

Perancangan Pembangkit dan Detektor Sinyal *Beacon Black Box Locator Acoustic* 37,5 kHz atau “Pinger”

Rustamaji¹ dan Kania Sawitri²

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional
Jl. P.K.H. Mustapa No. 23 Bandung, 40124 Indonesia
rustamajisaja@gmail.com¹, kania.sawitri@yahoo.co.id²

Abstrak— *Black box* yang terdiri *cockpit voice recorder* dan *flight data recorder* dapat dideteksi lokasinya karena dilengkapi dengan “*beacon black box locator acoustic 37,5 kHz*” atau “*pinger*” yang memancarkan sinyal akustik 37,5 kHz. Untuk mendeteksi sinyal *pinger* yang mempunyai frekuensi 37,5 kHz, digunakan detektor sinyal *pinger*, yang mampu mendeteksi gelombang *ultrasonic* di dalam air pada frekuensi $37,5 \pm 1$ kHz. Makalah ini membahas perancangan pembangkit dan detektor sinyal *pinger* 37,5 kHz. Rancangan pembangkit sinyal *pinger* untuk membangkitkan sinyal *pinger* dengan frekuensi keluaran $37,5 \pm 1$ kHz, terdiri rangkaian osilator, *pulse generator*, *pulse inverter*, modulator OOK, dan *audio amplifier*. Rancangan detektor sinyal *pinger* untuk mendeteksi sinyal *pinger* dengan frekuensi $37,5 \pm 1$ kHz, terdiri rangkaian *band pass filter*, demodulator OOK, *audio amplifier*, dan *loudspeaker*. Berdasarkan hasil pengujian, pembangkit sinyal *pinger* mampu membangkitkan sinyal *pinger* dengan amplitudo $12,2 V_{p-p}$, frekuensi 37,69 kHz, lebar pulsa (kondisi *on* sebesar 9,8 ms), dan PRF sebesar 1 s sedangkan detektor sinyal *pinger* mampu mendeteksi sinyal *pinger* 37,5 kHz dan menghasilkan keluaran berupa pulsa dengan amplitudo $9 V_{p-p}$, lebar pulsa 14 ms, dan PRF sebesar 1 s, serta suara yang dihasilkan terdengar jelas setiap interval 1 s.

Kata kunci— *pinger*, pembangkit *pinger*, detektor *pinger*, *black box*.

I. PENDAHULUAN

Pada insiden atau kecelakaan pesawat terbang di daratan maupun di lautan, petugas *search and rescue* (SAR) berusaha dengan segera mencari lokasi kecelakaan dan melakukan pertolongan pada korban. Lokasi pesawat terbang yang berada di kedalaman air atau lautan dapat diketahui dengan mendeteksi sinyal *pinger* yang dipancarkan dari *black box*. Juga untuk keperluan investigasi dari badan keselamatan penerbangan (dalam hal ini di Indonesia adalah KNKT—Komite Nasional Keselamatan Transportasi) akan berusaha untuk menemukan *black box* yang merupakan perlengkapan wajib yang harus ada pada setiap pesawat terbang komersial.

Black box yang terdiri dari *cockpit voice recorder* (CVR) dan *flight data recorder* (FDR) dapat dideteksi lokasinya karena dilengkapi dengan “*beacon black box locator acoustic 37,5 kHz*” atau “*pinger*” yang memancarkan sinyal akustik 37,5 kHz. *Underwater locator beacon* (ULB) atau *underwater acoustic beacon*, juga dikenal secara resmi sebagai *pinger*, adalah divais yang dipasang ke *aviation flight records* semacam CVR dan FDR. ULB juga kadang-kadang dibutuhkan untuk dipasang langsung ke badan pesawat terbang (*aircraft fuselage*). ULB akan aktif dipicu (*triggered*) oleh karena tercelup air; kebanyakan memancarkan (*emit*) gelombang *ultrasonic* 10 ms pulsa setiap kali per detik pada $37,5 \pm 1$ kHz [1].

Untuk mendeteksi sinyal *pinger* yang mempunyai frekuensi sebesar 37,5 kHz tersebut digunakan detektor sinyal

pinger, yang mampu mendeteksi gelombang *ultrasonic* (getaran akustik) di dalam air pada frekuensi $37,5 \pm 1$ kHz [1]. Beberapa penelitian tentang peralatan deteksi bawah air sudah ada yang melakukan dan bekerja pada frekuensi yang berbeda-beda, diantaranya pencarian obyek-obyek di dalam air laut dengan menggunakan ANIC yang bekerja pada frekuensi 25 s.d 85 kHz [2] dan perancangan rangkaian *ultrasonic detection* untuk deteksi bawah air yang bekerja pada frekuensi 63 kHz [3]. Sedangkan pada penelitian ini merancang dan merealisasikan rangkaian pembangkit dan detektor sinyal *beacon black box locator acoustic 37,5 kHz*.

Syarat untuk navigasi dan pencarian lokasi bawah air dengan metode akustik [4]. ULB membangkitkan pulsa 10 s.d 20 *milliseconds* pada frekuensi 35 s.d 40 kHz dengan laju 1 s.d 4 *pulses per second* [5]. Sedangkan pada penelitian ini merancang dan merealisasikan rangkaian pembangkit sinyal *beacon black box locator acoustic* dengan frekuensi operasi (*operating frequency*) $37,5 \pm 1$ kHz, panjang pulsa (*pulse length*) tidak kurang dari 9 *milliseconds* (10 *milliseconds* nominal), laju pengulangan pulsa (*pulse repetition rate*) tidak kurang dari 0,9 *pulse per second* (1 *pulse per second* nominal).

Pada penelitian Sutoyo, dkk. [6], telah membuat sebuah alat yang berfungsi mendeteksi sinyal ultrasonik dengan frekuensi 37,5 kHz keluaran ULB untuk mengetahui apakah ULB dalam keadaan baik atau tidak. Selain itu, alat ini juga mampu mengukur tegangan baterai pada ULB [6]. Dalam penelitian selanjutnya membuat alat berbasis *microprocessor* untuk mengecek tegangan baterai, perkiraan lama penggunaan

dari baterai di dalam ULB *ultrasonic signal* pada 37,5 kHz, dan juga pola sinyal [7]. Sedangkan dalam penelitian ini membuat rangkaian pembangkit sinyal *beacon black box locator acoustic* 37,5 kHz atau *pinger* dan membuat rangkaian detektor sinyal *pinger*.

Oleh karena teknologi perangkat *black box* dan detektor sinyal *pinger* hanya dikuasai oleh beberapa pabrikan besar dari luar negeri dan berharga sangat mahal, juga untuk meningkatkan kinerja petugas SAR, dan meningkatkan kemampuan peneliti dalam rancang bangun *black box* maka dilakukan Perancangan Pembangkit dan Detektor Sinyal *Beacon Black Box Locator Acoustic* 37,5 kHz atau *Pinger*, menggunakan divais elektronik atau bahan yang tersedia di dalam negeri.

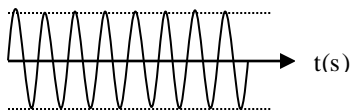
II. PEMBANGKIT DAN DETEKTOR SINYAL *BEACON BLACK BOX LOCATOR ACOUSTIC* 37,5 KHZ ATAU *PINGER*

Pada makalah ini ada dua masalah yang dibahas, yaitu mengenai perancangan pembangkit sinyal *pinger* 37,5 kHz dan perancangan detektor sinyal *pinger* 37,5 kHz.

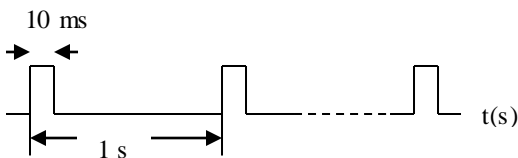
A. Pembangkit Sinyal *Pinger* 37,5 kHz

Spesifikasi dari sinyal *pinger* yang umum digunakan oleh perangkat *underwater locator beacon* (ULB) dari beberapa pabrikan [1], [8], [9]:

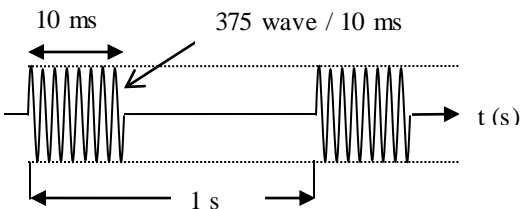
- *Operating Frequency*: 37,5 ± 1 kHz (Gambar 1).
- *Pulse Length*: Not less than 9 milliseconds (10 millisecond nominal) (Gambar 2).
- *Pulse Repetition Rate*: Not less than 0,9 pulse per second (1 pulse per second nominal) (Gambar 3).



Gambar 1. Sinyal sinusoida, frekuensi 37,5 ± 1 kHz



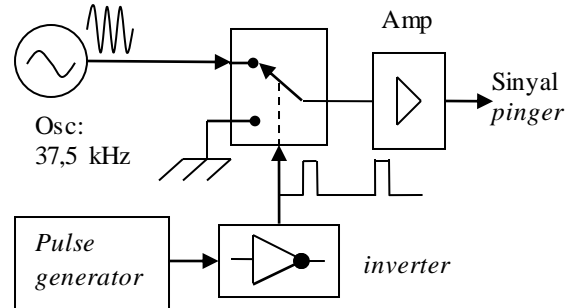
Gambar 2. Lebar pulsa 10 ms, *repetition rate pulse per second nominal*



Gambar 3. Gelombang sinyal *pinger*

Gambar 4 merupakan diagram blok pembangkit sinyal *pinger*. Diagram blok pembangkit sinyal *pinger* 37,5 ± 1 kHz untuk memodulasikan pulsa 10 ms pada sinyal sinusoida 37,5 kHz, sehingga dihasilkan sinyal *pinger* terdiri dari bagian

osilator sinyal sinusoida dengan frekuensi keluaran 37,5 kHz, *pulse generator* (pembangkit pulsa) dengan pulsa keluaran lebar 1 ms dan laju pengulangan 1 s, *pulse inverter* (pembalik pulsa), modulator OOK (*on-off keying*), dan *audio amplifier* [10].



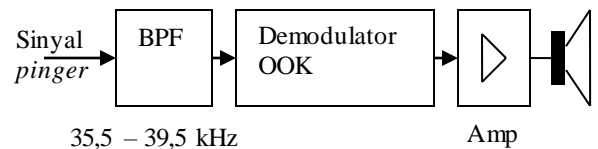
Gambar 4. Diagram blok pembangkit sinyal *pinger*

B. Detektor Sinyal *Pinger* 37,5 kHz

Spesifikasi detektor sinyal *pinger* yang umum digunakan adalah [11], [12]:

- Frekuensi sinyal *pinger* yg dideteksi: 37,5 ± 1 kHz
- Lebar pulsa yang dideteksi: 10 ms dengan *repetition rate* 1 s
- Range *bandwidth* detektor: 35,5 – 39,5 kHz

Gambar 5 merupakan diagram blok detektor sinyal *pinger*. Diagram blok detektor sinyal *pinger* 37,5 ± 1 kHz untuk menghasilkan kembali sinyal pulsa dengan lebar 10 ms dan laju pengulangan 1 s, terdiri dari bagian *band pass filter* (BPF) dengan range *bandwidth* 35,5–39,5 kHz, demodulator OOK (*on-off keying*), *audio amplifier*, dan *loudspeaker* [13].



Gambar 5. Diagram blok detektor sinyal *pinger*

III. PERANCANGAN PEMBANGKIT DAN DETEKTOR SINYAL *PINGER*

A. Perancangan Pembangkit Sinyal *Pinger*

Perancangan pembangkit *pinger* ini meliputi perancangan rangkaian osilator, *pulse generator*, *pulse inverter*, modulator OOK, *audio amplifier*, dan rangkaian gabungan untuk membangkitkan sinyal *pinger* dengan frekuensi keluaran 37,5 ± 1 kHz. Diagram blok pembangkit sinyal *pinger* seperti pada Gambar 4 [10], rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 6.

1) Rangkaian Osilator

Osilator berfungsi untuk menghasilkan keluaran berupa gelombang sinusoida dengan frekuensi 37,5 kHz sesuai dengan frekuensi standar yang digunakan *black box*. Rancangan osilator berupa rangkaian osilator *colpitts*, menggunakan transistor BC-108.

Perhitungan rangkaian osilator [14], [15]:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_T}} \text{ Hz} \quad (1)$$

dengan nilai $C_3 = C_4 = 0,1 \mu\text{F}$

$$C_T = \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4} = 0,05 \mu\text{F}$$

diperoleh

$$37,5 \times 10^3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot 5 \times 10^{-8}}}$$

$$L_2 = 360,2533 \mu\text{H}$$

direalisasikan dengan $L = 450 \mu\text{H}$.

2) Rangkaian Pulse Generator

Rangkaian *pulse generator* berfungsi untuk menghasilkan keluaran berupa pulsa dengan lebar pulsa 10 ms setiap interval 1 *second* atau disebut *pulse repetition frequency* (PRF). Rancangan *pulse generator* berupa rangkaian *timer* menggunakan IC NE 555. Lebar pulsa yang diinginkan adalah sebesar $T_H = 10 \text{ ms}$ dan $T_L = 990 \text{ ms}$ [16], [17].

Perhitungan rangkaian *pulse generator*:

$$C = 2 \times 10^{-6} \text{ F}, \quad T = 1 \text{ s}$$

$$T = \{R_5 \cdot C \cdot \ln 2 + (R_4 + R_5) \cdot C \cdot \ln 2\} \text{ s} \quad (2)$$

$$T = T_H + T_L = (10 \times 10^{-3}) + (990 \times 10^{-3}) \text{ s}$$

Diperoleh nilai R_4 dan R_5

$$T_H = \{(R_4 + R_5) \cdot C \cdot \ln 2\} \text{ s}$$

$$10 \times 10^{-3} = (R_4 + R_5) \cdot 2 \times 10^{-6} \cdot 0,693$$

$$(R_4 + R_5) = 7,215 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 7,215 \text{ k}\Omega - R_5$$

$$T_L = \{R_5 \cdot C \cdot \ln 2\} \text{ s} \quad (4)$$

$$990 \times 10^{-3} = R_5 \cdot 2 \times 10^{-6} \cdot 0,693$$

$$R_5 = 714,29 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 7,215 \text{ k}\Omega - 714,29 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = -707,075 \text{ k}\Omega$$

Pada perhitungan ini diperoleh nilai R_4 negatif. Karena itu, agar nilai R_4 positif, nilai T_H dan T_L harus dibalik menjadi $T_H = 990 \text{ ms}$ dan $T_L = 10 \text{ ms}$, sehingga diperoleh nilai R_4 dan R_5 sebesar:

$$T_H = \{(R_4 + R_5) \cdot C \cdot \ln 2\} \text{ s}$$

$$990 \times 10^{-3} = (R_4 + R_5) \cdot 2 \times 10^{-6} \cdot 0,693$$

$$R_4 + R_5 = 714,286 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 714,286 \text{ k}\Omega - R_5$$

$$T_L = \{R_5 \cdot C \cdot \ln 2\} \text{ s}$$

$$10 \times 10^{-3} = R_5 \cdot 2 \times 10^{-6} \cdot 0,693$$

$$R_5 = 7,22 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 714,286 \text{ k}\Omega - 7,22 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 707,066 \text{ k}\Omega$$

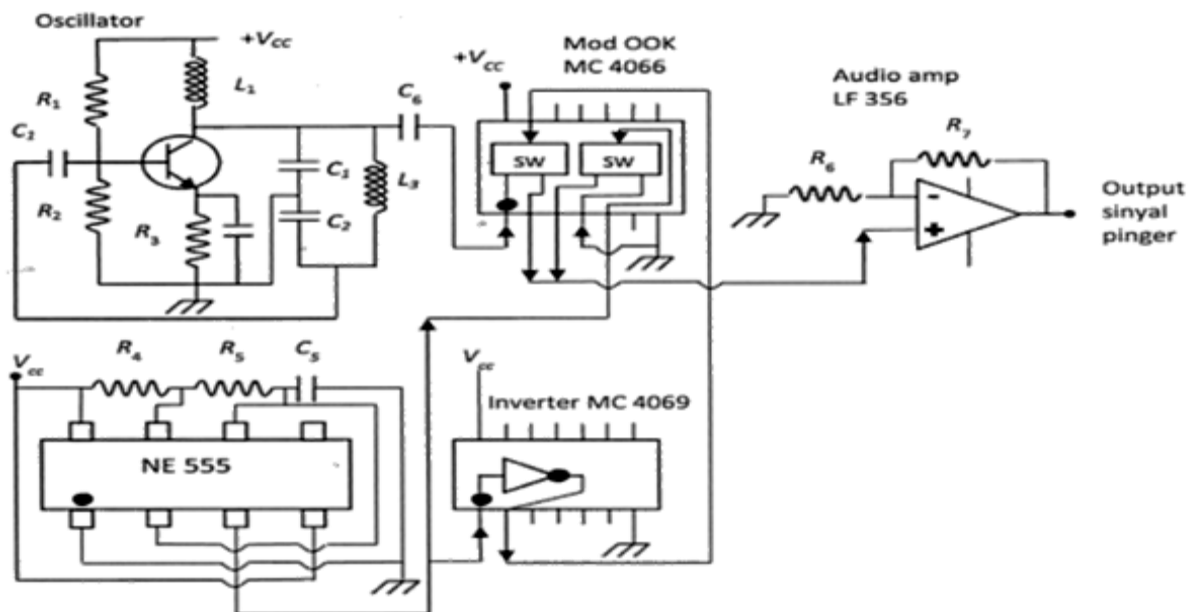
Sehingga:

$$R_4 = 707,066 \text{ k}\Omega \text{ dan } R_5 = 7,22 \text{ k}\Omega$$

Karena keluaran *pulse generator* adalah pulsa dengan $T_H = 990 \text{ ms}$ dan $T_L = 10 \text{ ms}$, harus dibalik menggunakan *inverter* sehingga dihasilkan pulsa dengan $T_H = 10 \text{ ms}$ dan $T_L = 990 \text{ ms}$.

3) Rangkaian Inverter

Rangkaian *inverter* berfungsi untuk membalik polaritas pulsa keluaran *pulse generator*, sehingga dihasilkan pulsa dengan lebar pulsa $T_H = 10 \text{ ms}$ dan $T_L = 990 \text{ ms}$. Rancangan rangkaian *inverter* menggunakan IC CMOS 4069. Pulsa masukan *inverter* dengan lebar pulsa $T_H = 990 \text{ ms}$ dan $T_L = 10 \text{ ms}$, dibalik polaritasnya menjadi pulsa dengan lebar pulsa $T_H = 10 \text{ ms}$ dan $T_L = 990 \text{ ms}$.



Gambar 6. Rangkaian pembangkit sinyal pinger

4) Rangkaian Modulator OOK

Rangkaian modulator OOK berfungsi untuk memodulasikan pulsa dengan lebar 10 ms setiap interval 1 *second* pada sinyal pembawa 37,5 kHz, sehingga pada keluarannya menghasilkan sinyal *on-off keying*. Rancangan rangkaian modulator OOK berupa *electronic switch*, menggunakan IC CMOS 4066.

5) Rangkaian Audio Amplifier

Rangkaian *audio amplifier* berfungsi untuk memperkuat amplitudo sinyal *pinger* keluaran modulator OOK. Rancangan *audio amplifier* berupa rangkaian *non-inverting Op-amp*, menggunakan IC LF 356. Dengan nilai $R_7 = 7 \text{ k}\Omega$ dan $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$, diperoleh *gain* (penguatan) tegangan A_v sebesar [16], [17]:

$$A_v = 1 + \frac{R_7}{R_6} \quad (5)$$

$$A_v = 1 + \frac{7}{1} = 8$$

B. Perancangan Detektor Sinyal Pinger

Pada perancangan detektor sinyal *pinger* ini meliputi perancangan rangkaian *band pass filter* (BPF), demodulator OOK, *audio amplifier*, *loudspeaker*, dan rangkaian gabungan untuk mendeteksi sinyal *pinger* dengan frekuensi $37,5 \pm 1 \text{ kHz}$. Diagram blok detektor sinyal *pinger* seperti pada Gambar 5 [13], rangkaianannya ditunjukkan pada Gambar 7.

1) Rangkaian Band Pass Filter (BPF)

Rangkaian BPF berfungsi untuk memfilter atau memilah sinyal *pinger* yang akan dilewatkan. Rancangan BPF berupa rangkaian BPF aktif orde 2, menggunakan IC LM 741. BPF ini mempunyai *range bandwidth* 35,6–39,5 kHz untuk memfilter sinyal *pinger* yang datang dengan frekuensi $37,5 \pm 1 \text{ kHz}$ [16]-[18].

Perhitungan rangkaian BPF:

Untuk memfilter sinyal *pingers* $37,5 \pm 1 \text{ kHz}$ sesuai standar, dibutuhkan BPF dengan rentang frekuensi 35,5–39,5 kHz atau $BW = 4 \text{ kHz} = 25,133 \text{ krad/s}$. $Q = f_0/BW = 37,5/4 = 9,375$. Bila dipilih nilai $C_1 = C_2 = C = 0,01 \mu\text{F}$, dapat dihitung nilai R_1 , R_2 , dan R_3 .

$$R_2 = \frac{2}{BW \cdot C} \Omega \quad (6)$$

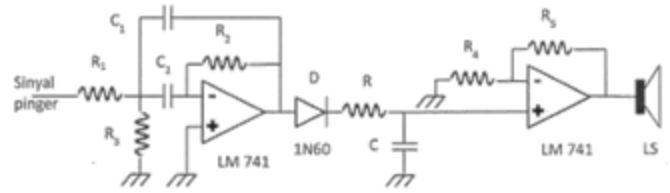
$$R_2 = \frac{2}{25,133 \times 10^3 \cdot 0,01 \times 10^{-6}} = 7,95766 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{1}{2} R_2 \Omega \quad (7)$$

$$R_1 = \frac{1}{2} 7957,66 = 3,97883 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2 - 2} \Omega \quad (8)$$

$$R_3 = \frac{7957,66}{4 \cdot 9,375^2 - 2} = 22,765 \Omega$$

Gambar 7. Rangkaian detektor sinyal *pinger*

2) Rangkaian Demodulator OOK

Rangkaian demodulator OOK berfungsi untuk mengambil kembali pulsa dengan lebar pulsa 10 ms setiap interval 1 *second* yang dibawa sinyal *pinger* 37,5 kHz. Rancangan demodulator OOK berupa *envelope detector*, terdiri dari susunan *rectifier* menggunakan diode 1N60 dan rangkaian RC filter [13], [18].

Lebar pulsa yang diinginkan 10 ms, sehingga frekuensi *cut-off* RC filter sebesar 100 Hz. Untuk $C = 0,01 \mu\text{F}$, diperoleh nilai R:

$$f_{cut-off} = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz} \quad (9)$$

$$100 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot 0,01 \times 10^{-6}}$$

$$R = 159,154 \text{ k}\Omega$$

3) Rangkaian Audio Amplifier

Rangkaian *audio amplifier* berfungsi untuk memperkuat amplitudo pulsa keluaran demodulator OOK, sehingga cukup untuk menggerakkan *loudspeaker*. Rancangan *audio amplifier* berupa rangkaian *non-inverting Op-amp*, menggunakan IC LM 741 [16], [17].

Dengan $V_i = 0,8 \text{ V}_{p-p}$ dan $V_o = 7,5 \text{ V}_{p-p}$, untuk nilai $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$, diperoleh R_5 :

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_5}{R_4} \quad (10)$$

$$\frac{7,5}{0,8} = 1 + \frac{R_5}{1000}$$

$$R_5 = 6500 \Omega$$

4) Loudspeaker

Berfungsi untuk mengubah sinyal elektrik (pulsa) menjadi getaran suara.

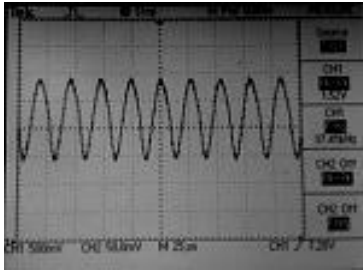
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembangkit Sinyal Pinger 37,5 kHz

Dari hasil perancangan rangkaian pembangkit sinyal *pinger*, dilakukan pengukuran sinyal keluaran setiap bagian, dengan hasil [10]:

1) Rangkaian Osilator

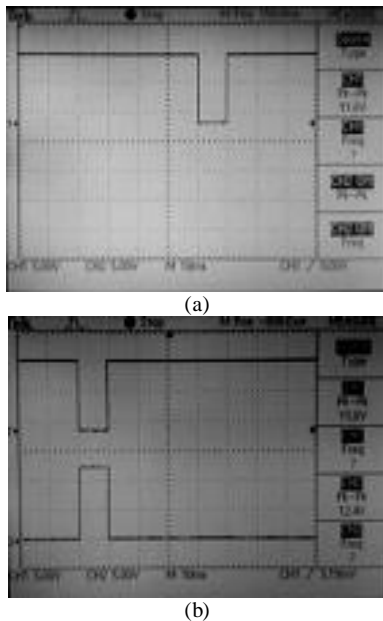
Sinyal keluaran sinusoida dengan amplitudo $1,52 \text{ V}_{p-p}$ dan frekuensi 37,41 kHz, seperti pada Gambar 8. Besarnya frekuensi yang diperoleh sebesar 37,41 kHz dengan nilai $L_2 = 450 \mu\text{H}$. Besarnya frekuensi tersebut masih dalam batas frekuensi yang diinginkan yaitu $(37,5 \pm 1) \text{ kHz}$ atau antara (36,5–38,5) kHz. Perbedaan tersebut dipengaruhi toleransi pada induktor dan divais lainnya.



Gambar 8. Sinyal keluaran osilator

2) Rangkaian *Pulse Generator*

Sinyal keluaran *pulse generator* berupa pulsa dengan amplitudo $11,8 V_{p-p}$, lebar pulsa $980,2 \text{ ms}$ dan PRF sebesar 990 ms , seperti pada Gambar 9a. Pada *datasheet*, ketelitian rangkaian *timer* dengan IC NE 555 sebesar $2,25\%$, sehingga lebar pulsa yang sesuai dengan *datasheet* adalah antara $(977,5-1.022,5) \text{ ms}$. Sedangkan pada pengukuran lebar pulsa yang dihasilkan sebesar $980,2 \text{ ms}$. Nilai masih dalam batas ketelitian yang dihasilkan oleh rangkaian *timer* dengan menggunakan IC NE 555. Selanjutnya pulsa keluaran rangkaian *pulse generator* dibalik polaritasnya dengan menggunakan *pulse inverter*, sehingga diperoleh pulsa seperti pada Gambar 9b.



Gambar 9. (a) Pulsa keluaran *pulse generator* dan (b) pulsa keluaran *pulse inverter*

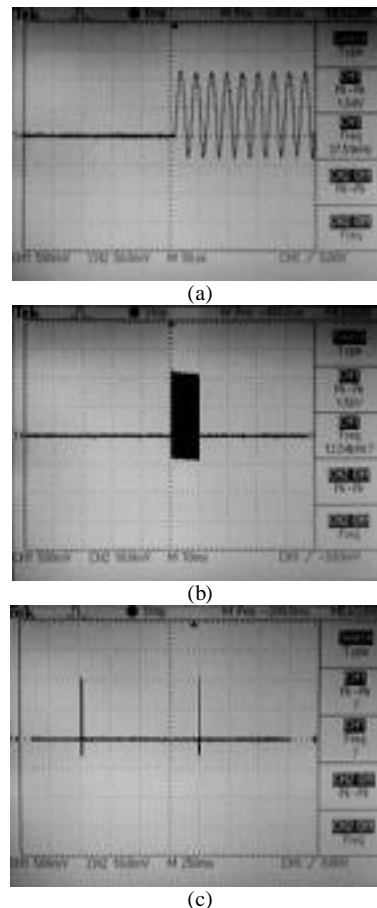
3) Rangkaian *Pulse Inverter*

Sinyal keluaran *pulse inverter* berupa pulsa dengan amplitudo $12,4 V_{p-p}$, lebar pulsa $9,80 \text{ ms}$ dan PRF sebesar 990 ms , seperti pada Gambar 9b. Lebar pulsa yang dihasilkan rangkaian *pulse inverter* sebesar $9,8 \text{ ms}$ dan pengulangan pulsa (PRF) setiap interval 990 ms . Lebar pulsa dan PRF tersebut masih dalam batas dari toleransi rangkaian *timer*. Amplitudo yang dihasilkan oleh rangkaian *inverter* sebesar $12,4 V_{p-p}$, sedangkan amplitudo keluaran rangkaian *timer* sebesar $11,8 V_{p-p}$, sehingga terdapat perbedaan nilai amplitudo

sebesar $0,6 V_{p-p}$. Dalam batas yang ada pada *datasheet* IC 4069, batas wajar yang diperbolehkan V_{out} adalah $(V_{DD} + 0,5 \text{ volt})$ atau maksimum sebesar $12,5 \text{ volt}$.

4) Rangkaian Modulator *On-off Keying*

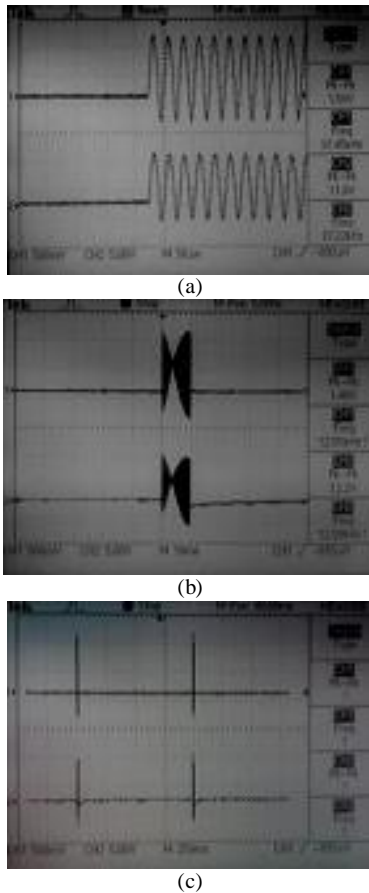
Sinyal keluaran modulator *on-off keying* berupa sinyal sinusoida yang termodulasi pulsa, dengan amplitudo $1,54 V_{p-p}$, frekuensi $37,59 \text{ kHz}$, lebar pulsa $9,6 \text{ ms}$, dan PRF sebesar 980 ms , seperti pada Gambar 10.



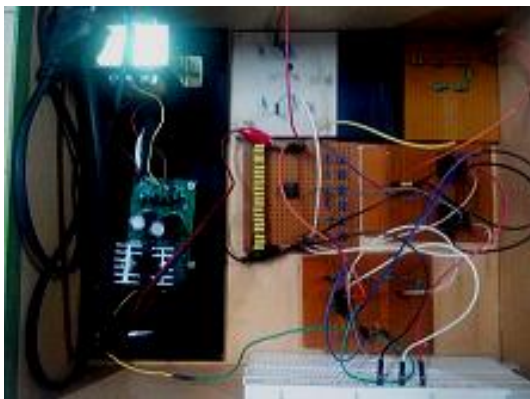
Gambar 10. Sinyal keluaran modulator OOK dengan pengaturan *time/div* (a) $0,05 \text{ ms}$, (b) 10 ms , dan (c) 250 ms

Keluaran modulator OOK hasil pemodulasian pulsa pada sinyal pembawa sinusoida ini berupa sinyal sinusoida *on-off* atau disebut *pinger*, mempunyai amplitudo $1,58 V_{p-p}$, frekuensi $37,59 \text{ kHz}$, lebar pulsa (kondisi *on* sebesar $9,6 \text{ ms}$), dan PRF sebesar $0,98 \text{ s}$. Frekuensi sinyal *pinger* sebesar $37,59 \text{ kHz}$ ini masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan sebesar $(37,5 \pm 1) \text{ kHz}$.

Setelah sinyal keluaran modulator OOK diperkuat oleh *audio amplifier*, diperoleh sinyal *pinger* keluaran dengan amplitudo $12,2 V_{p-p}$, frekuensi $37,69 \text{ kHz}$, lebar pulsa (kondisi *on* sebesar $9,8 \text{ ms}$), dan PRF sebesar 1 s . Frekuensi sinyal *pinger* sebesar $37,69 \text{ kHz}$ ini masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan sebesar $(37,5 \pm 1) \text{ kHz}$. Sinyal *pinger* keluaran dari rangkaian pembangkit sinyal *pinger*, seperti pada Gambar 11. Sedangkan realisasi rangkaian pembangkit sinyal *pinger* $37,5 \text{ kHz}$, seperti pada Gambar 12.



Gambar 11. Sinyal keluaran rangkaian pembangkit sinyal *ping* sebelum *audio amplifier* (CH 1) dan sesudah *audio amplifier* (CH 2) dengan pengaturan time/div (a) 0,05 ms, (b) 10 ms, dan (c) 250 ms



Gambar 12. Realisasi rangkaian pembangkit sinyal *ping* 37,5 kHz [10]

Secara keseluruhan, semua bagian dari rangkaian pembangkit sinyal *ping* sudah berfungsi sesuai dengan yang direncanakan untuk membangkitkan sinyal *ping* 37,5 kHz. Meskipun frekuensi sinyal *ping* yang dihasilkan sebesar 37,69 kHz tidak tepat benar dengan standar yang ada 37,5 kHz, tetapi masih masuk dalam batas toleransi frekuensi ($37,5 \pm 1$) kHz.

Dibandingkan dengan hasil penelitian Fisher, dkk. [5], sinyal *ping* yang dihasilkan 10 s.d 20 milliseconds pulse pada frekuensi 35 s.d 40 kHz dengan laju (*rate*) 1 s.d 4 *pulses per second*. Sedangkan pada penelitian ini, sinyal *ping* yang dihasilkan pulsa dengan lebar 9,6 ms pada frekuensi 37,59 kHz, dengan laju 1 *pulse per second*. Dapat dikatakan hasil penelitian telah memenuhi standar sinyal *ping*.

B. Detektor Sinyal *Ping* 37,5 kHz

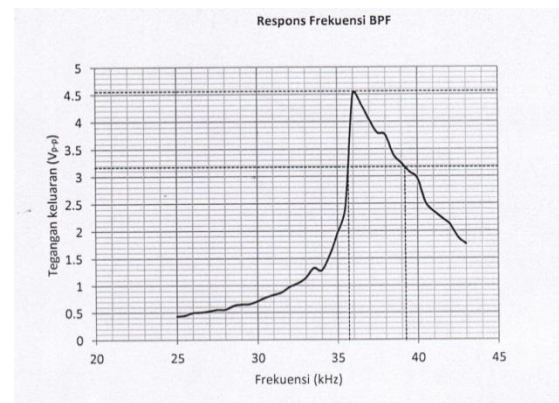
Dari hasil perancangan rangkaian detektor sinyal *ping*, dilakukan pengukuran sinyal keluaran setiap bagian [13]. Sebagai masukan adalah sinyal *ping* yang diambil secara langsung dari pembangkit sinyal *ping* yang sudah direalisasikan sebelumnya, dengan hasil:

1) Rangkaian *Band Pass Filter* (BPF)

Sinyal keluaran BPF adalah sinusoida *on-off* dengan amplitudo 5,44 V_{p-p} dan frekuensi 37,04 kHz, seperti pada Gambar 13. Respons frekuensi BPF seperti pada Gambar 14.



Gambar 13. Sinyal keluaran BPF



Gambar 14. Respons frekuensi BPF

Bentuk respons frekuensi BPF ini sesuai dengan respon frekuensi BPF yang diinginkan, dimana memiliki nilai $f_0=36$ kHz pada amplitudo 4,52 V_{p-p} , frekuensi *cut-off* $f_1=35,7$ kHz, dan $f_2=39,25$ kHz pada amplitudo 3,196 V_{p-p} . Puncak respon BPF tidak pada frekuensi 37,5 kHz melainkan pada frekuensi 36 kHz, namun nilai yang didapatkan ini masih berada pada rentang frekuensi BPF yang diinginkan yaitu (35,5–39,5) kHz. Hal ini terjadi karena toleransi nilai divais, pada rangkaian BPF ini nilai divais yang dipakai adalah $R_1=3978 \Omega$, $R_2=6600 \Omega$, $R_3=22 \Omega$, $C_1=1,19$ pF, dan $C_2=2$ pF.

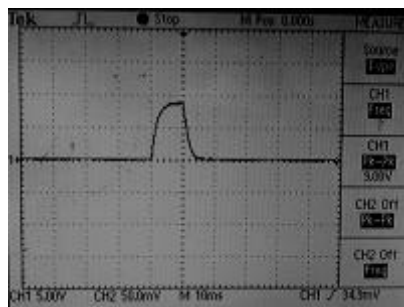
BPF ini masih dapat dikatakan berfungsi sesuai dengan yang direncanakan, karena respons frekuensi yang didapatkan masih berada pada rentang frekuensi yang diinginkan, yaitu pada (35,5–39,5) kHz. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian BPF ini masih mampu menerima sinyal *pinger* 37,5 kHz.

2) Rangkaian Demodulator OOK

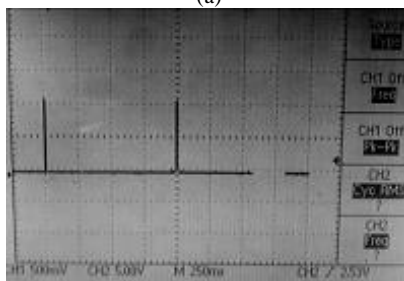
Sinyal keluaran demodulator OOK adalah berupa pulsa, dengan amplitudo $0,8 V_{p-p}$, lebar pulsa 12 ms dan PRF sebesar 1 s, seperti pada Gambar 15. Bentuk sinyal keluaran demodulator OOK hampir serupa dengan bentuk sinyal keluaran yang diinginkan, yaitu berbentuk pulsa dan memiliki PRF mendekati 1 s. Bentuk yang tidak benar-benar tepat seperti pulsa ini, dipengaruhi oleh nilai divais kapasitor dan resistor pada rangkaian *low pass filter* (LPF). Pada rangkaian ini nilai divais yang digunakan $R = 150 k\Omega$ dan $C = 0,0049 \mu F$. Setelah pulsa keluaran demodulator OOK diperkuat oleh *audio amplifier*, diperoleh pulsa keluaran dengan amplitudo $9 V_{p-p}$, lebar pulsa 14 ms, dan PRF sebesar 1 s, seperti pada Gambar 16.



Gambar 15. Pulsa keluaran demodulator OOK



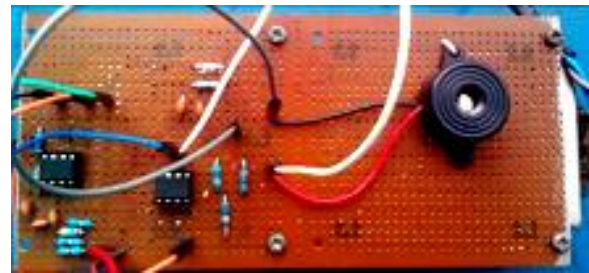
(a)



(b)

Gambar 16. Pulsa keluaran rangkaian detektor sinyal *pinger* sesudah *audio amplifier* dengan pengaturan time/div (a) 10 ms dan (b) 250 ms

Bentuk pulsa keluaran *audio amplifier* tidak terlalu berbeda dengan bentuk pulsa keluaran demodulator OOK, karena *audio amplifier* hanya berfungsi untuk menaikkan amplitudo tegangan pulsa sehingga cukup untuk menggerakkan *loudspeaker*. Pada pengujian ini, *loudspeaker* yang digunakan diganti dengan *buzzer*, untuk memperoleh suara yang terdengar lebih jelas. Hasil pengujian akhir, suara terdengar dengan sangat jelas dan ketika *buzzer* menghasilkan suara, maka pulsa akan terlihat pada osiloskop. Suara ini terdengar setiap 1 s sesuai dengan nilai interval pulsa (PRF) yang direncanakan, yaitu 1 s. Sedangkan realisasi rangkaian detektor sinyal *pinger* 37,5 kHz, seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Realisasi rangkaian detektor sinyal *pinger* 37,5 kHz [13]

Secara keseluruhan, semua bagian dari rangkaian detektor sinyal *pinger* 37,5 kHz sudah berfungsi sesuai dengan yang direncanakan untuk mendeteksi sinyal *pinger* 37,5 kHz dan menghasilkan keluaran berupa pulsa dengan amplitudo sebesar $9 V_{p-p}$, lebar pulsa 14 ms, dan PRF sebesar 1 s, serta suara yang dihasilkan terdengar jelas setiap interval 1 s.

Dibandingkan dengan hasil penelitian Sutoyo, dkk. [7], dimana sinyal akustik keluaran ULB yang berhasil diukur adalah berkisar antara 36,9 s.d 37,3 kHz atau rata-rata 36,99 kHz. Pada penelitian ini menghasilkan rangkaian detektor sinyal *pinger* pada frekuensi 37,69 kHz dan dapat dikatakan hasil penelitian yang dilakukan lebih mendekati standar frekuensi sinyal *pinger* sebesar $(37,5 \pm 1)$ kHz.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [2]-[6] yang menggunakan metode dan rangkaian yang sangat rumit serta mahal, penelitian ini dalam realisasinya meskipun menggunakan komponen sederhana yang tersedia di pasar dalam negeri, tetapi rangkaian pembangkit dan detektor sinyal *pinger* yang dirancang mampu menghasilkan keluaran sesuai standar.

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian pada rangkaian pembangkit sinyal *pinger* 37,5 kHz dan rangkaian detektor sinyal *pinger* 37,5 kHz, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Rangkaian pembangkit sinyal *pinger* dapat bekerja untuk membangkitkan sinyal *pinger* yang mempunyai amplitudo $12,2 V_{p-p}$, frekuensi 37,69 kHz, lebar pulsa (kondisi *on* sebesar 9,8 ms), dan PRF sebesar 1 s.
2. Rangkaian detektor sinyal *pinger* dapat bekerja untuk mendeteksi sinyal *pinger* 37,5 kHz dan menghasilkan kembali pada keluarannya, pulsa dengan amplitudo $9 V_{p-p}$, lebar pulsa 14 ms, dan PRF sebesar 1 s, serta suara yang dihasilkan terdengar jelas setiap interval 1 s.

REFERENSI

- [1] Retrieved from "http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Underwater_locator_beacon&oldid=647781716".
- [2] Venugopalan Pallayil, Mandar Chitre, Subash Kuselan, Amogh Raichur, Manu Ignatius, and John R. Potter. "Development of a Second-Generation Underwater Acoustic Ambient Noise Imaging Camera". IEEE Journal of Oceanic Engineering, VOL. 41, NO. 1, January 2016.
- [3] Sylvie Breton; Mohamed Benbouzid. "Sensor Conditioning for Ultrasonic Remote Sensing Immersion". Journal of Surveying and Mapping Engineering Jun, 2013, Vol. 1 Iss. 1, PP. 7-14.
- [4] B.S. McCartney. "Underwater Acoustic Positioning Systems: State of The Art and Applications in Deep Water". International Hydrographic Review, Monaco, LVIII (1), January 1981.
- [5] R Byron Fisher, and Paul M. Rich (1968). Final Report: *Underwater Locator Beacon Detection Ranges For Fuselage Encapsulated Recorders*, Project No. 530-003-07X, Report No. NA-68-7 (DS-68-9). Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA), National Aviation Facilities Experimental Center, Atlantic City New Jersey 08405.
- [6] Sutoyo; Hartono Pranjoto; Albert Gunadhi. (2014). "Alat Uji Sinyal Ultrasonik dan Tegangan Baterai pada ULB". Widya Teknik. Vol 13. No. 1. ISSN 1412-7350
- [7] Hartono Pranjoto and Sutoyo. "Innovative Tester for Underwater Locator Beacon Used in Flight/Voyage Recorder (Black Box)". Proceedings of Second International Conference on Electrical Systems, Technology and Information 2015 (ICESTI2015), pp.299-307.
- [8] ATICourses. Applied Technology Institute. Posted by admin in Acoustics & Sonar, Defense, Including Radar, Missiles and EW on April 8, 2014.
- [9] *ELP-362D Emergency Locator Beacon User's Manual*. Teledyne Benthos. June 2011.
- [10] Rustamaji; Kania Sawitri; Rudi Gunawan. "Perancangan Prototipe Transmitter Beacon Black Box Locator Acoustic 37,5 kHz Pingers". Jurnal ELKOMIKA | Vol. 4 | No. 2 | Halaman 170 – 184, ISSN (p): 2338-8323 Juli - Desember 2016, ISSN (e): 2459-9638.
- [11] "Towed Pinger Locator 25 Specifications". Phoenix International.
- [12] "Towed Pinger Locator 25 Fact File". US Navy Fact Files. United States Navy. 22 November 2013. Retrieved 26 March 2014.
- [13] Rustamaji; Pauline Rahmiati; Sarah Permatasari. "Perancangan Prototipe Receiver Beacon Black Box Locator Acoustic 37,5 kHz Pingers". Jurnal ELKOMIKA | Vol. 4 | No. 1 | Halaman 66 – 82, ISSN (p): 2338-8323 Januari - Juni 2016, ISSN (e): 2459-9638.
- [14] Chattopadhyay, D. (2006). *Electronics (Fundamentals And Applications)*. New Age International. pp.224–225.
- [15] Garg, R., K., Dixit, A., Yadav, P.(2008). *Basic Electronics*. Firewall Media. pp. 280.
- [16] Robert F. Coughlin, dan Frederick F. Driscoll. (1987). *Operational Amplifiers and Integrated Circuits*. New Delhi : PHI.
- [17] Bruce dan R. Brown. (2001). *Handbook Of Operational Amplifier Applications*. Texas Instruments
- [18] Rustamaji; Elan Djaelani. "Desain Band Pass Filter (BPF) Digital dengan Metode Window untuk Memfilter Sinyal Pinger 37,5 kHz yang dipancarkan dari Beacon Black Box Locator". Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi, dan Otomasi (SNETO) 2015.