *power amplifier* menjadi gelombang akustik (suara), sehingga dapat dipancarkan di dalam air. Direalisasikan berupa *audio loudspeaker* (impedansi 4Ω) yang dimodifikasi dengan memasang membran tipis dari bahan lateks pada bagian corong *loudspeaker*, sehingga dapat memancarkan gelombang akustik dan mampu bekerja di dalam air. Skematik rancangan *transmit transducer*, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik rancangan *transmit transducer*

2.4. Perancangan *Transmitter (Tx) Gelombang Akustik*

Rancangan Tx gelombang akustik, direalisasikan dengan menggabungkan rangkaian osilator *Hartley*, *power amplifier*, dan *transmit transducer*, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Realisasi rangkaian *transmitter (Tx) gelombang akustik*

Pada realisasinya, untuk dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 3 s.d 30 kHz, komponen yang digunakan pada Tx adalah: $R_{B1} = 1.2 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 20 \text{ k}\Omega$, $C_{k1} = 7.22 \mu\text{F}$, $C_{k2} = 1.5 \mu\text{F}$. Untuk mencegah terjadinya *short circuit* pada rangkaian saat di dalam air, rangkaian Tx dibungkus dalam wadah plastik berbentuk bundar dengan tinggi 7.5 cm dan diameter 10.5 cm.

Loudspeaker dimodifikasi menjadi *transmit transducer*, dengan memasang membran tipis dari bahan lateks pada bagian corong *loudspeaker*, sehingga tahan air dan dapat menghantarkan gelombang akustik di dalam air. Skematik dan realisasi rangkaian Tx dalam wadah plastik, seperti pada Gambar 6(a) dan (b).



Gambar 6. (a) Skematik, (b) Realisasi *transmitter* (Tx) dalam wadah plastik

3. Pengukuran dan Analisis

3.1. Pengukuran *Transmitter* (Tx) Sinyal Akustik

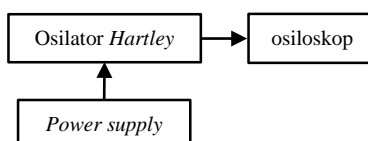
Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui karakteristik rangkaian penyusun Tx dan kemampuannya dalam memancarkan gelombang akustik, pada saat di luar maupun di dalam air. Pengukuran rangkaian Tx yang dilakukan, meliputi:

- Pengukuran tegangan dan frekuensi sinyal keluaran rangkaian *pulse signal generator*, *power amplifier*, dan *transmit transducer*.
- Pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) tanpa pelindung anti air.
- Pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) dengan pelindung anti air.
- Pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) di dalam air.

Pada pengujian di luar dan di dalam air, di sisi kirim adalah *transmitter* (Tx) gelombang akustik, sedangkan di sisi terima sebagai *receiver* (Rx) digunakan *hydrophone* [11].

3.1.1. Pengukuran Rangkaian *Pulse Signal Generator*

Pengukuran untuk mengetahui amplitudo dan frekuensi sinyal keluaran dari rangkaian *pulse signal generator* yang realisasinya berupa rangkaian osilator *Hartley*. Secara teoritis, bentuk sinyal keluaran osilator *Hartley* berupa sinusoida. Diagram blok pengukuran osilator *Hartley*, seperti pada Gambar 7.



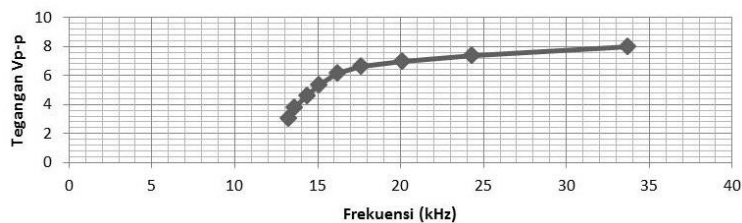
Gambar 7. Diagram blok pengukuran rangkaian osilator *Hartley*

Dengan nilai kapasitor C_2 antara 900 s.d 100 nF dari perhitungan hasil perencanaan osilator *Hartley*, diperoleh rentang frekuensi keluaran antara 11.862 s.d 35.588 kHz. Sedangkan dari hasil pengukuran, diperoleh rentang frekuensi keluaran antara 13.23 s.d 33.68 kHz. Hasil perhitungan dan pengukuran frekuensi keluaran osilator *Hartley* seperti pada tabel 1.

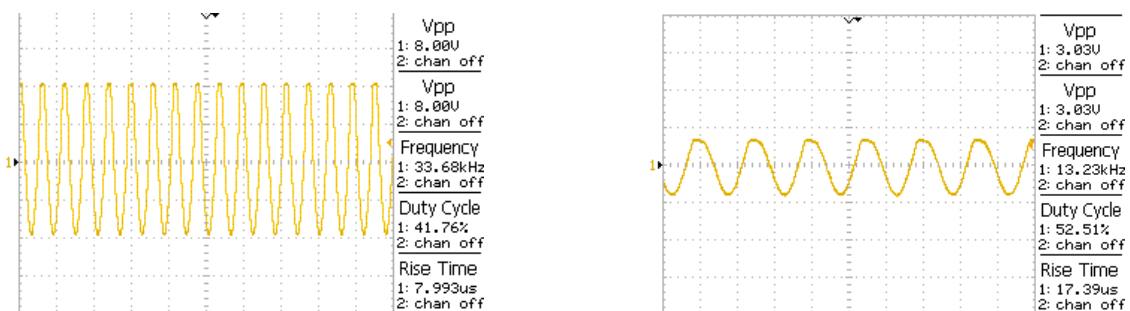
Tabel 1. Hasil perhitungan dan pengukuran sinyal keluaran osilator *Hartley* untuk nilai kapasitor 900 s.d 100 nF

Kapasitor (nF)	Hasil Perhitungan	Hasil Pengukuran	
	Frekuensi (kHz)	Frekuensi (kHz)	Tegangan (V_{p-p})
900	11.862	13.23	3.03
800	12.582	13.62	3.75
700	13.451	14.37	4.63
600	14.528	15.06	5.36
500	15.915	16.18	6.15
400	17.794	17.61	6.63
300	20.546	20.08	6.96
200	25.164	24.33	7.36
100	35.588	33.68	8.00

Terdapat sedikit perbedaan pada besarnya frekuensi yang diperoleh dari hasil perhitungan dan pengukuran, hal ini disebabkan karena nilai toleransi yang dimiliki oleh setiap komponen, menyebabkan frekuensi yang dihasilkan tidak sama. Dari hasil pengukuran untuk kapasitor C_2 antara 200 s.d 900 nF diperoleh frekuensi keluaran osilator *Hartley* sebesar 13.23 s.d 24.33 kHz, dimana nilai ini masih masuk dalam range *VLF band*. Grafik respons frekuensi keluaran osilator *Hartley* seperti pada Gambar 8.

Gambar 8. Grafik respons frekuensi keluaran hasil pengukuran dari osilator *Hartley*

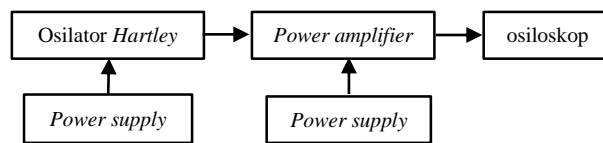
Sinyal keluaran osilator *Hartley* mempunyai tegangan tertinggi = 8.00 V_{p-p} pada frekuensi 33.68 kHz, dan tegangan terendah sebesar 3.03 V_{p-p} pada frekuensi 13.23 kHz. Sinyal keluaran rangkaian osilator *Hartley* pada tegangan tertinggi dan tegangan terendah berbentuk sinusoidal, seperti pada Gambar 9(a) dan (b).

Gambar 9. Sinyal keluaran rangkaian osilator *Hartley*

(a). Tegangan 8.00 V_{p-p} pada frekuensi 33.68 kHz (b). Tegangan 3.03 V_{p-p} pada frekuensi 13.23 kHz

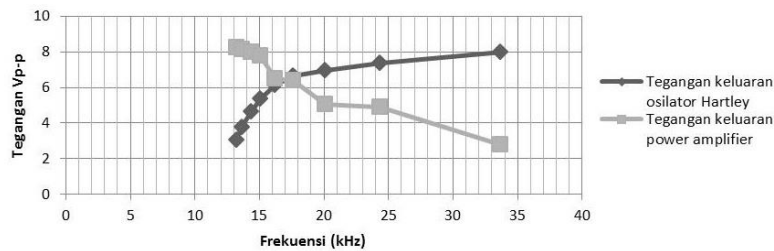
3.1.2. Pengukuran Rangkaian *Power Amplifier*

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui besarnya penguatan tegangan pada *power amplifier* tanpa impedansi beban. Diagram blok pengukuran *power amplifier* dengan diberi masukan dari rangkaian osilator *Hartley*, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram blok pengukuran *power amplifier*

Dari hasil pengukuran dapat diketahui besarnya penguatan tegangan rangkaian *power amplifier*. Grafik perbandingan respon frekuensi keluaran rangkaian osilator *Hartley* dan keluaran *power amplifier*, seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik perbandingan respons frekuensi keluaran rangkaian osilator *Hartley* dan *power amplifier*

Dari Gambar 11, sinyal keluaran *power amplifier* mempunyai tegangan tertinggi = $8.23 V_{p-p}$ pada frekuensi 12.97 kHz, dan tegangan terendah = $2.79 V_{p-p}$ pada frekuensi 32.77 kHz. Penguatan tegangan tertinggi dari *power amplifier* = $8.23/3.03 = 2.72$ kali terjadi pada frekuensi 12.97 kHz. Mulai terjadi penurunan tegangan pada frekuensi 17 kHz, dikarenakan *power amplifier* hanya mampu menguatkan sinyal pada frekuensi kurang dari 20 kHz. Tegangan tertinggi dan tegangan terendah dari sinyal keluaran *power amplifier* seperti pada Gambar 12(a) dan (b).

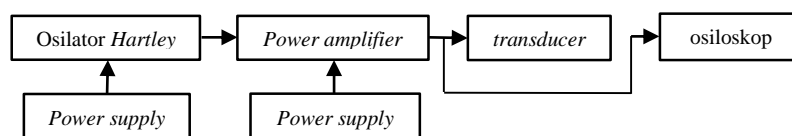


Gambar 12. Sinyal keluaran rangkaian *power amplifier*
 (a). Tegangan $8.23 V_{p-p}$ dan frekuensi 12.97 kHz (b). Tegangan $2.79 V_{p-p}$ dan frekuensi 32.77 kHz

Dari Gambar 12(a) dan (b) terlihat, sinyal keluaran dari rangkaian *power amplifier* berbentuk bergerigi, tidak sesuai dengan yang diharapkan, berupa sinusoida. Hal ini dikarenakan rangkaian *power amplifier* belum diberi impedansi beban yang sesuai.

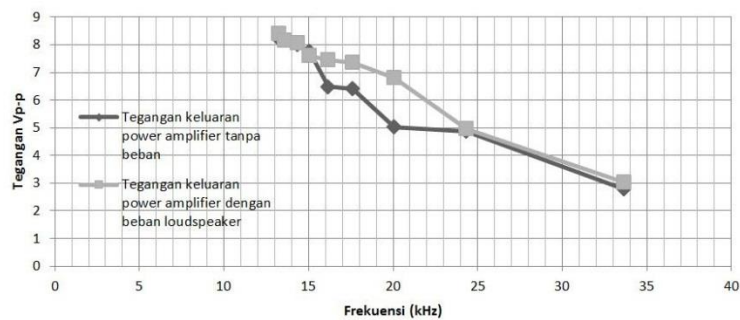
3.1.3. Pengukuran Rangkaian *Transmit transducer*

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui sinyal keluaran *power amplifier* setelah diberi beban berupa *transmit transducer* (*loudspeaker* dengan impedansi = 4Ω), dan gelombang akustik (suara) yang dihasilkan oleh *transmit transducer*. Diagram blok pengukuran *transmit transducer*, seperti pada Gambar 13.



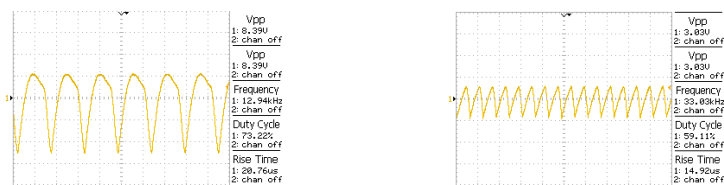
Gambar 13. Diagram blok pengukuran *transmit transducer*

Grafik respon frekuensi keluaran *power amplifier*, antara hasil pengukuran *power amplifier* tanpa beban dengan *power amplifier* diberi beban berupa *loudspeaker*, seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan grafik respon frekuensi keluaran rangkaian *power amplifier* tanpa beban dan dengan beban *loudspeaker*

Dari Gambar 14, terlihat terjadi sedikit kenaikan tegangan pada keluaran *power amplifier* antara 7.44 s.d 6.80 V_{p-p} pada rentang frekuensi 15.98 s.d 20.06 kHz, pada saat diberi beban berupa *loudspeaker*. Sinyal keluaran *power amplifier* (sebagai masukan *transmit transducer*) pada tegangan tertinggi dan tegangan terendah seperti pada Gambar 15(a) dan (b).



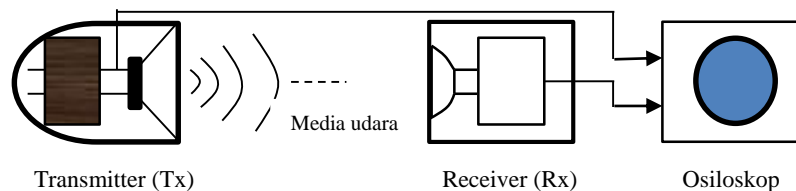
Gambar 15. Sinyal keluaran rangkaian *power amplifier*

(a). Tegangan 8.39 V_{p-p} dan frekuensi 12.94 kHz (b). Tegangan 3.03 V_{p-p} dan frekuensi 33.03 kHz

Dari Gambar 15(a), terlihat bentuk sinyal keluaran *power amplifier* (sebagai masukan *transmit transducer*) sudah menyerupai sinusoida. Hal ini dikarenakan antara *power amplifier* dan *loudspeaker* dipasang kapasitor kopling sebesar 1.5 μF , sehingga impedansi *power amplifier* sesuai (*match*) dengan impedansi *loudspeaker*. Dari Gambar 15(b), semakin tinggi frekuensi, semakin kecil amplitudo sinyal keluaran *power amplifier*. Dengan uji dengar secara langsung, *transmit transducer* ini sudah dapat bekerja mengeluarkan gelombang akustik (suara) dan terdengar oleh telinga hingga frekuensi 20 kHz.

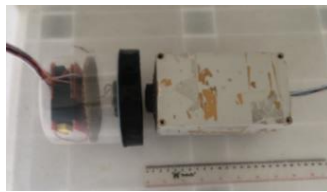
3.2. Pengukuran dan Pengujian *Transmitter* (Tx) Tanpa Pelindung Anti Air

Pengukuran dan pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kerja *transmitter* (Tx) memancarkan gelombang akustik (suara), dan dapat diterima oleh *receiver* (Rx) pada jarak tertentu. Pada pengukuran ini dipasang beban berupa *transmit transducer* (*loudspeaker* dengan impedansi = 4 Ω) tanpa menggunakan pelindung anti air. Diagram blok pengukuran dan pengujian rangkaian Tx tanpa pelindung anti air, seperti pada Gambar 16.



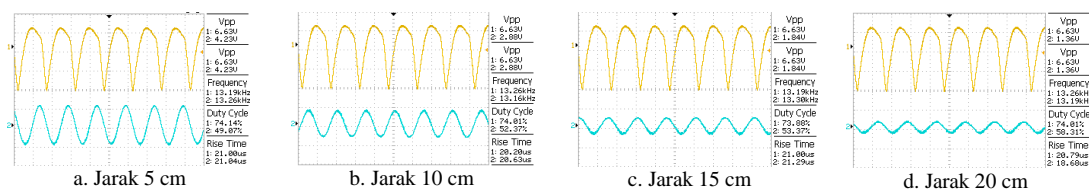
Gambar 16. Diagram blok pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) tanpa pelindung anti air

Pengukuran dan pengujian Tx dilakukan di dalam bak dengan panjang 55 cm dan tinggi 35 cm tanpa berisi air, sebagai *receiver* (Rx) di sisi terima digunakan *hydrophone*. Tata letak pengukuran dan pengujian rangkaian Tx tanpa pelindung anti air, seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Tata letak pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) tanpa pelindung anti air

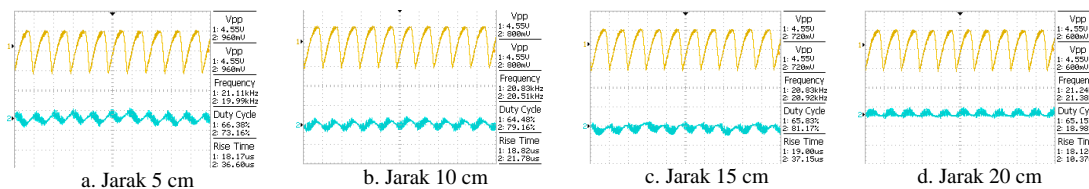
Sinyal hasil pengukuran dan pengujian Tx pada frekuensi 13.19 kHz, dilakukan untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm, seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) pada frekuensi 13.19 kHz, untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm

Dari Gambar 18, Rx mampu menerima sinyal dari Tx dengan baik pada tegangan = $6.63 V_{p-p}$, dan tegangan sinyal keluaran Rx = 4.23 s.d 1.36 V_{p-p} untuk jarak 5 s.d 20 cm. Hal ini dikarenakan *transmit transducer* (*loudspeaker*) di Tx dapat menghasilkan suara dengan jelas, sehingga sinyal dapat diterima oleh Rx dengan baik.

Selanjutnya pengukuran dan pengujian Tx pada frekuensi 20.83 kHz. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm, seperti pada Gambar 19.



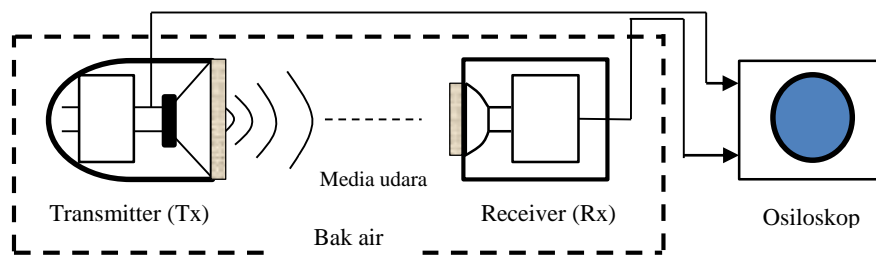
Gambar 19. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx) pada frekuensi 20.83 kHz untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm

Dari Gambar 19, Rx tidak mampu menerima sinyal yang dikirimkan Tx, pada tegangan sebesar $4.55 V_{p-p}$. Hal ini dikarenakan *transmit transducer* (*loudspeaker*) di Tx tidak mampu menghasilkan suara dengan jelas pada frekuensi lebih dari 20 kHz. Tegangan keluaran pada Rx = 960 s.d 600 mV_{p-p} .

Pengukuran dan pengujian pada frekuensi 32.26 kHz, Rx sama sekali tidak mampu menerima sinyal, karena *transmit transducer* (*loudspeaker*) di Tx tidak mampu menghasilkan suara pada frekuensi tersebut, sehingga tidak dapat memancarkan gelombang akustik (suara).

3.3. Pengukuran dan Pengujian *Transmitter* (Tx) dengan Pelindung Anti Air.

Untuk mengetahui kemampuan kerja Tx dengan pelindung anti air di luar air, dilakukan pengukuran dan pengujian Tx dengan pelindung anti air, seperti pada Gambar 20.



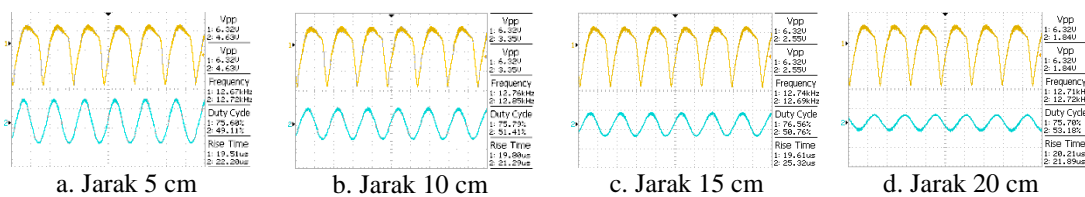
Gambar 20. Diagram blok pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) dengan pelindung anti air

Pada pengukuran dan pengujian Tx ini, *transmit transducer* berupa *audio loudspeaker* sudah dimodifikasi dengan memasang membran tipis dari bahan lateks pada corong *loudspeaker*, sehingga dapat memancarkan gelombang akustik di dalam air. Hal ini dilakukan untuk melihat kemampuan kerja Tx di luar air, sebelum dilakukan pengujian di dalam air. Pengukuran dan pengujian dilakukan di dalam bak dengan panjang 55 cm dan tinggi 35 cm tanpa berisi air, seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Tata letak pengukuran dan pengujian rangkaian *transmitter* (Tx) dengan pelindung anti air

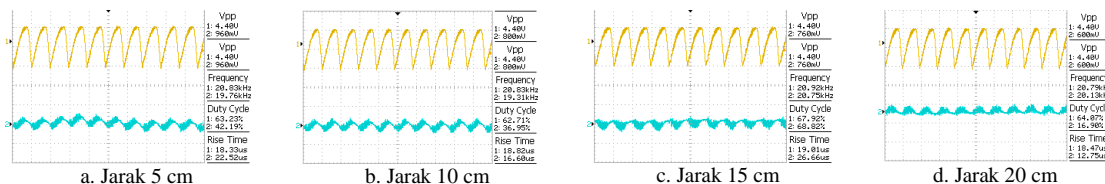
Sinyal hasil pengukuran dan pengujian Tx dan *receiver* (Rx) pada frekuensi 12.67 kHz dilakukan untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm, seperti pada Gambar 22.



Gambar 22. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) pada frekuensi 12.67 kHz untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm

Dari Gambar 22, Rx mampu menerima sinyal dari Tx dengan baik pada tegangan sebesar $6.32 V_{p-p}$. Hal ini dikarenakan *transmit transducer* pada Tx dapat menghasilkan suara dengan jelas, sehingga sinyal dapat diterima oleh Rx dengan baik. Tegangan keluaran Rx = 4.63 s.d $1.84 V_{p-p}$.

Selanjutnya pengukuran dan pengujian Tx pada frekuensi 20.79 kHz. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian Tx untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm, seperti pada Gambar 23.



Gambar 23. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) pada frekuensi 20.79 kHz untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm

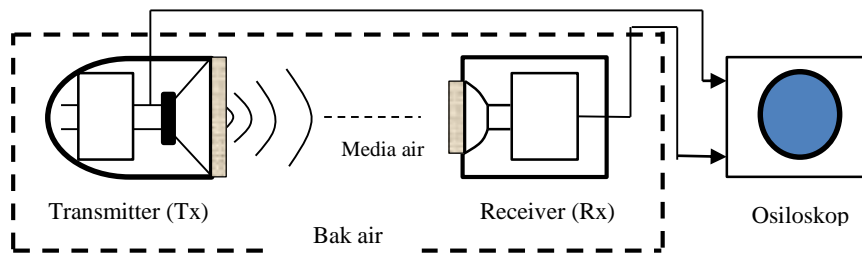
Dari Gambar 23, Rx tidak mampu menerima sinyal yang dikirimkan Tx pada tegangan sebesar $4.40 V_{p-p}$. Hal ini dikarenakan *transmit transducer* di Tx tidak mampu menghasilkan

suara dengan jelas pada frekuensi lebih dari 20 kHz. Tegangan keluaran pada Rx = 960 s.d 600 mV_{p-p}.

Pada frekuensi 32.79 kHz, Rx sama sekali tidak mampu menerima sinyal karena *transmit transducer* di Tx tidak mampu menghasilkan suara pada frekuensi lebih dari 20 kHz, sehingga tidak dapat memancarkan gelombang akustik (suara). Dari pengukuran dan pengujian dapat dikatakan, penggunaan membran tipis dari bahan lateks pada *transmit transducer (loudspeaker)* berfungsi dengan benar untuk meneruskan getaran akustik melalui udara sampai ke Rx.

3.4. Pengukuran dan Pengujian Transmitter (Tx) di dalam Air

Pengukuran dan pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kerja Tx sebagaimana alat aslinya untuk menghasilkan gelombang akustik (suara) pada saat di dalam air. Diagram blok pengukuran dan pengujian Tx di dalam air seperti pada Gambar 24.



Gambar 24. Diagram blok pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) di dalam air

Pada pengukuran ini, *transmit transducer* berupa *audio loudspeaker* sudah dimodifikasi dengan memasang membran tipis dari bahan lateks pada corong *loudspeaker*, sehingga dapat memancarkan gelombang akustik di dalam air. Pengukuran dan pengujian dilakukan di dalam air pada sebuah bak dengan panjang 55 cm dan tinggi 35 cm. Pengukuran dan pengujian Tx di dalam air, seperti pada Gambar 25.

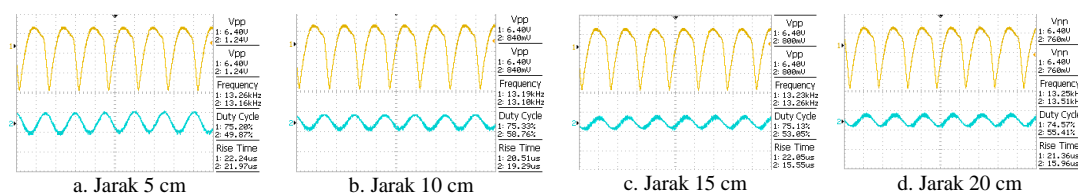


Gambar 25. Pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) di dalam air

Tabel 2. Hasil pengukuran sinyal keluaran *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx) di dalam air

Kapasitor (nF)	Jarak 5 cm				Jarak 10 cm				Jarak 15 cm				Jarak 20 cm			
	Tx		Rx		Tx		Rx		Tx		Rx		Tx		Rx	
	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)	Teg (V _{p-p})	Frek (Hz)
900	6.4	13.26	1.24	13.16	6.4	13.19	0.84	13.19	6.4	13.23	0.8	13.23	6.4	13.25	0.76	13.25
800	6.32	13.58	1.12	13.85	6.32	13.79	1.0	13.74	6.32	13.76	0.8	13.51	6.32	13.76	0.72	13.85
700	6.15	14.53	0.92	14.75	6.15	14.49	0.84	14.4	6.15	14.49	0.72	14.4	6.15	14.54	0.6	14.77
600	5.92	15.66	0.88	15.96	5.92	15.34	0.76	15.34	5.92	15.51	0.52	15.31	5.92	15.75	0.44	15.48
500	5.67	16.56	0.88	16.75	5.67	16.56	0.72	16.12	5.67	16.61	0.68	16.49	5.67	16.62	0.64	16.34
400	5.59	18.18	0.8	18.91	5.59	18.32	0.76	18.59	5.59	18.25	0.72	18.91	5.59	18.18	0.6	18.15
300	4.23	21.01	0.72	-	4.23	20.95	0.64	-	4.23	21.1	0.56	-	4.23	20.95	0.48	-
200	3.2	25.52	0.64	-	3.2	25.38	0.56	-	3.2	25.67	0.48	-	3.2	25.38	0.4	-
100	3.11	32.88	0.64	-	3.11	32.4	0.56	-	3.11	32.56	0.48	-	3.11	32.33	0.4	-

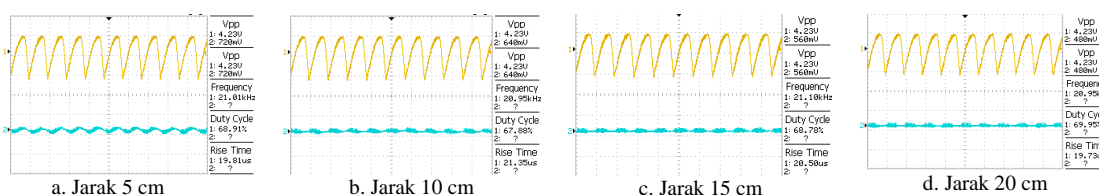
Sinyal hasil pengukuran dan pengujian Tx pada frekuensi 13.19 kHz dilakukan untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm, seperti pada Gambar 26.



Gambar 26. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) pada frekuensi 13.19 kHz untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm

Dari Gambar 26, Rx mampu menerima sinyal dari Tx dengan baik pada tegangan sebesar $6.40 V_{p-p}$. Tegangan keluaran pada Rx mengalami penurunan setiap jarak meningkat, dari 1.24 s.d $7.60 mV_{p-p}$. Hal ini terjadi karena adanya redaman propagasi di dalam air.

Selanjutnya dilakukan pengukuran dan pengujian Tx pada frekuensi 20.95 kHz. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian Tx untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm, seperti pada Gambar 27.



Gambar 27. Sinyal hasil pengukuran dan pengujian *transmitter* (Tx) pada frekuensi 20.95 kHz untuk setiap jarak antara Tx dan Rx sejauh 5 cm

Dari Gambar 27, Rx sama sekali tidak mampu menerima sinyal yang dikirimkan dari Tx pada tegangan sebesar $4.23 V_{p-p}$. Hal ini dikarenakan *transmit transducer* di Tx tidak mampu menghasilkan gelombang akustik (suara) pada frekuensi diatas 20 kHz. Tegangan keluaran pada Rx = 720 s.d 480 m V_{p-p} .

Dari pengukuran dan pengujian dapat dikatakan, penggunaan membran tipis dari bahan lateks pada *transmit transducer (loudspeaker)* berfungsi dengan benar untuk meneruskan getaran akustik (suara) melalui air sampai ke Rx. Dari hasil pengukuran dan pengujian ini, dikatakan Tx dapat memancarkan gelombang akustik (suara) di dalam air pada range frekuensi 13.10 s.d 18.91 kHz.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan perancangan, pengukuran, pengujian, dan menganalisis rangkaian *transmitter* (Tx), pada jarak *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx) antara 5 s.d 20 cm, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Transmitter* (Tx) yang dirancang mampu menghasilkan gelombang akustik dalam rentang frekuensi 12.67 s.d 33.68 kHz.
2. *Transmitter* (Tx) pada kondisi di luar air dan tanpa pelindung anti air, mampu mengirimkan sinyal ke *receiver* (Rx). *Receiver* (Rx) dapat menerima gelombang akustik pada rentang frekuensi 13.16 s.d 21.38 kHz.
3. *Transmitter* (Tx) pada kondisi di luar air dan menggunakan pelindung anti air, mampu mengirimkan sinyal ke *receiver* (Rx). *Receiver* (Rx) dapat menerima gelombang akustik pada rentang frekuensi 12.69 s.d 20.75 kHz.
4. Penggunaan membran tipis dari bahan lateks pada *transmit transducer (loudspeaker)* berfungsi dengan benar untuk meneruskan getaran akustik melalui air sampai *receiver* (Rx).
5. *Transmitter* (Tx) mampu bekerja di dalam air dan mampu mengirimkan sinyal ke *receiver* (Rx). *Receiver* (Rx) dapat menerima gelombang akustik pada rentang frekuensi 13.10 s.d 18.91 kHz pada saat di dalam air.

Daftar Pustaka

- [1] Sam Kelly. *Experimental Oceanography*. Howard W. Sams & Co., Inc. The Bobbs-Merrill Co., Inc. (1975).
- [2] Randal, R.E. *Elements of Ocean Engineering*, [http://traktorja.org/files/sonar/Underwater Acoustics short summary.pdf](http://traktorja.org/files/sonar/Underwater%20Acoustics%20short%20summary.pdf), (1997).
- [3] Au, W.W.L., & Hastrings, M.C. *Measurement and Generation of Underwater Sounds*. http://www.springer.com/cda/content/document/cda_Downloadaddocument/978038778342-c2.pdf?SGWID=0-0-45-721433p173807664. (2008).
- [4] Chung Chang and Richard Coates, A novel underwater acoustic transmitter. *The Journal of the Acoustical Society of America* 117, 2447; <https://doi.org/10.1121/1.1919908>, (2005).
- [5] Franklin Felber. Low-cost, high-power mechanical impact transducers for sonar and acoustic through-wall surveillance applications. Physics Division, Starmark, Inc., P. O. Box 270710, San Diego, CA 92198
- [6] Yusmar Palapa W, Pembangkit Sinyal Akustik Acak Berpulsa Menggunakan EFM32. Politeknik Caltex Riau (2003).
- [7] Stan Zurek, Magnetica <http://www.encyclopedia-magnetica.com/doku.php/squegging>. (2014).
- [8] Rustamaji, Elektronika Komunikasi. Penerbit Itenas. Bandung. ISBN: 978-602-74127-2-9, (2017).
- [9] Transistor Circuits, Handbook of the American, European and Japanese Transistors (1985).
- [10] Rustamaji, Rahmiati, P., & Nofiardiman, S.. Perancangan Prototipe Penguat dan Transduser untuk Komunikasi Bawah Air. *Jurnal Reka Elkomika*. 5(2), (2017).
- [11] Hidayat, N.W., Perancangan Prototipe *Hydrophone* untuk Komunikasi Bawah Air. Program Sarjana. Institut Teknologi Nasional Bandung, (2016).