

PROYEK 2 - OSILATOR

Kean Malik Aji Santoso (13222083)

Tanggal Percobaan: 16/11/2024

EL3009 – Elektronika II

Laboratorium Dasar Teknik Elektro – Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB



Abstrak

Dalam proyek ini, dirancang, didesain, disimulasikan, diimplementasikan, dan diuji suatu rangkaian osilator yang dapat menghasilkan sinyal keluaran berupa gelombang sinusoidal yang memiliki spesifikasi tertentu, yaitu frekuensi, amplitudo, dan kemurnian sinyal (Nilai-nilai parameter FFT, yaitu OHIP2 dan OHIP3). Proyek ini diawali dengan proses perancangan dan desain yang perlu dilakukan dengan memilih jenis dan topologi rangkaian osilator yang sesuai dengan spesifikasi lalu menghitung nilai-nilai komponen rangkaian berdasarkan topologi yang dipilih dan spesifikasi. Hasil perancangan dan desain berjalan dengan baik dan dapat langsung diaplikasikan ke proses selanjutnya. Proses berlanjut ke simulasi dengan LTSPICE untuk mengetes dan memvalidasi kesesuaian rangkaian terhadap spesifikasi. Hasil simulasi menunjukkan hasil yang memuaskan, yaitu memenuhi predikat “Exemplary” pada frekuensi, amplitudo, dan kemurniannya. Terakhir, rangkaian hasil simulasi diimplementasikan secara real ke rangkaian fisik yang dapat direalisasikan di atas breadboard lalu dilakukan pengujian dan validasi seperti simulasi. Hasil validasi dan pengujian rangkaian fisik tidak sesuai dengan rangkaian simulasi sehingga perlu dilakukan modifikasi rangkaian fisik. Setelah proses modifikasi, hasil validasi dan pengujian rangkaian fisik memiliki predikat “Exemplary” untuk frekuensi dan predikat “Proficient” untuk amplitudo dan kemurnian. Secara lebih lanjut, rangkaian fisik memiliki hasil pengujian dan validasi yang berbeda dengan hasil pengujian dan validasi terhadap rangkaian simulasi. Hal tersebut dapat terjadi karena kondisi realita pada rangkaian fisik tidak terlalu diikutsertakan pada rangkaian simulasi sehingga hasil pengujian dan validasi antara keduanya tidak menunjukkan kemiripan. Jika kondisi realita diikutsertakan pada rangkaian simulasi, rangkaian simulasi dan rangkaian fisik memiliki kemiripan karakteristik. Hal tersebut dapat memberikan kemudahan, kebebasan, dan efisiensi dalam mengontrol kualitas sinyal keluaran agar sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.

Kata kunci: Desain, Simulasi, Implementasi Osilator, Spesifikasi.

1. PENDAHULUAN

Ada berbagai macam sinyal di dunia. Sinyal yang paling sering ditemui di sekitar kita adalah sinyal yang dihasilkan dari alat-alat komunikasi, seperti radio, televisi, dan gawai pintar. Karena hal

tersebut, sinyal memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari.

Sinyal memiliki berbagai bentuk dan memiliki fungsinya masing-masing berdasarkan bentuk gelombangnya. Ada sinyal yang berbentuk segitiga, ada yang berbentuk *sawtooth*, dan ada yang berbentuk segiempat. Salah satu bentuk gelombang yang paling umum adalah sinyal sinusoidal yang dapat terbentuk karena fungsi trigonometri. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, sinyal-sinyal yang paling umum digunakan adalah sinyal radio dan sinyal tersebut memiliki bentuk gelombang sinusoidal. Karena kegunaannya yang paling penting dalam sistem komunikasi, sinyal sinusoidal menjadi sinyal yang menjadi subjek utama dalam proyek ini.

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, sinyal-sinyal memiliki banyak kegunaan. Selain dibedakan oleh bentuk gelombangnya, kegunaan tersebut juga dibedakan oleh frekuensi tertentu. Khusus untuk sinyal radio, dapat dibedakan atas beberapa jenis, seperti 30-300 kHz untuk rentang *low-frequency* dan pemanfaatannya untuk navigasi. Berdasarkan hal tersebut, proyek ini memperhatikan frekuensi tertentu yang menjadi frekuensi dasar dalam sinyal sinusoidal yang dihasilkan.

Sinyal sinusoidal yang dihasilkan memiliki deskripsi yang harus dicapai secara spesifik. Deskripsi yang spesifik tersebut dapat dicapai dengan mencapai kemurnian tertentu dan amplitudo tertentu. Kemurnian harus dicapai dengan parameter tertentu dari sinyalnya, seperti harmonik dari analisis FFT. Amplitudo yang harus dicapai haruslah tidak terlalu kecil dan dapat dikatakan cukup besar, seperti di atas 2 V. Dengan dua hal tersebut, deskripsi yang sesuai dengan keinginan tertentu dapat dicapai.

Untuk menghasilkan sinyal yang berbentuk sinusoidal, ada berbagai cara. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah membuat rangkaian osilator atau rangkaian pembangun sinyal yang dapat menghasilkan sinyal sinusoidal. Rangkaian osilator dapat menghasilkan sinyal periodik yang dapat direpresentasikan oleh fungsi-fungsi matematis yang periodik, seperti fungsi

trigonometri yang menjadi dasar untuk menghasilkan sinyal sinusoidal.

Proyek ini berfokus pada pembuatan rangkaian osilator yang dapat menghasilkan sinyal yang memiliki gelombang sinusoidal murni. Sinyal tersebut memiliki spesifikasi tertentu yang dapat diketahui dari frekuensi yang diinginkan dan deskripsi yang spesifik: kemurnian dari parameter harmonik dan amplitudo sinyal sinusoidal. Karena hal tersebut, tujuan proyek ini adalah merancang, mendesain, membuat, mengimplementasikan, dan menguji rangkaian osilator yang dapat menghasilkan sinyal sinusoidal yang memiliki spesifikasi, yaitu frekuensi, kemurnian, dan amplitudo, tertentu.

2. STUDI PUSTAKA

Untuk mencapai tujuan proyek ini, perlu dilakukan studi pustaka yang berkaitan dengan rangkaian osilator yang dapat menghasilkan sinyal sinusoidal dengan spesifikasi yang sudah dirincikan sebelumnya.

2.1 RANGKAIAN OSILATOR

Rangkaian osilator yang dipakai dalam proyek ini adalah rangkaian osilator yang linier, yaitu rangkaian yang memanfaatkan fenomena resonansi, dan dapat menghasilkan sinyal sinusoidal. Secara lebih lanjut, rangkaian osilator yang digunakan merupakan sebuah rangkaian yang memiliki umpan balik positif yang terdiri atas susunan resistor, kapasitor, dan induktor yang menyeleksi frekuensi tertentu. Umpan balik positif memiliki arti bahwa umpan balik pada rangkaian osilator mengikuti kriteria Barkhausen:

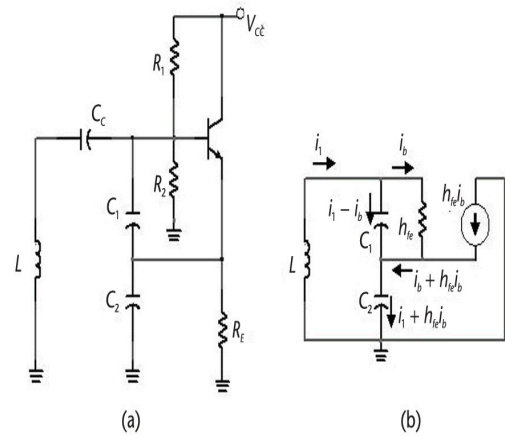
$$L(j\omega_o) = A(j\omega_o)\beta(j\omega_o) = 1 \dots (i)$$

Secara lebih lanjut, suatu rangkaian umpan balik dapat beresilasi jika

$$\angle A(j\omega_o)\beta(j\omega_o) = 0^\circ \text{ atau } 360^\circ \dots (ii)$$

$$|A(j\omega_o)\beta(j\omega_o)| \geq 1 \dots (iii)$$

Ada berbagai macam rangkaian osilator yang dapat digunakan. Jika melihat spesifikasi yang diberikan di subbab berikutnya, salah satu jenis rangkaian yang dapat dipakai adalah rangkaian osilator Colpitts yang memanfaatkan susunan induktor dan kapasitor dan ciri khasnya adalah ada satu induktor dan dua kapasitor yang digunakan pada rangkaian. Secara lebih lanjut, perhitungan rangkaian tersebut dapat diketahui di subbab berikutnya.



Gambar 2.1: Osilator Colpitts

2.2 SPESIFIKASI RANGKAIAN OSILATOR

Osilator yang ingin dibuat memiliki spesifikasi:

- Sinyal yang dihasilkan adalah sinyal sinusoidal;
- Frekuensi sinyal adalah $357 \pm <2\%$ kHz;
- Amplitudo sinyal melebihi VCC yang ditentukan; dan
- Sinyal yang dihasilkan memiliki deskripsi kemurnian:
 - OHIP2 dBV > 40; dan
 - OHIP3 dBV > 30.

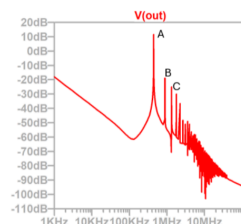
Secara lebih jelas, spesifikasi harus memenuhi hal yang dijelaskan melalui gambar berikut.

Kriteria	Exemplary	Proficient	Sufficient	Insufficient
Parameter Osilator				
Ketepatan Frekuensi	<2%	2%-5%	5%-10%	>10%
Amplitudo PP	>V _{CC}	2 Volt - V _{CC}	1 - 2 volt	< 1 Volt
Kemurnian Sinusoid				
OHIP2 dBV	>40	30-40	20-30	<20
OHIP3 dBV	>30	20-30	10-20	<10
Kerapihan Rangkaian	Kabel rapi, lurus panjang minimal tanpa bersilangan	Kabel rapi, lurus tidak membentuk loop dan tidak bersilangan	Kabel rapi, ada yang membentuk loop	Kabel tidak rapi, ada kabel bersilangan

Gambar 2.2: Spesifikasi Spesifik Kualitas Osilator

OHIP2 dan OHIP3 merupakan sebuah parameter yang dapat dianalisis melalui analisis FFT dari sinyal sinusoidal yang dihasilkan. Kejelasan dari parameter tersebut dapat dilihat melalui gambar yang berada di bawah ini.

Mengukur Intercept Point



Dari FFT pada osiloskop

A nilai amplitudo frekuensi dasar dalam dB
B nilai amplitudo harmonik 2 dalam dB
C nilai amplitudo harmonik 3 dalam dB

$$OHIP2 = 2A - B$$

$$OHIP3 = \frac{1}{2}(3A - C)$$

Gambar 2.3: Parameter FFT

Tipe osilator yang paling tepat untuk spesifikasi yang sudah disebutkan adalah osilator Colpitts karena alasan:

- Memiliki rentang frekuensi 20 kHz - 300 MHz;
- Dapat menghasilkan amplitudo sinyal yang tinggi; dan
- Memiliki stabilitas frekuensi yang lebih tinggi pada frekuensi radio.

Secara lebih lanjut, ada banyak topologi rangkaian Colpitts. Topologi rangkaian yang digunakan pada proyek ini dapat dilihat melalui Gambar 2.1. Perhitungan nilai-nilai komponen rangkaian dapat diketahui melalui tabel berikut.

Tabel 2.1: Perhitungan Komponen Rangkaian

Parameter yang Dicari	Rumus Perhitungan
V_{BE}	0,7 V
V_T	25 mV
C_C	<i>Predetermined</i>
V_{CC}	<i>Predetermined</i>
I_C	<i>Predetermined</i>
V_{CE}	<i>Predetermined</i>
h_{FE}	<i>Predetermined</i>
C_2	<i>Predetermined</i>
α	$\alpha = \frac{h_{FE}}{h_{FE}+1}$
I_B	$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$
I_E	$I_E = \frac{I_C}{\alpha}$
V_C	$V_C = V_{CC}$
V_E	$V_E = V_C - V_{CE}$
V_B	$V_B = V_{BE} + V_E$
$I_{R1} = I_{R2}$	$10I_B$

g_m	$g_m = \frac{I_C}{V_T}$
C_1	$C_1 = 3C_2$
L	$L = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)}$
R_E	$R_E = \frac{V_E}{I_E}$
R_1	$R_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{I_{R1}}$
R_2	$R_2 = \frac{V_B}{I_{R2}}$

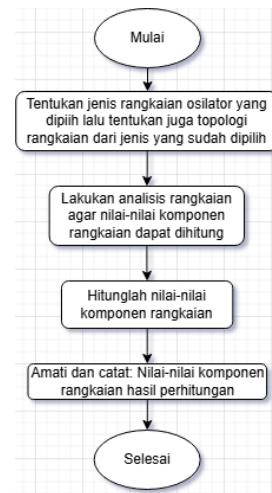
Nilai-nilai *predetermined* adalah nilai-nilai yang ditentukan sendiri dan dapat berubah sampai diperoleh rangkaian yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

3. METODOLOGI

Metodologi dari proyek ini secara berurutan adalah perancangan dan desain, simulasi, dan implementasi dan validasi (Pengujian rangkaian).

3.1 PERANCANGAN DAN DESAIN RANGKAIAN

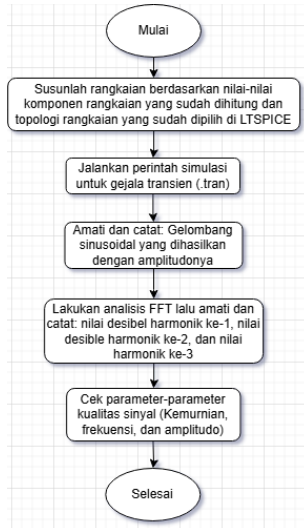
Langkah-langkah perancangan dan desain rangkaian dapat dilihat melalui gambar berikut.



Gambar 3.1: Langkah-Langkah Perancangan dan Desain Rangkaian Osilator

3.2 SIMULASI RANGKAIAN

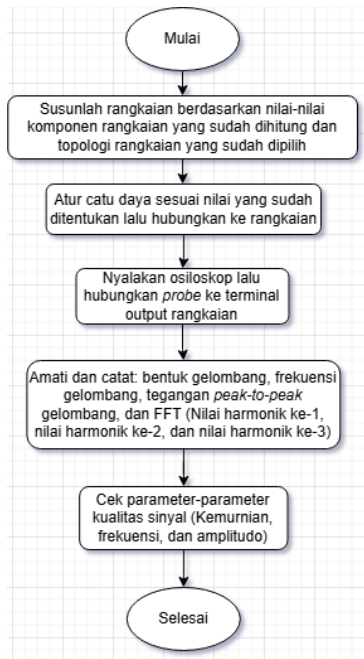
Simulasi rangkaian menggunakan LTSPICE. Hal yang disimulasikan adalah gejala transien dari rangkaian yang telah dibuat desainnya. Cara untuk melakukan simulasi dapat dilihat melalui gambar-gambar berikut.



Gambar 3.2: Langkah-Langkah Simulasi Rangkaian

3.3 IMPLEMENTASI DAN VALIDASI RANGKAIAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dapat disusun rangkaian sesuai simulasi. Setelah itu, dilakukan juga pengujian/pengetesan hasil sinyal sinusoidal yang dihasilkan. Keseluruhan proses tersebut dapat dilihat melalui gambar-gambar yang berada di bawah ini.



Gambar 3.3: Langkah-Langkah Implementasi dan Validasi Rangkaian Osilator

4. HASIL DAN ANALISIS

Hasil dan analisis dilakukan berdasarkan metodologi yang telah dijelaskan sebelumnya.

4.1 PERANCANGAN DAN DESAIN RANGKAIAN

Perhitungan rangkaian diletakkan ke dalam suatu *google sheets* agar pengubahan parameter-parameter yang *predetermined* dapat dilakukan dengan mudah dan efisien. Tautan menuju *google sheets* adalah

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RIXOSyC-4Z-5Sblfw5WSRlu21g_U1QyQU-clNX8T4AM/edit?gid=0#gid=0

Berdasarkan *google sheets* yang sudah dilampirkan, dapat diketahui bahwa nilai-nilai *predetermined final* adalah

$$V_{CC} = 15 \text{ V} \dots (i)$$

$$I_C = 1.850936046 \text{ mA} \dots (ii)$$

$$V_{CE} = 9.55422306060791 \text{ V} \dots (iii)$$

$$h_{FE} = 231.367005728794 \dots (iv)$$

$$C_2 = 22 \text{ nF} \dots (v)$$

Gambar 4.1: Nilai-Nilai *Predetermined* Terakhir

Berdasarkan nilai-nilai tersebut, dapat ditentukan nilai-nilai komponen rangkaian, khususnya L , C_1 , R_E , R_1 , dan R_2 . Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat di bawah ini dan nilai-nilainya diubah dengan pendekatan nilai resistor E12 yang sesuai dan nilai kapasitor E6 yang sesuai.

$$C_1 = 3 * 22 \text{ nF} = 66 \text{ nF} \approx 68 \text{ nF} \dots (vi)$$

$$L = 12.04536284 \text{ } \mu\text{F} \approx 12 \text{ } \mu\text{F} \dots (vii)$$

$$R_E = 2929.512799 \approx 2 \text{ k } \Omega \dots (viii)$$

$$R_1 = 110677.7882 \approx 120 \text{ k } \Omega \dots (ix)$$

$$R_2 = 76822.21174 \approx 82 \text{ k } \Omega \dots (x)$$

Gambar 4.2: Nilai-Nilai Komponen Pasif Hasil Perhitungan Rangkaian

Nilai-nilai komponen rangkaiannya disesuaikan dengan nilai EIA, khususnya E12 untuk resistor dan E6 untuk induktor, agar mempermudah penyusunan rangkaian. Selain itu, rangkaian akan dipasangkan dengan transistor NPN 2N2222. Transistor tersebut dipilih karena kemudahan dan ketersediaan yang berlimpah di pasar. Perlu diketahui bahwa perhitungan nilai-nilai komponen rangkaian memperhatikan titik kerja dari transistor NPN 2N2222 dan titik kerjanya dapat dilihat di *google sheets* yang sudah dilampirkan di subbab ini.

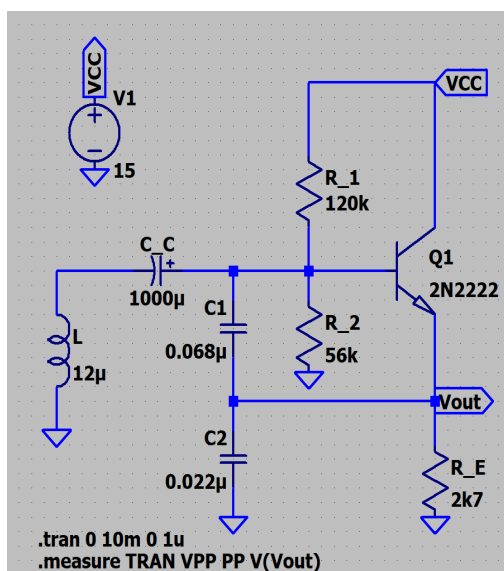
4.2 SIMULASI RANGKAIAN

Berdasarkan nilai-nilai yang sudah diperoleh, dilakukanlah simulasi. Hasil simulasi yang diperoleh pun cukup bagus, tetapi amplitudo output yang dihasilkan masih di bawah tegangan catu daya (V_{CC}) dan deskripsi kemurnian OHIP3 belum tercapai. Karena tersebut, diaturlah R_2 agar menjadi lebih kecil sehingga

$$R_2 = 56 \text{ k}\Omega \dots (xi)$$

Gambar 4.3: Nilai R_2 Terakhir

Rangkaian terakhir dapat dilihat melalui gambar yang berada di bawah ini.



Gambar 4.4: Skema Rangkaian untuk Simulasi

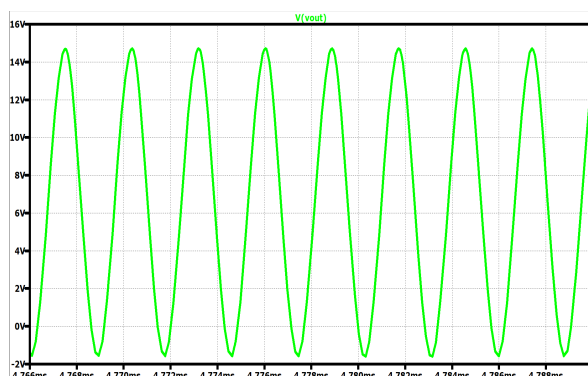
Karena ada perbedaan R_2 , titik kerja transistor yang digunakan juga berbeda. Pengukuran titik

kerja dapat diketahui melalui simulasi. Titik kerjanya dapat dilihat melalui gambar berikut.

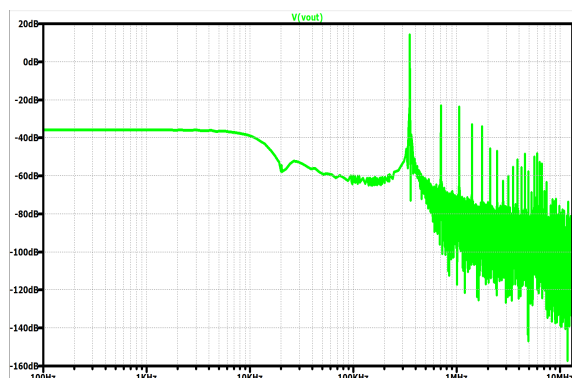
Parameter Titik Kerja	Nilai Parameter
V_{CE}	11.1371641 V
I_C	1.4242083 mA
h_{FE}	220.0674

Gambar 4.5: Titik Kerja Transistor

Berdasarkan rangkaian di atas, dilakukan simulasi gejala transien lalu dilakukan analisis terhadap hasil simulasinya.



Gambar 4.6: Hasil Simulasi (Gelombang Output)



Gambar 4.7: Hasil Simulasi (FFT)

vpp: PP(v(vout))=16.9657 FROM 0 TO 0.01

Gambar 4.8: Hasil Simulasi (Amplitudo Gelombang)

Jika hasil simulasi diperhatikan, dapat diketahui bahwa gelombang sinusoidal yang dihasilkan cukup halus dan amplitudonya sudah melebihi ekspektasi karena amplitudo gelombang melebihi tegangan catu daya.. Selain itu, FFT yang dihasilkan juga cukup bagus. Secara detail, tingkat kebaikan dan kehalusan dari sinyal sinusoidal yang dihasilkan dapat dianalisis dengan menghitung dan mengetahui parameter analisis

kualitas sinyal keluaran. Hasil perhitungannya dapat dilihat melalui gambar berikut.

ANALISIS FFT			INPUT PARAMETERS	
HARMONIK 1	351800	14,182	VCC	15
HARMONIK 2	703600	-23,125	I_C	0,001850936046
HARMONIK 3	1055400	-23,757	V_CE	9,554223061
	Frekuensi	dB	h_FE	231,3670057
			C1	0,000000066
			C2	0,000000022
SPECS OUTPUTS			f_O	357000
OHIP2	51,489	EXEMPLARY	C_C	0,001
OHIP3	33,1515	EXEMPLARY		
FREQ_DIFF (%)	1,45682633	EXEMPLARY		
VPP	16,9657	EXEMPLARY		

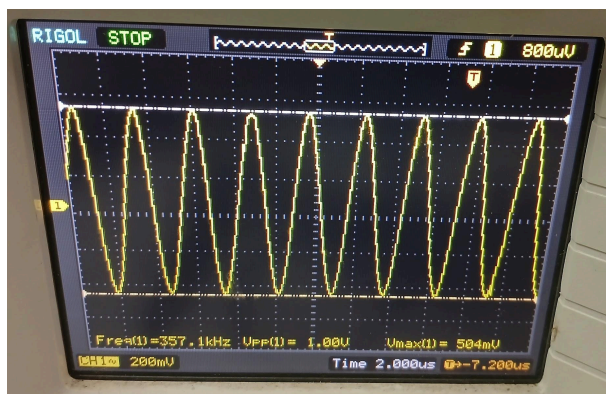
Gambar 4.9: Hasil Perhitungan Kualitas Sinyal

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa sinyal keluaran berpredikat “*Exemplary*” untuk OHIP2, OHIP3, ketepatan frekuensi, dan amplitudo sinyal. Karena hal tersebut, implementasi rangkaian sudah dapat dilakukan.

4.3 IMPLEMENTASI DAN VALIDASI RANGKAIAN

Berdasarkan Gambar 4.4, dapat disusun rangkaian di *breadboard* secara langsung. Induktor yang digunakan dapat diperoleh dengan melilit kawat tembaga atau kawat induktor pada suatu *ferit*. Nilai induktor yang diperoleh mendekati nilai induktor yang sudah dihitung pada tahapan perancangan dan desain. Kapasitor dan resistor yang digunakan mengikuti Gambar 4.4 juga.

Setelah rangkaian disusun dan dilakukan pengujian dengan osiloskop, diperoleh hasil sesuai gambar berikut.



Gambar 4.10: Hasil Pengukuran Rangkaian Awal

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa hasil yang diperoleh jauh dari ekspektasi yang berdasar kepada hasil simulasi, terutama amplitudo sinyal yang masih 1 VPP. Karena hal tersebut, ada perubahan ekspektasi dan susunan rangkaian osilator. Untuk ekspektasi, diharapkan

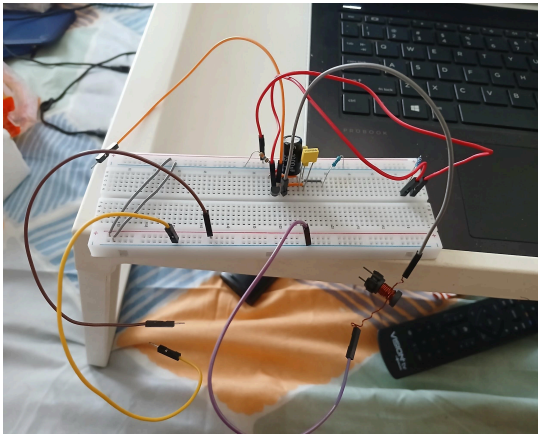
sinyal keluaran yang dihasilkan dari rangkaian osilator memiliki setidaknya satu predikat “*Exemplary*” dan sisanya “*Proficient*” karena waktu yang disediakan untuk menyelesaikan proyek ini terbatas dan *tuning* rangkaian yang sulit untuk mencapai ekspektasi sesuai hasil simulasi. Kesulitan *tuning* tersebut muncul karena perubahan resistansi R_1 , R_2 , dan R_E tidak dapat menghasilkan predikat “*Exemplary*” untuk amplitudo, OHIP2, dan OHIP3. Jika ingin diperoleh nilai OHIP2 dan nilai OHIP3 yang bagus, frekuensi sinyal harus dikorbankan sehingga frekuensi harus turun peringkat dari “*Exemplary*” menjadi “*Proficient*”. Begitu juga dengan amplitudo atau parameter-parameter kualitas sinyal lainnya. Secara lebih lanjut, rangkaian osilator mungkin perlu ditambahkan penguat atau rangkaian eksternal yang dapat meningkatkan kualitas sinyal, terutama pada amplitudo, OHIP2, dan OHIP3. Selain itu, rangkaian juga perlu mengimplementasikan penggunaan nilai-nilai komponen, baik induktor, kapasitor, maupun resistor, yang disusun secara seri atau secara paralel agar nilainya bisa didekatkan dengan nilai *riil* dari hasil perhitungan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 tanpa diaproksimasi ke nilai-nilai EIA.

Secara lebih lanjut, rangkaian dimodifikasi sedemikian rupa sehingga tercapai setidaknya satu predikat “*Exemplary*” pada salah satu parameter dan sisanya adalah “*Proficient*”. Hasil modifikasi dapat dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 4.1: Hasil Modifikasi Rangkaian

Komponen Rangkaian	Nilai Parameter
C_c	1000 μF
C_1	68 nF
C_2	22 nF
R_1	10 k Ω
R_2	56 k Ω
R_E	470 Ω

Bentuk rangkaian dari Tabel 4.1 dapat dilihat melalui gambar berikut.



Gambar 4.11: Rangkaian Setelah Modifikasi

Susunan rangkaian dapat berubah sewaktu-waktu jika dirasa belum terlalu rapi dan terlalu banyak kabel yang menjuntai-juntai. Dengan rangkaian setelah modifikasi, dilakukanlah pengujian dan hasil-hasilnya dapat dilihat melalui gambar-gambar berikut.



Gambar 4.12: Hasil Pengukuran Rangkaian Terbaru (Gelombang dengan Amplitudo dan Frekuensi)



Gambar 4.13: Hasil Pengukuran Rangkaian Terbaru (Pengukuran OHIP2)



Gambar 4.14: Hasil Pengukuran Rangkaian Terbaru (Pengukuran OHIP3)

Selain itu, ada gambar yang berada di bawah ini yang menjelaskan terkait tegangan catu daya yang dipakai.



Gambar 4.15: Tegangan Catu Daya yang Dipakai

Berdasarkan hasil pengukuran pada rangkaian terbaru, dapat diketahui bahwa hasil gelombang sinyal yang diperoleh sedikit terdistorsi pada puncaknya. Selisih antara tegangan catu daya yang digunakan dan amplitudonya kira-kira ± 5 V. Meskipun dengan selisih itu, amplitudo sinyal output yang diperoleh sudah dikatakan "Proficient" karena amplitudo tegangan outputnya antara 2 V sampai tegangan catu daya. Frekuensi sinyal yang terukur adalah sekitar 351,671 kHz. Berdasarkan hal tersebut, ketepatan frekuensi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\%FREQ_{DIFF} = \frac{357000 - 351671}{357000} \times 100\% \approx 1,4927\%$$

Dengan perbedaan tersebut, dapat dikatakan bahwa frekuensi gelombang sinusoidal yang dihasilkan mencapai tingkat "Exemplary" jika Gambar 2.2 diperhatikan. Selain dilihat dari sisi frekuensi, nilai-nilai harmonik dapat ditinjau dari Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Gambar 4.12 merepresentasikan pengukuran OHIP2. Berdasarkan Gambar 2.2, dapat dihitung nilai OHIP2 sebagai berikut.

$$OHIP2 = (2 \times 10,00 - (-13,6)) = 33,6 > 30$$

Karena nilai OHIP2 lebih dari 30, dapat dikatakan bahwa nilai OHIP2 mencapai tingkat “Proficient”. Selanjutnya, nilai OHIP3 dapat dihitung seperti sebelumnya, yaitu

$$OHIP3 = 0,5(3 \times 10,00 - (-22,8)) = 26,4 > 20$$

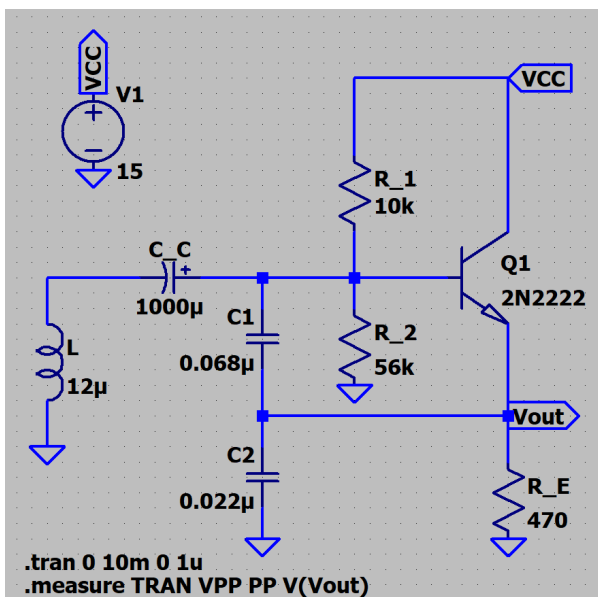
Sama seperti nilai OHIP2, nilai OHIP3 mencapai tingkat “Proficient” karena nilai OHIP3 lebih dari 20. Berdasarkan yang sudah dijelaskan, dapat dirangkum hasil sinyal sinusoidal yang dihasilkan, yaitu

Tabel 4.2: Rangkuman Kualitas Sinyal Keluaran

Parameter Kualitas Sinyal	Nilai Kualitas Parameter Sinyal	Tingkat Kualitas Parameter Sinyal
Ketepatan Frekuensi	1,4927%	<i>Exemplary</i>
Amplitudo Sinyal	9,8 V - 10,2 V	<i>Proficient</i>
OHIP2	33,6	<i>Proficient</i>
OHIP3	26,4	<i>Proficient</i>

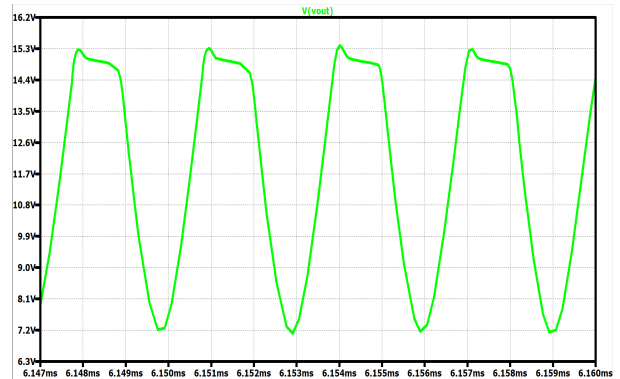
Dengan nilai-nilai yang terlampir di Tabel 4.2, dapat dipastikan bahwa sinyal sinusoidal yang dihasilkan sudah baik dengan susunan rangkaian osilator yang terbaru.

Dengan modifikasi rangkaian terbaru, simulasi perlu dilakukan agar hasil implementasi rangkaian dapat dijadikan sebagai perbandingan. Rangkaian simulasi terbaru adalah

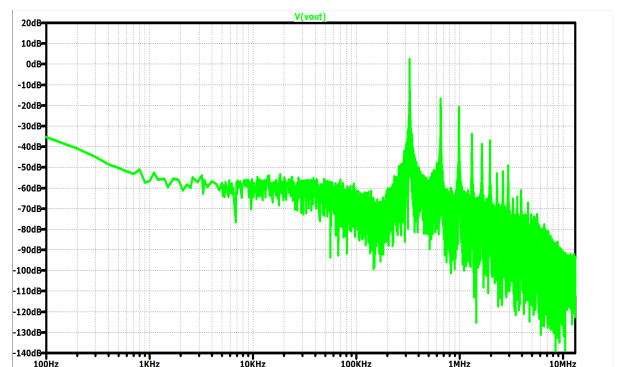


Gambar 4.16: Skema Rangkaian Simulasi Terbaru

Hasil simulasi rangkaian ini dapat dilihat melalui gambar-gambar berikut.



Gambar 4.17: Hasil Simulasi Rangkaian Terbaru (Gelombang Sinusoidal)



Gambar 4.18: Hasil Simulasi Rangkaian Terbaru (FFT)

vpp: PP(v(vout))=8.68122 FROM 0 TO 0.01

Gambar 4.19: Hasil Simulasi Rangkaian Terbaru (Amplitudo Gelombang Sinusoidal)

Nilai-nilai FFT dapat diketahui melalui tabel yang berada di bawah ini.

Tabel 4.3: Rangkuman Kualitas Sinyal Rangkaian Simulasi Terbaru

Parameter Kualitas Sinyal	Nilai Kualitas Parameter Sinyal	Tingkat Kualitas Parameter Sinyal
Ketepatan Frekuensi	8,2633% (327,5 kHz)	<i>Sufficient</i>
Amplitudo Sinyal	8,68122 V	<i>Proficient</i>
OHIP2	19,58	<i>Insufficient</i>
OHIP3	14,1075	<i>Sufficient</i>

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa hasil yang diberikan sangat jauh berbeda dengan

hasil implementasi. Hal tersebut dapat terjadi karena simulasi tidak terlalu memperhatikan hal detail, terutama pada induktor yang digunakan. Induktor yang dibuat dengan lilitan kawat tembaga pada suatu *ferit* memiliki nilai tertentu, seperti resistansi seri, efek kapasitansi, induktansi parasit/internal, efek suhu, nonlinearitas, ataupun faktor lainnya. Karena simulasi tidak memperhatikan hal-hal yang spesifik dan simulasi hanya dilakukan pada kondisi ideal, kondisi realita tidak diperhitungkan dan hal tersebut kemungkinan besar memengaruhi perilaku sinyal keluaran. Jika kondisi realita pada simulasi ingin diikutkan, hal-hal spesifik yang sudah disebutkan sebelumnya perlu diperhatikan secara seksama dan diatur agar sesuai dengan rangkaian yang sudah diimplementasikan. Jika kondisi realita sudah diaplikasikan pada rangkaian simulasi, rangkaian simulasi dan rangkaian hasil implementasi memiliki kemiripan satu sama lain. Hal tersebut memberikan kebebasan dan kemudahan serta meningkatkan efisiensi pengontrolan kualitas sinyal keluaran karena rangkaian simulasi bisa langsung diubah-ubah komponen rangkaiannya dan dicek hasil simulasinya lalu aplikasikan perubahan rangkaian simulasi ke rangkaian implementasi dan validasi rangkaian implementasi bisa dilakukan. Hasil validasi rangkaian implementasi tentu memberikan hasil yang serupa dengan hasil simulasi karena rangkaian simulasi dan rangkaian implementasi memiliki ciri atau kondisi rangkaian yang mirip.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan desain, simulasi, dan implementasi dan validasi rangkaian, dapat disimpulkan bahwa rangkaian osilator yang direalisasikan menghasilkan sinyal yang memiliki kualitas yang baik jika dilihat dari kemurnian sinyalnya (Nilai-nilai parameter FFT, yaitu OHIP2 dan OHIP3), amplitudonya, dan frekuensinya. Hal tersebut dapat dilihat melalui Tabel 4.2. Untuk hasil simulasi, dihasilkan kualitas sinyal yang sangat memuaskan dan hal tersebut dapat dilihat melalui Gambar 4.9. Meskipun begitu, hasil simulasi yang memanfaatkan hasil perancangan dan desain tidak menunjukkan kesesuaian dengan hasil implementasi. Jika hasil simulasi menunjukkan kualitas sinyal yang sempurna, hasil implementasi malah menunjukkan hasil yang kurang baik. Begitu pun sebaliknya. Masalah tersebut dapat diminimalisasi dampaknya jika konfigurasi dan susunan rangkaian diatur sedemikian rupa sehingga implementasi dan simulasi memiliki karakteristik

yang mirip, seperti karakteristik resistor seri pada induktor, kapasitor parasitik, efek suhu, dan karakteristik lainnya. Jika karakteristik rangkaian dapat disetarakan antara implementasi dan simulasi, hasil validasi pada keduanya bisa menunjukkan kesamaan sehingga pengontrolan kualitas sinyal keluaran menjadi lebih efisien.

Daftar Pustaka

- [1] A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press, 2014.
- [2] B. Technologies, "Breaking Down the RF Spectrum – Which Bandwidth is Best for Your Application?," *blog.bliley.com*. <https://blog.bliley.com/rf-spectrum-bandwidth>
- [3] Guillermo Gonzalez, *Foundations of Oscillator Circuit Design*, Artech, 2006.
- [4] <https://www.electrical4u.com/colpitts-oscillator/>, 17 November 2024, 00.40.
- [5] PPT Penjelasan Singkat Proyek Osilator yang diambil dari Edunex ITB pada 12 November 2024 pukul 21.42.