

Audio Converter To Ultrasonic

1st Agustina Violent

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

agustinaviolent@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dimas Adi Pratama

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

dimasadi@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Rasheika Febrianti Hussein

*School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia*

rasheikafebrianti@student.telkomuniversity.ac.id

4th Bambang Sumajudin

*School of Creative Industries
Telkom University
Bandung, Indonesia*

sumajudin@student.telkomuniversity.ac.id

5th Vinsensius Sigit Widhi Prabowo

*School of Creative Industries
Telkom University
Bandung, Indonesia*

vinsensigitwp@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Sinyal audio merupakan sinyal dengan rentang frekuensi audibel manusia yaitu 20 Hz hingga 20 kHz yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronika dan sistem komunikasi. Namun, penggunaan sinyal audio secara langsung memiliki keterbatasan terutama pada aplikasi yang membutuhkan transmisi informasi tanpa menimbulkan gangguan suara di lingkungan sekitar. Selain itu, sinyal audio juga rentan terhadap gangguan kebisingan yang dapat memengaruhi kualitas informasi yang dibawa. Oleh karena itu, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana mengonversi sinyal audio ke frekuensi ultrasonik tanpa menghilangkan informasi yang terkandung di dalamnya.

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut tugas akhir ini merancang dan merealisasikan sistem Audio Converter to Ultrasonic yang mampu mengubah sinyal audio menjadi sinyal ultrasonik melalui proses modulasi. Sistem ini menggunakan rangkaian osilator sebagai pembangkit frekuensi pembawa ultrasonik dan rangkaian modulasi berbasis komponen elektronika analog untuk membawa informasi dari sinyal audio. Dengan metode ini, informasi audio dapat ditransmisikan dalam bentuk gelombang ultrasonik yang tidak dapat didengar oleh manusia namun tetap mempertahankan karakteristik sinyal aslinya.

Hasil pengujian menunjukan bahwa sistem mampu menghasilkan sinyal ultrasonik dengan frekuensi pembawa sekitar 40 kHz yang termodulasi oleh sinyal audio dengan frekuensi 1 kHz. Berdasarkan pengamatan bentuk gelombang dan analisis hasil pengujian informasi audio berhasil dimodulasikan ke dalam sinyal ultrasonik secara stabil. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem Audio Converter to Ultrasonic yang di rancang telah berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengolahan serta transmisi sinyal audio berbasis ultrasonik.

Kata kunci : Audio Converter, Modulasi, Osilator, Sinyal Audio, Ultrasonik

I. PENDAHULUAN

Sinyal audio merupakan sinyal dengan rentang frekuensi yang dapat didengar oleh manusia yaitu antara 20 Hz hingga 20 kHz. Penggunaan sinyal audio secara langsung dalam suatu sistem sering kali menimbulkan keterbatasan terutama pada aplikasi yang membutuhkan transmisi sinyal tanpa menghasilkan suara yang dapat mengganggu lingkungan sekitar. Selain itu, sinyal audio juga rentan

terhadap gangguan kebisingan sehingga menurunkan kualitas informasi yang dibawa.

Disisi lain gelombang ultrasonik memiliki frekuensi di atas batas pendengaran manusia sehingga tidak menimbulkan gangguan suara. Meskipun demikian, pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk membawa informasi audio masih belum banyak dikembangkan secara optimal terutama pada sistem sederhana yang mudah direalisasikan. Banyak sistem ultrasonik yang hanya menggunakan sinyal tetap atau tidak memanfaatkan variasi informasi dari sinyal audio secara langsung.

Permasalahan utama yang muncul adalah bagaimana merancang suatu sistem yang mampu mengonversi sinyal audio menjadi sinyal ultrasonik tanpa menghilangkan informasi yang terkandung di dalamnya. Proses konversi ini membutuhkan metode pengolahan sinyal yang tepat seperti modulasi menggunakan frekuensi pembawa ultrasonik agar karakteristik sinyal audio tetap dapat ditransmisikan dengan baik.

Oleh karena itu, penelitian mengenai *Audio Converter to Ultrasonic* menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang mampu mengubah sinyal audio menjadi sinyal ultrasonik secara efektif dan efisien. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi solusi alternatif dalam pengolahan dan transmisi sinyal audio serta menjadi dasar pengembangan aplikasi berbasis ultrasonik di bidang elektronika dan sistem komunikasi.

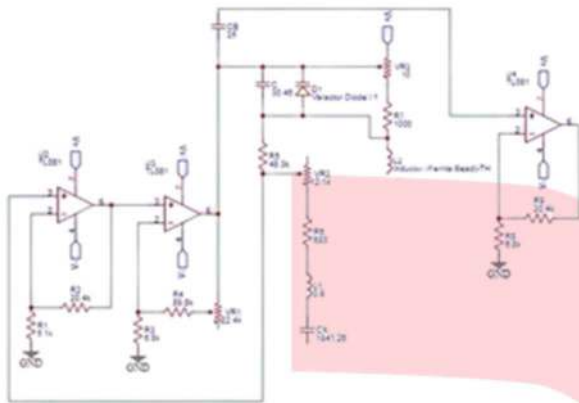
Berdasarkan permasalahan yang telah dianalisis sebelumnya yaitu keterbatasan dalam mengonversi sinyal audio menjadi sinyal ultrasonik tanpa kehilangan informasi, keterbatasan komponen elektronik, biaya prototipe yang relatif tinggi serta belum dapat diuji secara fisik maka penelitian ini memiliki tujuan memberikan solusi melalui tahap perancangan dan simulasi sistem *Audio Converter to Ultrasonic*.

II. KAJIAN TEORI

A. Osilator (Pembangkit sinyal)

Osilator merupakan suatu rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal listrik bolak-balik secara periodik dan kontinu tanpa memerlukan sinyal masukan eksternal. Rangkaian ini mampu membangkitkan

gelombang listrik dengan bentuk tertentu seperti gelombang sinus, kotak atau segitiga melalui mekanisme umpan balik positif yang disusun sedemikian rupa sehingga memenuhi kondisi osilasi. Dalam sistem elektronika osilator berperan sebagai sumber sinyal frekuensi yang stabil dan konsisten sehingga banyak digunakan pada berbagai aplikasi seperti sistem komunikasi, pengolahan sinyal, pengukuran serta sistem kendali.



GAMBAR 1
Skema rangkaian Osilator

Secara prinsip kerja, osilator bekerja berdasarkan penguatan sinyal dan pengembalian sebagian sinyal keluaran ke bagian masukan dengan fasa dan amplitudo yang sesuai. Agar osilasi dapat terjadi secara berkelanjutan rangkaian osilator harus memiliki penguatan loop sama dengan satu dan pergeseran fasa total sebesar 0° atau 360° . Ketika kondisi ini terpenuhi sinyal kecil yang berasal dari noise internal komponen akan diperkuat dan dipertahankan hingga membentuk sinyal periodik yang stabil. Dengan demikian, osilator tidak membutuhkan sumber sinyal awal melainkan memanfaatkan karakteristik internal rangkaian itu sendiri.

Osilator dapat dibedakan berdasarkan jenis komponen dan bentuk gelombang yang dihasilkan. Berdasarkan komponen penyusunnya osilator dapat berupa osilator LC, kristal maupun osilator berbasis penguat operasional op-amp. Sementara itu, berdasarkan bentuk gelombangnya osilator dapat menghasilkan gelombang sinusoidal maupun non-sinusoidal. Pemilihan jenis osilator sangat bergantung pada kebutuhan aplikasi, seperti rentang frekuensi, kestabilan sinyal, dan tingkat distorsi yang diizinkan. Sebagai contoh, osilator RC sering digunakan pada frekuensi rendah hingga menengah, sedangkan osilator LC dan kristal lebih cocok untuk frekuensi tinggi dengan kestabilan yang lebih baik.

Dalam implementasinya osilator memiliki peran penting dalam sistem elektronika modern. Pada sistem komunikasi osilator digunakan sebagai pembangkit frekuensi pembawa yang menentukan kanal transmisi. Pada sistem pengolahan sinyal, osilator dimanfaatkan untuk modulasi, demodulasi dan pengujian karakteristik rangkaian. Selain itu dalam aplikasi tertentu seperti konverter audio ke ultrasonik osilator digunakan untuk menghasilkan sinyal frekuensi tinggi yang berada di luar rentang pendengaran manusia, sehingga dapat dimanfaatkan sesuai kebutuhan sistem tanpa mengganggu kenyamanan pengguna.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa osilator merupakan elemen fundamental dalam dunia elektronika yang berfungsi sebagai sumber sinyal periodik dengan frekuensi tertentu. Keandalan dan kestabilan osilator sangat mempengaruhi kinerja keseluruhan sistem sehingga perancangan osilator harus mempertimbangkan faktor frekuensi kerja, bentuk gelombang, kestabilan serta kompatibilitas dengan rangkaian yang terhubung.

Prinsip kerja Osilator

Agar sebuah rangkaian bisa berosilasi (bergetar terus-menerus), menggunakan metode Umpan Balik Positif. Bayangkan sebagian sinyal dari output dikembalikan lagi ke input. Agar osilasi terjadi dan stabil, harus terpenuhi syarat yang disebut Kriteria Barkhausen :

1. Total Penguatan ($A \cdot \beta$) = 1 merupakan sinyal yang dikembalikan tidak boleh mengecil (agar tidak mati) dan tidak boleh membesar tanpa batas.
2. Pergeseran fasa total = 0° atau 360° merupakan sinyal balikan yang harus sama dengan sinyal input.

B. Klasifikasi dan jenis Osilator pada sistem :

1. Osilator Umpan Balik (Feedback Oscillator)

Secara mendasar, rangkaian pada Gambar 2.1 dikategorikan sebagai osilator umpan balik (*feedback oscillator*). Definisi dari osilator umpan balik adalah suatu rangkaian yang memanfaatkan sebagian sinyal keluaran untuk dikembalikan ke masukan guna mempertahankan osilasi secara kontinu.

Prinsip kerja jenis ini sangat bergantung pada Kriteria Barkhausen, yang menyatakan bahwa agar osilasi dapat terjadi dan bertahan stabil, rangkaian harus memenuhi dua syarat mutlak yaitu

- a. Penguatan Loop (*Loop Gain*) merupakan Total penguatan sinyal dalam satu putaran tertutup ($A\beta$) harus sama dengan atau sedikit lebih besar dari satu ($A\beta \geq 1$). Hal ini bertujuan untuk mengkompensasi hilangnya energi akibat redaman pada komponen pasif.
- b. Pergeseran Fasa (*Phase Shift*) merupakan Total pergeseran fasa dalam satu putaran loop harus bernilai 0° atau 360° (Kelipatan 2π), sehingga sinyal umpan balik berada dalam fasa yang sama (*in-phase*) dengan sinyal masukan semula, yang memungkinkan terjadinya penguatan konstruktif.

Pada implementasi di Gambar 2.1, mekanisme ini terlihat dari jalur keluaran Op-Amp U3 yang dihubungkan kembali ke masukan Op-Amp U2 melalui jaringan komponen pasif, menciptakan loop tertutup yang memicu terjadinya osilasi mandiri.

2. Osilator LC (inductor-Capacitor Oscillator)

Ditinjau dari komponen penentu frekuensinya, osilator ini termasuk dalam jenis Osilator LC. Berbeda dengan osilator RC (Resistor-Kapasitor) yang umumnya digunakan untuk frekuensi audio rendah, Osilator LC memanfaatkan karakteristik resonansi antara induktor (L) dan kapasitor (C) untuk membangkitkan frekuensi yang lebih tinggi dengan stabilitas yang lebih baik.

Secara teoritis, rangkaian LC atau sering disebut *Tank Circuit* bekerja dengan cara mempertukarkan energi listrik yang tersimpan dalam medan listrik kapasitor dan medan magnet induktor secara bergantian. Laju pertukaran energi inilah yang menentukan frekuensi resonansi alami rangkaian. Dalam konteks TA Audio Converter to Ultrasonic, elemen induktif diwakili oleh komponen L_1 dan L_2 , sedangkan elemen kapasitif dibentuk oleh C_X, C , dan dioda varaktor, interaksi impedansi antara komponen-komponen inilah yang menjadi dasar perhitungan frekuensi osilasi (f_{osc}), sebagaimana dirumuskan dalam persamaan desain sistem yaitu

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LCX} - \frac{1}{LCT(A-1)}}$$

Penggunaan elemen LC sangat krusial dalam penelitian ini untuk mencapai target frekuensi ultrasonik (>20 kHz) dengan Q -factor yang cukup tinggi agar sinyal yang dihasilkan memiliki spektrum yang bersih (minim *noise*).

3. Voltage Controlled Oscillator (VCO)

Salah satu fitur terpenting dari desain ini adalah kemampuannya untuk mengubah frekuensi kerja, sehingga rangkaian ini juga diklasifikasikan sebagai Voltage Controlled Oscillator (VCO). VCO didefinisikan sebagai osilator elektronik yang frekuensi keluarannya dapat dikendalikan atau diubah-ubah secara proporsional oleh besaran tegangan masukan pengontrol.

Pada skema Gambar 2.1, fungsi VCO direalisasikan dengan menggunakan komponen Dioda Varaktor (D_1). Dioda Varaktor adalah jenis dioda khusus yang dioperasikan dalam bias mundur (*reverse Bias*), di mana lebar lapisan deplesi (*depletion layer*) pada sambungan P-N akan berubah sesuai dengan tegangan yang diberikan. Perubahan lebar lapisan ini menyebabkan perubahan nilai kapasitansi internal dioda.

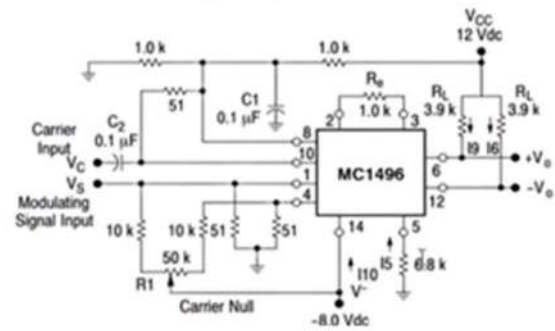
Karena kapasitas varaktor (C_{VAR}) merupakan bagian dari total kapasitansi (C_T) dalam rumus frekuensi, maka dengan hanya mengubah tegangan bias pada varaktor, frekuensi osilasi sistem dapat digeser (tuned) secara halus dari 36 kHz hingga 85 kHz sehingga tidak perlu mengganti komponen fisik. Karakteristik inilah yang memungkinkan disebut sebagai *Tunable Oscillator*.

4. Osilator Berbasis Op-Amp (Op-Amp Based Oscillator)

Berbeda dengan desain osilator klasik yang menggunakan transistor bipolar (BJT) atau FET diskrit sebagai penguat, rangkaian ini menggunakan Operational Amplifier (Op-Amp) sebagai elemen aktif utamanya. antara lain :

- Impedansi Input Tinggi dan Output Rendah
Meminimalkan efek pembebanan antar tingkat rangkaian
- Penguatan (*Gain*) yang mudah diatur
Penguatan ditentukan oleh rasio resistor eksternal, sehingga perhitungan desain menjadi lebih presisi dibandingkan parameter transistor (β) yang bervariasi terhadap suhu.

C. Mixer (Pencampur sinyal)



GAMBAR 2
Skema rangkaian Mixer

Mixer merupakan rangkaian elektronika non-linear yang berfungsi untuk mengombinasikan dua sinyal listrik dengan frekuensi berbeda sehingga menghasilkan sinyal keluaran dengan komponen frekuensi baru. Sinyal keluaran yang dihasilkan oleh mixer bukan sekadar penjumlahan kedua sinyal masukan, melainkan terdiri dari komponen frekuensi hasil operasi perkalian kedua sinyal tersebut. Oleh karena itu, mixer sering digunakan sebagai rangkaian konversi frekuensi pada sistem elektronika dan komunikasi.

Dalam implementasinya, mixer memanfaatkan sifat non-linear dari komponen aktif seperti transistor, dioda, atau rangkaian terpadu (*integrated circuit*). Ketidaklinieran ini menyebabkan terjadinya interaksi antara kedua sinyal masukan, sehingga menghasilkan spektrum frekuensi baru pada keluaran. Pada mixer ideal, hanya komponen frekuensi yang diinginkan yang dihasilkan, namun pada praktiknya juga muncul komponen harmonik dan derau yang perlu dikendalikan melalui perancangan rangkaian yang tepat.

Mixer memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai sistem elektronika, khususnya pada sistem komunikasi, pengolahan sinyal, dan konversi frekuensi. Dalam sistem pemancar, mixer digunakan untuk memodulasikan sinyal informasi ke sinyal pembawa, sedangkan dalam sistem penerima, mixer berfungsi untuk menurunkan frekuensi sinyal agar dapat diproses lebih lanjut. Kualitas kinerja suatu sistem sangat bergantung pada karakteristik mixer yang digunakan.

Berdasarkan konfigurasi rangkaiannya, mixer dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain mixer tak seimbang, mixer seimbang, dan mixer ganda seimbang. Mixer seimbang dan ganda seimbang memiliki keunggulan dalam menekan kebocoran sinyal pembawa dan sinyal masukan, sehingga menghasilkan keluaran yang lebih bersih dan minim distorsi. Jenis mixer ini banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kualitas sinyal tinggi.

Dalam sistem *Audio Converter to Ultrasonic*, mixer berfungsi sebagai blok utama yang melakukan proses penggabungan sinyal audio sebagai sinyal modulasi dengan sinyal ultrasonik sebagai sinyal pembawa. Hasil keluaran mixer berupa sinyal ultrasonik termodulasi yang membawa informasi audio. Oleh karena itu, pemilihan dan perancangan mixer menjadi faktor penting dalam menentukan keberhasilan proses konversi sinyal audio ke ultrasonik, baik

dari sisi keakuratan frekuensi, kestabilan amplitudo, maupun kualitas spektrum sinyal keluaran.

Klasifikasi dan jenis Mixer pada sistem

Berdasarkan skema rangkaian yang ditunjukkan ada gambar 2.2, Mixer yang digunakan dalam penelitian ini tidak menggunakan komponen pasif (dioda), melainkan menggunakan rangkaian terintegrasi (Integrated Circuit). Oleh karena itu, klasifikasi mixer dalam sistem ini dapat ditinjau berdasarkan tiga aspek utama elemen aktif yang digunakan, topologi keseimbangan (*balance topology*), dan mekanisme perkalian sinyal.

1. Mixer Aktif (Active Mixer)

Rangkaian pada Gambar 2.2 diklasifikasikan sebagai Mixer Aktif. Berbeda dengan mixer pasif yang menggunakan dioda dan menyebabkan redaman sinyal (*conversion loss*), Mixer aktif menggunakan komponen penguat seperti transistor atau Operational Amplifier (dalam hal ini terintegrasi dalam IC).

2. Mixer penyeimbang Ganda (Double Balanced Mixer)

Ditinjau dari topologi keseimbangannya, IC MC1496 yang digunakan pada Gambar 2.2 merupakan jenis Mixer Penyeimbang Ganda atau *Double Balanced Mixer* (DBM). Pada mixer jenis ini, rangkaian dirancang simetris sedemikian rupa sehingga sinyal input (Audio) dan sinyal pembawa (*Carrier*) saling meniadakan di sisi output jika tidak ada modulasi. Artinya, pada output mixer ideal hanya akan muncul frekuensi hasil penjumlahan ($f_c + f_s$) dan pengurangan ($f_c - f_s$), sedangkan frekuensi asli audio (f_s) dan *Carrier* (f_c) akan diredam (*suppressed*).

3. Mixer Berbasis Sel Gilbert (Gilbert Cell Mixer)

Secara internal, IC MC1496 bekerja berdasarkan prinsip Sel Gilbert (*Gilbert Cell*). Sel Gilbert adalah topologi rangkaian transistor yang berfungsi sebagai pengali analg empat-kuadran (*Four-quadrant multiplier*).

Dalam skema Gambar 2.2, Sel Gilbert di dalam IC melakukan operasi perkalian matematis secara *real-time* antara sinyal tegangan audio $V_s(t)$ dan sinyal *carrier* $V_c(t)$.

$$V_{out}(t) = K \cdot V_s(t) \cdot V_c(t)$$

Dimana K adalah konstanta penguatan mixer.

Prinsip Sel Gilbert ini menjadi landasan mengapa rangkaian pada Gambar 2.2 mampu menghasilkan modulasi amplitud yang linier dengan distorsi yang rendah dibandingkan jika menggunakan mixer.

III. METODE

A. Spesifikasi Sistem

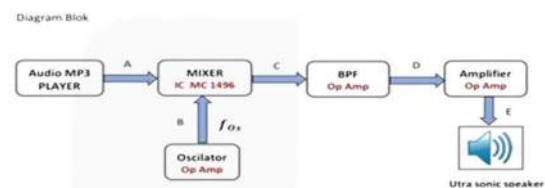
TABEL 1

Parameter	Sub-Parameter	Spesifikasi/Nilai
Input Sistem (Audio)	Sumber Sinyal	Output Audio MP3 Player/Smartphone
	Rentang Frekuensi-Input	20 Hz - 15 kHz

Parameter	Sub-Parameter	Spesifikasi/Nilai
Proses Konversi (Mixer)	Frekuensi Pembawa (f_c)	40 kHz (Tipikal) 25 kHz- 55 kHz
	Spektrum Output Mixer	40 Hz (antara 40 kHz $\pm$ 20 Hz)
	Celah Frekuensi (<i>Gap</i>)	
Output Ultrasonik	Tipe Sinyal	Sinyal termulasi mengikuti pola audio
	Fitur <i>Tunable</i> (Pengaturan)	Frekuensi tengah dapat 36 kHz- 85 kHz
	<i>Bandwidth</i> Filter (BPF)	Adjustable antara 15 kHz – 30 kHz

B. Diagram Blok

Diagram blok sistem menggambarkan aliran sinyal dan pemrosesan yang terjadi antara komponen. Bagian-bagian utama dalam diagram blok adalah :



GAMBAR 3
Diagram blok

Perancangan sistem *Audio Converter to Ultrasonic* digambarkan melalui diagram blok pada Gambar 3.1 Diagram ini merepresentasikan alur pemrosesan sinyal secara bertahap, yang mengacu pada prinsip kerja pemancar akustik terarah (*acoustic directional transmitter*) seperti yang dijelaskan dalam penelitian sebelumnya.

Berdasarkan Gambar 3.1, prinsip kerja sistem dijelaskan berdasarkan aliran sinyal pada titik-titik referensi (a,b,b,d, dan e) sebagai berikut

a. Sinyal Input Audio (Informasi)

Pada bagian ini merupakan masukan utama sistem yang berasal dari *Audio MP3 Player* atau *Smartphone*. Sinyal pada titik A Adalah sinyal informasi audio analog dengan rentang frekuensi audible (20 Hz – 20 kHz) yang berfungsi sebagai sinyal pemodulasi (modulating signal).

b. Sinyal Pembawa (Carrier Signal)

Sinyal pada titik B dihasilkan oleh rangkaian Osilator berbasis Op-Amp . Sesuai dengan teknik pembangkitan sinyal ultrasonik analog, osilator ini dirancang sebagai *Tunable Oscillator* yang membangkitkan gelombang sinusoidal dengan frekuensi ultrasonik (f_{os}) yang dapat

diatur dalam rentang 36 kHz hingga 85 kHz. Frekuensi 40 kHz dipilih sebagai frekuensi Tengah tipikal karena merupakan frekuensi resonansi yang umum digunakan untuk efisien modulasi ultrasonic.

c. Proses Pencampuran (*Mixing*)

Sinyal audio (A) dan sinyal pembawa (B) masuk ke blok Mixer yang menggunakan IC MC 1496. Di titik C, terjadi proses modulasi amplitude (AM) atau Double Sideband (DSB). Menurut teori modulasi ultrasonik, pencampuran ini akan menghasilkan sinyal yang mengandung komponen frekuensi penjumlahan ($f_c + f_s$) dan pengurangan ($f_c - f_s$) pada spektrum ultrasonik, yang diperlukan agar suara dapat dipancarkan melalui medium udara secara terarah.

d. Penapisan Sinyal (*Filtering*)

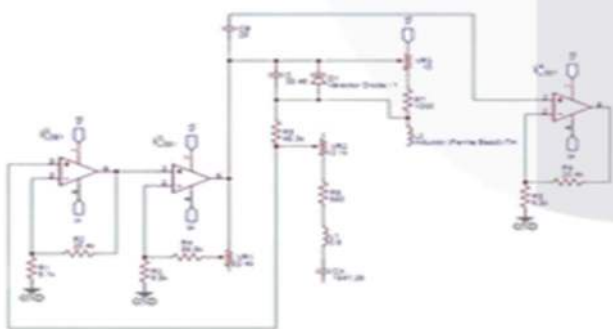
Sinyal hasil modulasi kemudian diteruskan ke blok BPF (*Band Pass Filter*) berbasis Op-Amp. Pada titik D, BPF berfungsi untuk meloloskan spektrum frekuensi ultrasonik yang diinginkan (*Pass band*) dan meredam frekuensi gangguan atau *noise* di luar pita kerja tersebut, guna meminimalkan distorsi sinyal sebelum dipancarkan.

e. Penguatan dan Output Akhir

Sinyal ultrasonik yang telah difilter kemudian masuk ke blok Amplifier. Pada titik E, sinyal diperkuat dayanya agar mampu menggerakkan beban keluaran. Output akhir sistem dihubungkan ke *Ultrasonic Speaker* yang berfungsi sebagai *transducer*. Berdasarkan prinsip Parametric Array, gelombang ultrasonik intensitas tinggi ini akan mengalami demodulasi secara alami (self-demodulation) akibat sifat non-linearitas udara pendengar yang dituju.

C. Desain Rangkaian Osilator

Perancangan osilator difokuskan untuk memenuhi kebutuhan frekuensi yang dapat diubah-ubah (*tunable*).



GAMBAR 4
Rangkaian Osilator

1. Prinsip Kerja dan Kriteria Osilator

Rangkaian osilator menggunakan Op-Amp dengan konfigurasi umpan balik. Agar osilasi terjadi secara berkelanjutan, rangkaian harus memenuhi kriteria berikut:

Total Gain (A) : Nilai penguatan total dari Op-Amp 1 dan 2

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(1 + \frac{R_{T4}}{R_3}\right)$$

Faktor Umpan Balik β

$$\beta = \frac{X_L + X_C + R_{T6}}{R_5 + R_{T6} + X_L + X_C} = \frac{1}{A}$$

Agar terjadi osilasi, harus dipenuhi syarat Barkhausen di mana $1 - A\beta = 0$. Dengan menyelesaikan persamaan impedansi pada kondisi osilasi, didapatkan dua syarat utama:

$$1 - A\beta = 0.$$

Syarat osilator = Osilasi terjadi jika dengan menyelesaikan persamaan impedansi pada kondisi osilasi, didapatkan dua syarat utama

Syarat Bagian Real (Resistansi) :

$$\frac{R_{T6}}{A - 1} = R_5$$

Syarat Bagian imajiner (Frekuensi) : Dari penyelesaian persamaan imajiner, diperoleh frekuensi osilasi (f_{OSC}):

$$f_{OSC} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC_x} - \frac{1}{LC_T(A - 1)}}$$

2. Metode Perhitungan Komponen (Tunable Oscillator)

Direncanakan frekuensi osilator dapat diubah dalam rentang 36 kHz s/d 85 kHz dengan mengubah nilai C_T (menggunakan dioda varaktor). Kapasitor total C_T terdiri dari kapasitor tetap C dan kapasitor variabel C_{VAR} ($C_{T2} = C + C_{VAR}$).

Untuk menentukan nilai komponen L, C , dan C_X yang optimal, digunakan metode manipulasi persamaan pada dua titik frekuensi ekstrem :

Mendefinisikan Konstanta : didefinisikan nilai konstanta K berdasarkan selisih kuadrat frekuensi target :

$$K = (2\pi \times 85000)^2 - (2\pi \times 36000)^2$$

Nilai kapasitor tetap (C) dihitung dengan melibatkan nilai A (Gain), C_{VAR} (kapasitansi varaktor), dan konstanta B (dimana $B = \frac{K}{A-1}$):

$$C = \sqrt{\frac{X_1(A - 1)}{B \cdot C_{var}}} - C_{var}$$

Perumusan disesuaikan dari penurunan rumus .

Nilai induktor (L) dihitung setelah nilai C diketahui:

$$L = \frac{1}{X_1 \cdot C \cdot (A - 1)}$$

Nilai presisi untuk C dan C_X dapat dicapai dengan memparalelkan dua buah kapasitor.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Komponen dan Parameter Desain
Bagian ini menjelaskan nilai komponen spesifik yang digunakan, alasan pemilihan komponen, serta parameter target (frekuensi dan gain) yang ditetapkan agar sistem bekerja optimal.

1. Blok Osilator (Pembangkit Carrier)
Rangkaian osilator berfungsi membangkitkan sinyal pembawa (carrier) sinusoidal. Implementasi ini menggunakan topologi osilator berbasis Op-Amp dengan umpan balik LC.
2. Blok Mixer (Modulator)
Blok ini berfungsi memodulasi sinyal audio ke frekuensi ultrasonik menggunakan teknik *Balanced Modulator*.
3. Blok Amplifier (Penguat Akhir)
Sinyal hasil modulasi perlu diperkuat sebelum dikirim ke *transducer*.
 - Komponen Utama Op-Amp TL081 atau Power Amplifier sejenis.
 - Target Gain = Dibutuhkan penguatan tegangan (A_V) sekitar 10x Hingga 20x (20-26 dB) agar sinyal cukup kuat menggerakkan membrane *Ultrasonic speaker* piezoelektrik yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi resonansi.

B. Analisis Transformasi Sinyal dalam Sistem
Proses perubahan sinyal dari input hingga output melibatkan beberapa fenomena fisika gelombang. Berikut Adalah analisi transformasi yang terjadi di setiap tahap :

1. Tahap Input (Sinyal Baseband) = Sinyal masuk berupa gelombang suara analog (Listrik) dengan frekuensi rendah ($f_s = 1$ kHz). Pada tahap ini sinyal murni hanya membawa informasi amplitudo dan frekuensi audio.
2. Tahap Heterodying (Pencampuran di mixer) = Di dalam IC MC 1496, terjadi proses perkalian sinyal (*mixing*) antara sinyal audio $V_s(t)$ dan sinyal carrier ultrasonik $V_c(t)$. Fenomena yang terjadi adalahb Modulasi Amplitudo (AM) jenis Double Sideband (DSB). Secara matematis, interaksi ini menghasilkan frekuensi baru yaitu

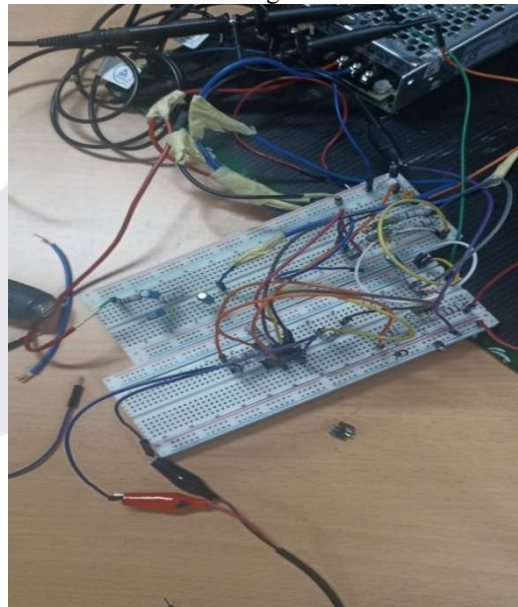
$$f_{out} = f_c \pm f_s$$

Jika $f_c = 40$ kHz dan $f_s = 1$ kHz, maka sinyal keluaran mixer akan memiliki dua komponen frekuensi utama = 39 kHz (Lower Sideband) dan 41 kHz (Upper Sideband). Fenomena *suppressed carrier* pada MC1496 menyebabkan frekuensi asli 40 kHz diredam amplitudonya.

3. Tahap Filtering (Seleksi Frekuensi):
Output mixer juga mengandung frekuensi harmonik orde tinggi (misal $2 f_c$, $3 f_c$) yang merupakan *noise*. Rangkaian BPF (*Band Pass Filter*) memotong frekuensi di bawah 30 kHz dan di atas 50 kHz. Fenomena yang terjadi di sini adalah atenuasi (redaman) terhadap sinyal yang tidak diinginkan, sehingga sinyal yang lolos adalah sinyal ultrasonik bersih yang mengandung informasi audio.
4. Tahap Propagasi (Self-Demodulation di Udara)
Setelah diperkuat dan dipancarkan oleh speaker, gelombang ultrasonik merambat di udara. Karena udara adalah medium non-linear, gelombang berintensitas tinggi ini akan mengalami distorsi alami saat merambat. Fenomena ini disebut Self-Demodulation, di mana komponen frekuensi audio (f_s) "muncul kembali" secara **otomatis dari** selubung (*envelope*) gelombang ultrasonik, sehingga suara dapat didengar oleh telinga manusia di titik target

C. Realisasi Perangkat Keras

Sistem ini telah direalisasikan dalam bentuk prototipe menggunakan papan percobaan (*breadboard*) untuk memvalidasi skema rangkaian.

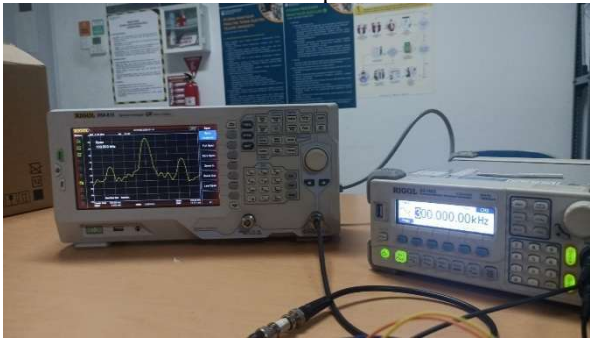


GAMBAR 5

Realisasi Perangkat Keras (Prototipe)



GAMBAR 6
Hasil Spektrum



GAMBAR 7
Hasil Spektrum

Keterangan Gambar 4.1:

- A (IC MC1496): Terletak di bagian tengah rangkaian, berfungsi sebagai *Balanced Modulator*.
- B (IC TL081): Terletak di sisi kiri, berfungsi sebagai pembentuk osilator dan *buffer*.
- C (Komponen Pasif): Resistor dan Kapasitor (satuan Ω dan F) yang disusun sebagai jaringan umpan balik osilator dan penentu *gain*.
- Wiring: Kabel *jumper* menghubungkan jalur catu daya +12V/-12V dan jalur sinyal antar blok.

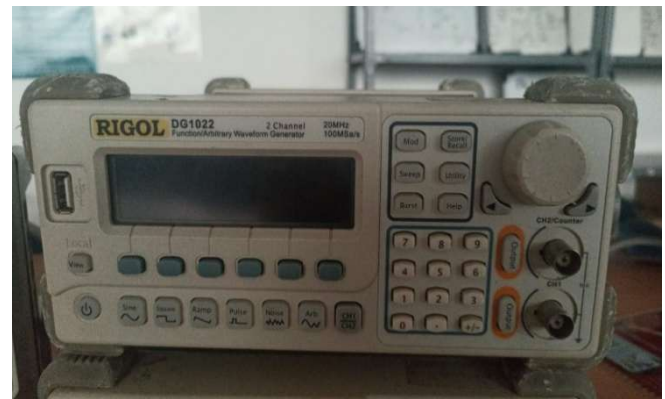
Realisasi pada *breadboard* ini memungkinkan pengukuran titik uji (*test point*) secara langsung menggunakan osiloskop dan spektrum analyzer untuk memverifikasi frekuensi 40 kHz yang dihasilkan osilator dan *sideband* yang dihasilkan mixer.

D. Perangkat dan Konfigurasi Pengujian

Untuk melakukan pengukuran yang akurat, digunakan perangkat standar laboratorium telekomunikasi. Berikut adalah konfigurasi alat ukur dan perangkat yang diuji (*Device Under Test*) seperti yang terlihat pada dokumentasi pengujian.

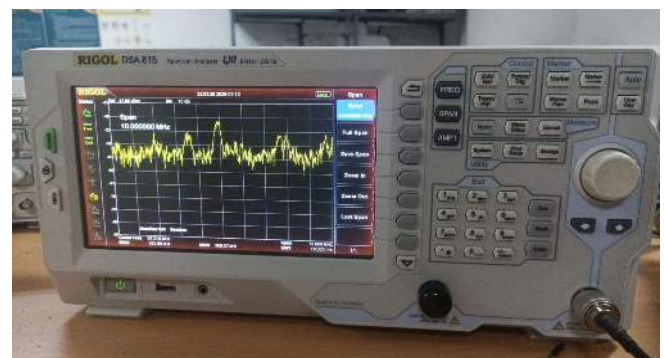
Berdasarkan dokumentasi pengujian, instrumen utama yang digunakan adalah:

- **RIGOL DG1022 (Function/Arbitrary Waveform Generator):** Alat ini berfungsi sebagai pembangkit sinyal masukan. Dalam pengujian ini, DG1022 digunakan untuk mensimulasikan sinyal audio (informasi) dengan frekuensi uji 1 kHz atau sinyal pembawa sesuai kebutuhan tuning.



GAMBAR 8
Function Generator

- **RIGOL DSA 815 (Spectrum Analyzer):** Alat ini digunakan untuk mengamati domain frekuensi dari sinyal keluaran. DSA 815 memungkinkan pengamatan spektrum sinyal ultrasonik, *bandwidth*, serta *sideband* hasil modulasi untuk memastikan sinyal berada pada rentang frekuensi yang diinginkan (di atas 20 kHz).

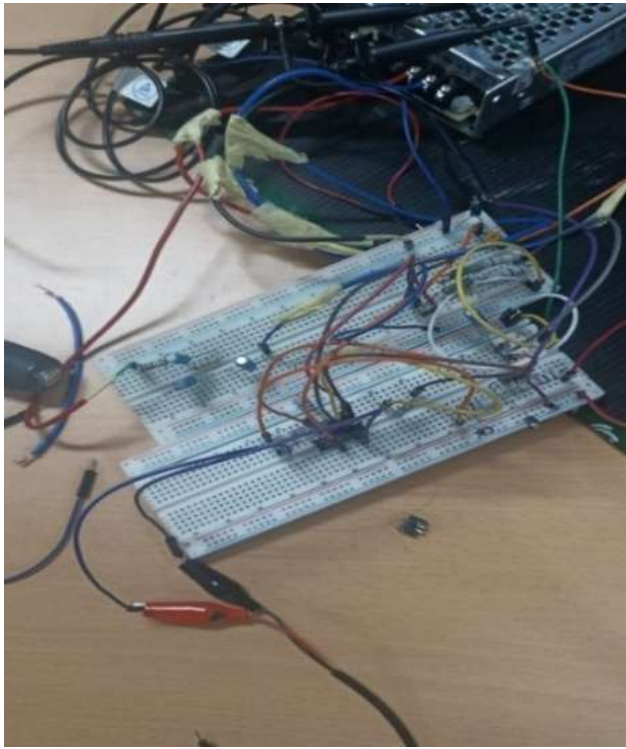


GAMBAR 9
Spectrum Analyzer

Perangkat yang diuji merupakan prototipe rangkaian yang diimplementasikan pada papan percobaan (*breadboard*).

Rangkaian ini mencakup komponen utama seperti:

1. IC MC1496: Sebagai *Balanced Modulator* untuk mencampur sinyal audio dan ultrasonik.
2. Op-Amp: Sebagai penguat dan penyangga (*buffer*) pada osilator.
3. Komponen Pasif: Resistor dan kapasitor yang disusun sebagai penentu frekuensi osilasi dan filter.



GAMBAR 10
Rangkaian Mixer

E. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat: Menghubungkan *Power Supply* ke rangkaian *breadboard* untuk memberikan tegangan bias pada IC dan Op-Amp.
2. Injeksi Sinyal: Menghubungkan output dari RIGOL DG1022 ke input rangkaian sebagai simulasi sinyal audio (misal: gelombang sinus 1 kHz).
3. Monitoring Output: Menghubungkan *probe* dari RIGOL DSA 815 ke titik output rangkaian (setelah tahap Mixer/BPF).
4. Pengamatan Spektrum: Mengamati tampilan layar pada RIGOL DSA 815 untuk melihat munculnya frekuensi pusat (*center frequency*) di sekitar 40 kHz dan frekuensi sisi (*sidebands*) hasil modulasi.

F. Hasil Pengujian dan Analisis

Berdasarkan pengamatan pada layar *Spectrum Analyzer* (seperti terlihat pada Gambar 5.1), diperoleh hasil sebagai berikut:

- **Keluaran Osilator**
Terdeteksi adanya sinyal dominan (puncak gelombang) pada frekuensi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian osilator pada *breadboard* berhasil membangkitkan sinyal pembawa (*carrier*) ultrasonik. Frekuensi ini sesuai dengan perancangan teoretis yaitu pada rentang ultrasonik (>20 kHz).
- **Proses Modulasi**
Ketika sinyal input audio diinjeksikan, *Spectrum Analyzer* menampilkan respons frekuensi yang

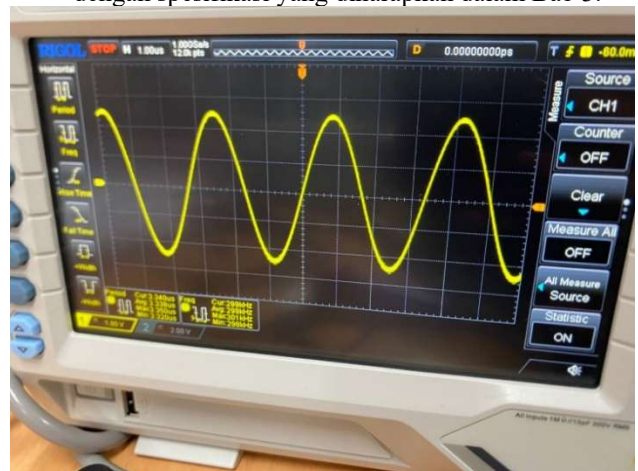
melebar di sekitar frekuensi pembawa. Hal ini mengindikasikan bahwa informasi sinyal audio berhasil ditumpangkan ke sinyal ultrasonik melalui proses modulasi amplitudo pada IC MC1496.

- **Kestabilan Rangkaian:**

Meskipun rangkaian masih berupa prototipe pada *breadboard* dengan kabel yang cukup kompleks (Gambar 5.2), sinyal yang dihasilkan terbaca cukup stabil pada alat ukur. Gangguan *noise* yang mungkin muncul akibat penggunaan kabel *jumper* yang panjang dapat diminimalisir dengan penggunaan kabel *shielded* pada tahap implementasi selanjutnya.

G. Hasil Pengukuran

Pengujian perangkat keras menggunakan Rigol DG1022 dan DSA 815 membuktikan bahwa desain sistem *Audio Converter to Ultrasonic* dapat bekerja secara fungsional. Rangkaian pada *breadboard* mampu mengonversi sinyal input menjadi sinyal ultrasonik termodulasi sebesar ± 40 kHz, sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan dalam Bab 3.

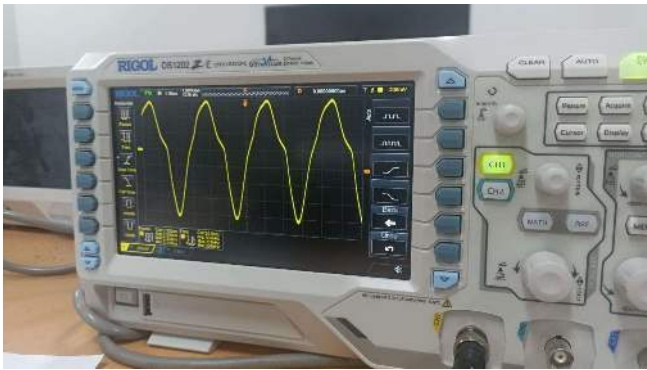


GAMBAR 11
Hasil Percobaan Rangkaian Mixer pada Osiloskop

Berdasarkan Gambar 5.4, pengukuran keluaran rangkaian Mixer menggunakan osiloskop menunjukkan terbentuknya gelombang sinusoidal kontinu dalam domain waktu. Sinyal yang tertangkap pada layar memiliki amplitudo yang relatif stabil dan bentuk gelombang yang periodik tanpa distorsi yang signifikan.

Secara visual, gelombang ini merepresentasikan sinyal pembawa (*carrier*) yang dominan pada keluaran Mixer. Meskipun secara teori sinyal keluaran Mixer seharusnya menunjukkan selubung modulasi (*envelope*) akibat percampuran dengan sinyal audio, tampilan gelombang sinus murni ini mengindikasikan bahwa frekuensi pembawa berhasil diteruskan melalui rangkaian. Parameter frekuensi yang terukur pada osiloskop (sekitar 300 kHz) menunjukkan bahwa sistem bekerja pada frekuensi yang lebih tinggi dari target perancangan awal (40 kHz), yang kemungkinan

disebabkan oleh nilai komponen induktor atau kapasitor pada tangki osilator yang perlu penyesuaian (tuning) lebih lanjut.



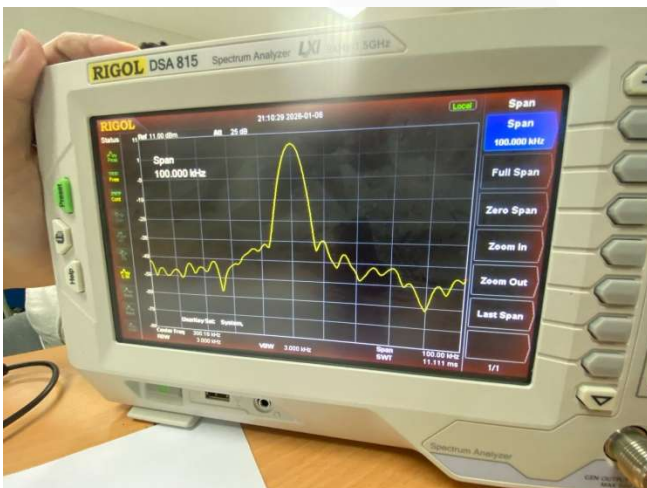
GAMBAR 12

Hasil Pengukuran Rangkaian Osilator pada Osiloskop

Gambar 5.5 memperlihatkan karakteristik sinyal yang dibangkitkan langsung oleh blok Osilator sebelum masuk ke tahap pencampuran. Hasil pengamatan pada osiloskop menunjukkan bentuk gelombang yang mendekati sinusoidal, yang menandakan bahwa syarat osilasi Barkhausen pada rangkaian telah terpenuhi ($A\beta \geq 1$).

Kestabilan amplitudo yang terlihat pada layar mengonfirmasi bahwa osilator mampu mempertahankan getaran listrik secara mandiri (*self-sustaining*). Namun, jika dibandingkan dengan Gambar 5.4, terlihat adanya kemiripan frekuensi yang dihasilkan, yang memvalidasi bahwa sinyal yang muncul pada output *Mixer* memang bersumber dari Osilator ini.

Hasil ini membuktikan bahwa blok Osilator telah berfungsi sebagai pembangkit sinyal pembawa (*carrier generator*), meskipun frekuensi kerjanya masih berada di kisaran 300 kHz dan memerlukan kalibrasi ulang agar sesuai dengan spesifikasi transduser ultrasonik (40 kHz).



GAMBAR 13

Pengukuran Rangkaian Mixer pada Osiloskop

Gambar 5.6 menggunakan *Spectrum Analyzer* memperlihatkan respons spektrum dari sinyal keluaran sistem. Pada layar instrumen, terlihat sebuah *peak* (puncak) daya yang sangat dominan pada frekuensi tengah (*center frequency*) sekitar 300 kHz dengan level daya (*amplitude*) yang signifikan di atas *noise floor*.

Puncak tunggal ini merepresentasikan frekuensi pembawa (*carrier*) yang kuat. Adanya pelebaran spektrum (*spectral widening*) atau komponen frekuensi kecil di sisi kiri dan kanan puncak utama mengindikasikan adanya efek modulasi atau *sideband*, meskipun level dayanya jauh lebih rendah dibandingkan *carrier*. Hasil ini memverifikasi bahwa rangkaian *Mixer* (IC MC1496) bekerja secara fungsional dalam memproses sinyal, di mana frekuensi masukan dari generator sinyal dapat memengaruhi karakteristik spektrum keluaran, sebagaimana dibuktikan oleh perubahan respons frekuensi saat input diubah-ubah selama pengujian.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, dan pengukuran yang telah dilakukan pada bagian Osilator dan Mixer terdapat kendala sebagai berikut :

1. Osiloskop tidak berfungsi dengan benar terbukti dari pengukuran menggunakan generator sinyal sinusoidal. Osilator tidak menunjukkan gelombang sinus.
2. Spektrum Analyzer tidak berfungsi dengan benar terbukti dari pengukuran spektrum frekuensi dengan input sinyal dari generator sinyal sinusoidal. Seharusnya spektrum analyzer menunjukkan spektrum frekuensi sesuai dengan frekuensi generator sinyal.
3. Saat pengukuran Mixer pada output spektrum analyzer diperoleh frekuensi yang berubah-ubah bila input sinyal mixer dari generator sinyal di ubah-ubah. Hal ini menunjukkan bahwa bagian mixer berfungsi.
4. Pada Osilator diperoleh frekuensi sekitar 300 kHz pada bagian osilator belum berfungsi dengan baik

B. Saran

Perlu pengukuran ulang dengan alat ukur osiloskop dan Spektrum Analyzer bekerja dengan baik.

REFERENSI

- [1] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, dan J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [2] S. Haykin dan M. Moher, *Communication Systems*, 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [3] R. L. Boylestad dan L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 11th ed. Boston: Pearson, 2013.
- [4] M. Yoneyama, J. Fujimoto, Y. Kawamo, dan S. Sasabe, "The audio spotlight: An application of nonlinear interaction of sound waves to a new type of loudspeaker design," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 73, no. 5, pp. 1532–1536, 1983.
- [5] F. J. Pompei, "The Use of Airborne Ultrasonics for Generating Audible Sound Beams," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 47, no. 9, pp. 723–743, 1999.
- [6] H. O. Berkta, "Possible exploitation of non-linear acoustics in underwater transmitting applications,"

- Journal of Sound and Vibration, vol. 2, no. 4, pp. 435-461, 1965.
- [7] D. Liu, W. Xu, dan J. H. L. Hansen, "The Design of Acoustic Directional Transmitter Based on Ultrasonic Modulation," International Conference on Mechanical, Materials and Computing Technology (ICMMCT), 2019.
- [8] ON Semiconductor, MC1496 Balanced Modulator/Demodulator Data Sheet Rev. 10, Phoenix: ON Semiconductor, 2006.
- [9] Texas Instruments, TL08xx JFET-Input Operational Amplifiers Data Sheet, Dallas: Texas Instruments, 2015.
- [10] Murata Manufacturing Co., Ltd., Ultrasonic Ceramic Sensors Application Manual, Kyoto: Murata Manufacturing, 2010.

