Konverter Audio Ke Ultrasonik *Audio Converter To Ultrasonic*

Rasheika Febrianti Hussein
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung
rasheikafebrianti@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sinyal audio memiliki rentang frekuensi 20 Hz hingga 20 kHz yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi elektronika dan komunikasi. Namun, penggunaan sinyal audio secara langsung memiliki keterbatasan karena dapat menimbulkan gangguan suara di lingkungan sekitar serta rentan terhadap kebisingan yang memengaruhi kualitas informasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan merealisasikan sistem *Audio Converter to Ultrasonic* yang mampu mengonversi sinyal audio menjadi sinyal ultrasonik tanpa menghilangkan informasi yang terkandung di dalamnya. Sistem dirancang menggunakan rangkaian osilator sebagai pembangkit frekuensi pembawa ultrasonik dan rangkaian modulasi analog untuk membawa informasi dari sinyal audio. Melalui proses modulasi, informasi audio ditransmisikan dalam bentuk gelombang ultrasonik yang tidak dapat didengar manusia tetapi tetap mempertahankan karakteristik sinyal aslinya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan sinyal ultrasonik dengan frekuensi pembawa sekitar 40 kHz yang termodulasi oleh sinyal audio 1 kHz. Berdasarkan pengamatan bentuk gelombang dan analisis hasil pengujian, informasi audio berhasil dimodulasikan secara stabil ke dalam sinyal ultrasonik. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah berfungsi sesuai tujuan penelitian dan berpotensi digunakan sebagai alternatif pengolahan serta transmisi sinyal audio berbasis ultrasonik.

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

Abstract

Audio signals have a frequency range of 20 Hz to 20 kHz which is widely used in various electronics and communication applications. However, the use of audio signals directly has limitations because it can cause sound interference in the surrounding environment and is susceptible to noise that affects the quality of information. This research aims to design and realize an Audio Converter to Ultrasonic system that is able to convert audio signals into ultrasonic signals without losing the information contained therein. The system is designed using an oscillator circuit as an ultrasonic carrier frequency generator and an analog modulation circuit to carry information from the audio signal. Through the modulation process, audio information is transmitted in the form of ultrasonic waves that cannot be heard by humans but still maintains the characteristics of the original signal. Test results show that the system is able to produce ultrasonic signals with a carrier frequency of around 40 kHz modulated by a 1 kHz audio signal. Based on waveform observations and analysis of test results, audio information has been successfully modulated stably into ultrasonic signals. Thus, the designed system has functioned according to the research objectives and has the potential to be used as an alternative for processing and transmitting ultrasonic-based audio signals.

Keywords: Audio Converter, Audio Signal, Modulation, Oscillator, Ultrasonic

1. 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.

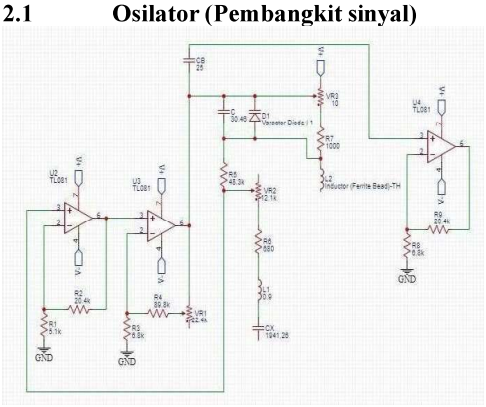
Disisi lain gelombang ultrasonik memiliki frekuensi di atas batas pendengaran manusia sehingga tidak menimbulkan gangguan suara. Meskipun demikian, pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk membawa informasi audio masih belum banyak dikembangkan secara optimal terutama pada sistem sederhana yang mudah direalisasikan. 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.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Osilator (Pembangkit sinyal)



GAMBAR 1
Skema rangkaian Osilator

Osilator merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi menghasilkan sinyal listrik bolak-balik secara periodik dan kontinu tanpa memerlukan sinyal masukan eksternal. Rangkaian ini bekerja dengan memanfaatkan mekanisme umpan balik positif (*positive feedback*) sehingga mampu menghasilkan gelombang dengan frekuensi tertentu, seperti gelombang sinus, kotak, maupun segitiga. Dalam berbagai sistem elektronika, osilator berperan sebagai sumber frekuensi yang stabil dan konsisten sehingga banyak digunakan pada sistem komunikasi, pengolahan sinyal, instrumen pengukuran, serta sistem kendali. Berdasarkan komponen penyusunnya, osilator dapat dibedakan menjadi osilator RC, LC, kristal, dan osilator berbasis *operational amplifier* (*op-amp*). Pemilihan jenis osilator disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi, terutama terkait rentang frekuensi, kestabilan sinyal, dan tingkat distorsi yang diizinkan. Pada aplikasi konverter audio ke ultrasonik, osilator digunakan sebagai pembangkit frekuensi pembawa ultrasonik yang berada di luar rentang pendengaran manusia.

Prinsip kerja osilator didasarkan pada penguatan sinyal dan pengembalian sebagian sinyal keluaran ke masukan melalui umpan balik positif. Agar osilasi dapat berlangsung secara terus-menerus dan stabil, rangkaian harus memenuhi Kriteria Barkhausen, yaitu memiliki penguatan total ($A\beta$) sama dengan satu serta pergeseran fasa total sebesar 0° atau 360°. Kondisi ini memungkinkan sinyal kecil yang berasal dari *noise* internal komponen diperkuat dan dipertahankan hingga membentuk gelombang periodik yang stabil tanpa memerlukan sumber sinyal awal. Oleh karena itu, keandalan osilator sangat bergantung pada kestabilan frekuensi, bentuk gelombang yang dihasilkan, serta kesesuaiannya dengan rangkaian lain yang terhubung, sehingga menjadi salah satu komponen fundamental dalam perancangan sistem elektronika modern.

2.2 Klasifikasi dan jenis Osilator pada sistem

Berdasarkan analisis skema rangkaian pada Gambar 1, osilator yang digunakan tidak sepenuhnya mengikuti satu topologi standar seperti Osilator Colpitts atau Osilator Hartley, melainkan merupakan kombinasi beberapa prinsip osilasi. Secara fundamental, rangkaian ini termasuk dalam kategori *feedback oscillator* karena memanfaatkan umpan balik positif untuk mempertahankan osilasi secara kontinu. Agar osilasi dapat berlangsung stabil, rangkaian harus memenuhi Kriteria Barkhausen, yaitu memiliki penguatan loop ($A\beta$) sama dengan atau lebih besar dari satu serta pergeseran fasa total sebesar 0° atau 360°. Selain itu, berdasarkan komponen penentu frekuensinya, rangkaian ini juga tergolong sebagai osilator LC karena frekuensi osilasi dihasilkan melalui resonansi antara induktor (L1 dan L2) dengan elemen kapasitif yang terdiri atas kapasitor dan dioda varaktor. Penggunaan rangkaian LC memungkinkan sistem menghasilkan frekuensi ultrasonik dengan kestabilan yang baik serta tingkat *noise* yang relatif rendah.

Selain dikategorikan sebagai osilator LC, rangkaian ini juga merupakan *Voltage Controlled Oscillator* (*VCO*) karena frekuensi keluarannya dapat diatur melalui perubahan tegangan pada dioda varaktor. Perubahan tegangan bias akan mengubah nilai kapasitansi varaktor sehingga frekuensi osilasi dapat disetel secara kontinu tanpa mengganti komponen fisik. Dari sisi elemen aktif, osilator ini menggunakan *operational amplifier* (*Op-Amp*) TL081 sehingga termasuk dalam kategori *Op-Amp Based Oscillator*. Dua buah *Op-Amp* digunakan sebagai penguat bertingkat untuk memenuhi syarat penguatan osilasi, sedangkan satu *Op-Amp* lainnya berfungsi sebagai *buffer* guna mengisolasi rangkaian osilator dari beban rangkaian berikutnya. Kombinasi karakteristik tersebut menghasilkan osilator yang stabil, mudah dikendalikan, dan sesuai digunakan sebagai pembangkit sinyal pembawa ultrasonik pada sistem *Audio Converter to Ultrasonic*.

2.3 Mixer (Pencampur sinyal)

Mixer merupakan rangkaian elektronika non-linear yang berfungsi menggabungkan dua sinyal dengan frekuensi berbeda untuk menghasilkan komponen frekuensi baru melalui proses perkalian sinyal. Dalam sistem elektronika dan komunikasi, mixer banyak digunakan untuk proses konversi frekuensi, modulasi, dan demodulasi sinyal. Pada penelitian ini, mixer berperan sebagai blok utama yang menggabungkan sinyal audio sebagai sinyal modulasi dengan sinyal ultrasonik sebagai sinyal pembawa sehingga menghasilkan sinyal ultrasonik termodulasi yang membawa informasi audio. Berdasarkan skema rangkaian pada Gambar 2.2, mixer yang digunakan termasuk dalam kategori *active mixer* karena memanfaatkan IC MC1496 sebagai elemen aktif.

Penggunaan mixer aktif memberikan beberapa keuntungan, seperti adanya *conversion gain* yang dapat memperkuat sinyal hasil konversi serta isolasi yang lebih baik antara masukan audio, masukan sinyal pembawa, dan keluaran sehingga mengurangi kebocoran sinyal antarblok rangkaian.

Ditinjau dari topologi rangkaiannya, MC1496 merupakan *double balanced mixer* (*DBM*) yang dirancang secara simetris untuk menekan kemunculan sinyal audio (*fS*) dan sinyal pembawa (*fC*) pada keluaran. Dengan demikian, K konstanta B (dimana $B = \frac{}{A-1}$):

keluaran mixer didominasi oleh frekuensi hasil

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

penjumlahan (*fC* + *fS*) dan pengurangan (*fC* – *fS*), sehingga menghasilkan sinyal *Double Sideband Suppressed Carrier* (*DSB-SC*) yang lebih efisien secara spektral. Secara internal, IC MC1496 bekerja menggunakan prinsip *Gilbert Cell*, yaitu rangkaian pengali analog empat kuadran (*four-quadrant multiplier*) yang melakukan operasi perkalian antara sinyal audio dan sinyal pembawa secara real-time. Prinsip ini memungkinkan proses modulasi amplitudo berlangsung secara linier dengan tingkat distorsi yang rendah, sehingga sangat sesuai digunakan pada sistem *Audio Converter to Ultrasonic* untuk menghasilkan sinyal ultrasonik termodulasi yang stabil dan berkualitas baik.

2.4 Prinsip Kerja dan Kriteria Osilator

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

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

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R1}\right) \times \left(1 + \frac{R_{T4}}{R3}\right)$$

$$\beta = \frac{\text{XL+XC+RT6}}{\text{R5 +RT6+XL+ XC}} = \frac{1}{A}$$

Faktor Umpan Balik (b)

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

$$1 - \tilde{A}\beta = \tilde{0}.$$

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 (FOSC):

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

2.4 Metode Perhitungan Komponen *(Tunable Oscillator)*

Direncanakan frekuensi osilator dapat diubah dalam rentang 36 kHz s/d 85 kHz dengan mengubah nilai C_T (menggunakan dida 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 metde manipulasi persamaan pada dua titik frekuensi ekstrem :

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

Nilai kapasitor tetap (C) dihitung dengan melibatkan nilai A (Gain), C_{VAR} (kapasitansi varaktor), dan Perumusan disesuaikan dari penurunan rumus.

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

Nilai induktor (L) dihitung setelah nilai C diketahui:

3. Pembahasan

3.1. Tujuan Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk memverifikasi kinerja *Audio Converter to Ultrasonic* yang telah dirancang serta memastikan setiap blok rangkaian bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian osilator mampu menghasilkan sinyal pembawa (*carrier*) ultrasonik pada frekuensi sekitar 40 kHz secara stabil. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memastikan bahwa *function generator* dapat mensimulasikan sinyal audio masukan dengan baik sehingga dapat digunakan sebagai sumber sinyal uji selama proses modulasi. Untuk menganalisis kinerja sistem secara keseluruhan, sinyal keluaran diamati menggunakan *Spectrum Analyzer* guna mengidentifikasi spektrum frekuensi yang dihasilkan. Melalui pengamatan tersebut dapat dibuktikan terjadinya proses modulasi yang ditandai dengan munculnya komponen frekuensi *sideband* pada frekuensi *fc* ± *fs*. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan proses konversi sinyal audio menjadi sinyal ultrasonik serta memastikan bahwa informasi audio dapat ditransmisikan melalui gelombang ultrasonik sesuai dengan tujuan perancangan sistem.

3.2. Perangkat dan Konfigurasi Pengujian

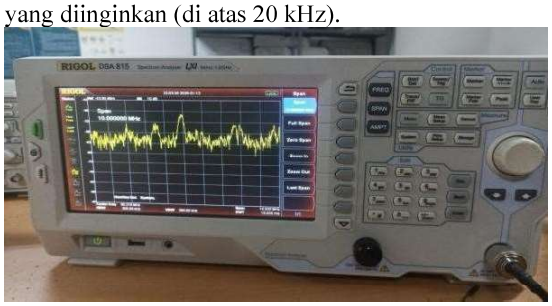
Untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat, pengujian dilakukan menggunakan peralatan standar laboratorium telekomunikasi. Salah satu instrumen utama yang digunakan adalah RIGOL DG1022 (*Function/Arbitrary Waveform Generator*), yaitu perangkat yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal masukan pada sistem. Dalam penelitian ini, DG1022 digunakan untuk mensimulasikan sinyal audio sebagai sinyal informasi dengan frekuensi uji sebesar 1 kHz yang kemudian dimasukkan ke

blok mixer untuk proses modulasi. Selain sebagai sumber sinyal audio, perangkat ini juga dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi tertentu yang diperlukan selama proses pengujian dan kalibrasi rangkaian. Penggunaan *function generator* memungkinkan parameter sinyal seperti frekuensi, amplitudo, dan bentuk gelombang diatur secara presisi sehingga kondisi pengujian dapat dikontrol dengan baik. Dengan demikian, RIGOL DG1022 berperan penting dalam memastikan bahwa sinyal masukan yang diberikan kepada sistem sesuai dengan spesifikasi perancangan sehingga kinerja rangkaian *Audio Converter to Ultrasonic* dapat dievaluasi secara akurat dan konsisten.



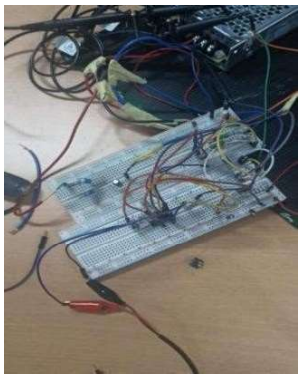
GAMBAR 2
Function Generator

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 3
Spectrum Analyzer

Perangkat yang diuji merupakan prototipe *Audio Converter to Ultrasonic* yang direalisasikan pada *breadboard*. Rangkaian ini terdiri atas IC MC1496 sebagai *balanced modulator* untuk mencampurkan sinyal audio dan sinyal ultrasonik, IC TL081 sebagai penguat dan *buffer* pada blok osilator, serta komponen pasif berupa resistor, kapasitor, dan induktor yang berfungsi sebagai penentu frekuensi osilasi, pengatur *gain*, dan penyusun rangkaian filter. Implementasi pada *breadboard* memudahkan proses pengujian, pengukuran, dan modifikasi rangkaian selama penelitian berlangsung.



GAMBAR 4
Rangkaian Mixer

Terlihat pada Gambar 4 rangkaian *Mixer* disusun secara modular pada *breadboard* untuk memudahkan *troubleshooting* dan pengukuran titik uji (*test point*) sebelum diimplementasikan ke PCB. Kabel *jumper* digunakan untuk menghubungkan jalur catu daya, input sinyal dari generator, dan output ke alat ukur.

3.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian diawali dengan tahap persiapan alat dan rangkaian. Pada tahap ini, *power supply* dihubungkan ke rangkaian yang telah direalisasikan pada *breadboard* untuk memberikan tegangan kerja sebesar ±12 V kepada IC MC1496, IC TL081, serta komponen pendukung lainnya. Setelah catu daya diberikan, dilakukan pemeriksaan terhadap seluruh koneksi rangkaian untuk memastikan tidak terdapat kesalahan pemasangan yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Selanjutnya, RIGOL DG1022 (*Function/Arbitrary Waveform Generator*) diatur untuk menghasilkan sinyal sinus dengan frekuensi 1 kHz sebagai simulasi sinyal audio. Sinyal tersebut kemudian dihubungkan ke terminal masukan rangkaian dan digunakan sebagai sinyal informasi yang akan dimodulasikan ke frekuensi ultrasonik. Pengaturan amplitudo sinyal juga disesuaikan agar tidak menyebabkan distorsi maupun *clipping* pada tahap modulasi.

Tahap berikutnya adalah pengukuran dan pengamatan sinyal keluaran. Probe dari RIGOL DSA815 (*Spectrum Analyzer*) dihubungkan pada titik keluaran rangkaian setelah blok mixer dan filter untuk mengamati spektrum frekuensi yang dihasilkan. Pengamatan dilakukan dengan mengatur rentang frekuensi (*span*) yang mencakup daerah ultrasonik di sekitar 40 kHz. Pada layar *spectrum analyzer*, diamati keberadaan frekuensi pembawa (*carrier*) yang dihasilkan oleh osilator serta frekuensi *sideband* yang muncul akibat proses modulasi. Jika sinyal audio yang diberikan sebesar 1 kHz dan frekuensi pembawa sebesar 40 kHz, maka diharapkan muncul komponen frekuensi pada sekitar 39 kHz dan 41 kHz sebagai *lower sideband* dan *upper sideband*. Selain itu, dilakukan pengamatan terhadap kestabilan amplitudo sinyal, tingkat kebisingan (*noise*), dan keberadaan harmonik yang tidak diinginkan.

Hasil pengamatan tersebut kemudian dianalisis untuk memastikan bahwa proses modulasi dan konversi sinyal audio ke ultrasonik telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem yang dibuat.

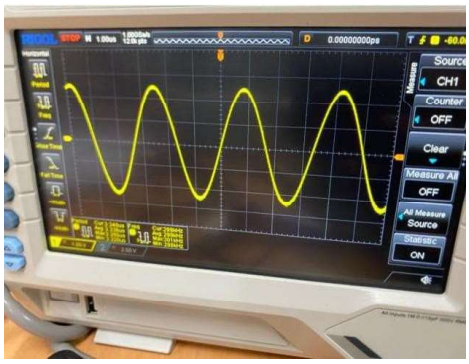
3.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *Spectrum Analyzer* yang ditunjukkan pada Gambar 2, diketahui bahwa rangkaian yang telah direalisasikan mampu bekerja sesuai dengan tujuan perancangan. Pada pengujian keluaran osilator, terdeteksi adanya puncak sinyal dominan pada daerah frekuensi ultrasonik yang menunjukkan bahwa rangkaian osilator berbasis TL081 berhasil membangkitkan sinyal pembawa (*carrier*) secara kontinu dan stabil. Frekuensi yang dihasilkan berada pada rentang ultrasonik, yaitu di atas 20 kHz dan mendekati frekuensi target sebesar 40 kHz. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi komponen induktor, kapasitor, serta jaringan umpan balik yang digunakan telah mampu menghasilkan frekuensi resonansi sesuai dengan perhitungan teoritis yang dilakukan pada tahap perancangan. Keberhasilan pembangkitan sinyal pembawa ini menjadi syarat utama agar proses modulasi pada tahap berikutnya dapat berlangsung dengan baik.

Ketika sinyal audio dari *Function Generator* diinjeksikan ke masukan rangkaian, tampilan pada *Spectrum Analyzer* menunjukkan adanya pelebaran spektrum di sekitar frekuensi pembawa. Fenomena ini mengindikasikan bahwa proses modulasi amplitudo pada IC MC1496 telah berhasil dilakukan, sehingga informasi audio dapat ditumpangkan pada sinyal ultrasonik. Munculnya komponen frekuensi di sekitar frekuensi pembawa menunjukkan terbentuknya *sideband* yang membawa informasi sinyal audio. Selain itu, hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa sinyal keluaran relatif stabil meskipun rangkaian masih direalisasikan dalam bentuk prototipe pada *breadboard* dengan penggunaan kabel *jumper* yang cukup banyak. Kondisi ini membuktikan bahwa rangkaian memiliki kestabilan kerja yang baik dan tidak mengalami gangguan yang signifikan selama proses pengujian. Meskipun demikian, masih terdapat potensi munculnya *noise* akibat panjang kabel dan tata letak komponen pada *breadboard*. Oleh karena itu, pada tahap pengembangan selanjutnya disarankan penggunaan PCB dan kabel *shielded* untuk meningkatkan kualitas sinyal serta mengurangi pengaruh interferensi dari lingkungan sekitar.

3.5. 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.



GAMBAR 5
Hasil Percobaan Rangkaian Mixer pada Osiloskop

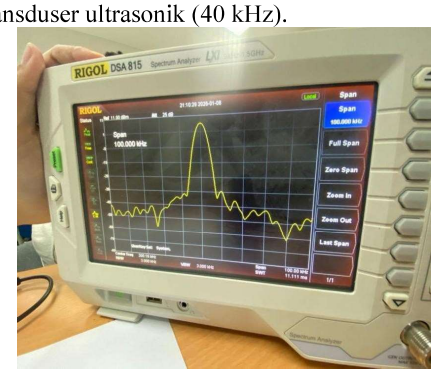
Berdasarkan Gambar 5, pengukuran keluaran rangkaian Mixer menggunakan osiloskop menunjukkan terbentuknya gelombang sinusoidal kontinu dalam domain waktu. Sinyal yang tertangkap pada layar memiliki amplitudo yang relatif stabil dan bentuk gelombang yang periodik tanpa distorsi yang signifikan. Secara 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 6
Hasil Pengukuran Rangkaian Osilator pada Osiloskop

Gambar 6 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 7
Pengukuran Rangkaian Mixer pada Osiloskop

Gambar 7 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 pengujianGambar 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.

4. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, realisasi, dan pengukuran yang telah dilakukan pada blok osilator dan mixer, diperoleh beberapa kendala yang memengaruhi hasil pengujian sistem. Kendala pertama ditemukan pada proses pengamatan menggunakan osiloskop. Saat dilakukan pengujian dengan memberikan sinyal sinusoidal dari generator sinyal, osiloskop tidak mampu menampilkan bentuk gelombang sinus sebagaimana yang seharusnya. Kondisi ini mengindikasikan adanya kemungkinan gangguan pada alat ukur, kesalahan pengaturan parameter pengukuran, atau kerusakan pada probe maupun kanal masukan osiloskop. Akibatnya, proses verifikasi bentuk gelombang keluaran dari osilator tidak dapat dilakukan secara optimal sehingga karakteristik sinyal yang dihasilkan sulit diamati secara langsung.

Kendala kedua terjadi pada penggunaan *spectrum analyzer*. Berdasarkan hasil pengujian, alat tersebut tidak menampilkan spektrum frekuensi yang sesuai dengan frekuensi keluaran dari generator sinyal. Secara teoritis, ketika generator sinyal menghasilkan frekuensi tertentu, maka *spectrum analyzer* harus mampu menampilkan puncak spektrum pada frekuensi yang sama. Ketidaksesuaian hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa terdapat kemungkinan kesalahan kalibrasi alat, pengaturan parameter pengukuran yang kurang tepat, atau adanya gangguan pada sistem pengukuran. Kondisi tersebut menyebabkan analisis frekuensi keluaran menjadi kurang akurat dan menyulitkan proses evaluasi kinerja rangkaian secara menyeluruh.

Meskipun demikian, pengujian pada bagian mixer menunjukkan hasil yang cukup baik. Hal ini dibuktikan dari perubahan frekuensi keluaran yang terdeteksi pada *spectrum analyzer* ketika frekuensi sinyal masukan dari generator sinyal diubah. Perubahan frekuensi keluaran tersebut menunjukkan bahwa IC MC1496 sebagai rangkaian mixer mampu melakukan proses pencampuran (*mixing*) antara sinyal masukan dan sinyal pembawa. Dengan kata lain, fungsi dasar mixer sebagai penghasil frekuensi hasil penjumlahan dan pengurangan dari dua sinyal masukan telah bekerja sesuai prinsip teoritis. Hasil ini menjadi indikasi bahwa blok mixer pada sistem *Audio Converter to Ultrasonic* telah beroperasi dengan baik meskipun masih terdapat keterbatasan pada alat ukur yang digunakan.

Berbeda dengan blok mixer, hasil pengukuran pada blok osilator menunjukkan bahwa frekuensi yang dihasilkan berada pada kisaran 300 kHz, jauh di atas frekuensi target yang direncanakan yaitu sekitar 40 kHz. Perbedaan ini menunjukkan bahwa rangkaian osilator belum bekerja sesuai spesifikasi desain. Ketidaksesuaian frekuensi tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti toleransi nilai komponen induktor dan kapasitor, kesalahan pemasangan komponen pada breadboard, pengaruh kapasitansi parasitik, maupun perhitungan parameter osilator yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan proses evaluasi dan penyempurnaan desain rangkaian osilator agar frekuensi keluaran dapat berada pada rentang ultrasonik yang diinginkan sehingga sistem dapat bekerja sesuai tujuan

penelitian.

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem *Audio Converter to Ultrasonic*, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Salah satu aspek yang perlu mendapat perhatian utama adalah proses pengukuran dan pengujian rangkaian. Pada penelitian ini ditemukan adanya kendala pada penggunaan osiloskop dan *spectrum analyzer* yang diduga belum bekerja secara optimal, sehingga hasil pengukuran bentuk gelombang maupun spektrum frekuensi belum dapat menggambarkan kondisi rangkaian secara akurat. Oleh karena itu, disarankan agar pada penelitian berikutnya dilakukan pengukuran ulang menggunakan osiloskop dan *spectrum analyzer* yang telah terkalibrasi serta dipastikan berada dalam kondisi kerja yang baik. Selain itu, perlu dilakukan pengecekan terhadap koneksi probe, pengaturan parameter pengukuran, serta kondisi perangkat pendukung lainnya agar data yang diperoleh memiliki tingkat akurasi dan validitas yang lebih tinggi. Dengan pengukuran yang lebih akurat, proses analisis kinerja osilator, mixer, dan keseluruhan sistem dapat dilakukan secara lebih mendalam sehingga hasil penelitian yang diperoleh menjadi lebih optimal dan dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem *Audio Converter to Ultrasonic* yang lebih baik pada masa mendatang.

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. Berktay, ”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:

[11] Murata Manufacturing, 2010