



Laboratorium Dasar Teknik Elektro - Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB

Abstrak

Pada zaman modern ini, segala sesuatu memakai sistem elektrik. Mulai dari alarm yang membangunkan kita, gadget di gengaman tangan Anda, hingga pengendali pesawat luar angkasa memakai sistem listrik. Salah satu sistem yang paling sering dipakai dalam rangkaian elektrik adalah sistem osilator. Secara singkat sistem osilator adalah sistem rangkaian elektrik yang mengubah input arus atau tegangan searah menjadi arus atau tegangan bolak-balik pada outputnya. Pada umumnya sistem osilator menggunakan komponen resistor, kapasitor, dan operating amplifier atau biasa disebut "op amp". Selain rangkaian osilator pada umumnya, terdapat juga rangkaian osilator dengan umpan balik yang menawarkan berbagai kelebihan seperti pengaturan osilasi, pengaturan amplifikasi, dan pengaturan noise. Sistem osilator sangat berguna dalam dunia elektronika karena mengubah sumber DC yang diterima sebuah benda menjadi sinyal AC yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal. Karena kegunaannya yang sangat penting dalam dunia elektro tersebut, maka penting bagi seorang engineer elektro untuk dapat menguasai cara analisis rangkaian osilator dengan umpan balik, karakteristik rangkaian osilator dengan umpan balik, dan mampu merancang suatu rangkaian osilator dengan umpan balik untuk suatu kebutuhan tertentu. Karena alasan-alasan di atas, maka penulis akan melakukan percobaan modul 4 ini. Diharapkan dengan adanya percobaan modul 4 ini maka penulis akan mengerti karakteristik rangkaian osilator dengan umpan balik, mampu menganalisis suatu rangkaian osilator dengan umpan balik, dan mampu mendesain suatu rangkaian osilator dengan umpan balik tertentu untuk memenuhi suatu kebutuhan tertentu.

Kata kunci: Rangkaian Elektrik, Rangkaian Osilator dengan Umpan Balik, Analisis, Mendesain, Menguasai.

1. PENDAHULUAN

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, sistem elektrik menjadi kebutuhan tiap manusia saat ini. Dalam sistem elektrik, rangkaian elektrik adalah 'roh'. Dalam dunia rangkaian elektrik, Salah satu sistem yang paling sering dipakai dalam rangkaian elektrik adalah sistem osilator. Secara singkat sistem osilator adalah sistem rangkaian elektrik yang mengubah input arus atau tegangan searah menjadi arus atau tegangan bolak-balik pada outputnya. Pada umumnya

sistem osilator menggunakan komponen resistor, kapasitor, dan operating amplifier atau biasa disebut "op amp". Selain rangkaian osilator pada umumnya, terdapat juga rangkaian osilator dengan umpan balik yang menawarkan berbagai kelebihan seperti pengaturan osilasi, pengaturan amplifikasi, dan pengaturan noise. Sistem osilator sangat berguna dalam dunia elektronika karena mengubah sumber DC yang diterima sebuah benda menjadi sinyal AC yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal. Karena kegunaannya yang sangat penting dalam dunia elektro tersebut, maka penting bagi seorang engineer elektro untuk dapat menguasai cara analisis rangkaian osilator dengan umpan balik, karakteristik rangkaian osilator dengan umpan balik, dan mampu merancang suatu rangkaian osilator dengan umpan balik untuk suatu kebutuhan tertentu. Karena alasan-alasan di atas, maka penulis akan melakukan percobaan modul 4 ini.

Dengan alasan-alasan di atas, maka penulis akan melakukan percobaan modul 6 ini. Secara umum terdapat 1 percobaan pada praktikum ini, yaitu: 1) Percobaan mendesain osilator Wien.

Pada percobaan pertama, yaitu percobaan mendesain osilator Wien, Penulis akan memasang rangkaian penguat common emitter dengan kapasitor bypass tepat seperti pada modul, kemudian Penulis akan mengukur sinyal output, penguatan, frekuensi cut-off dan resistansi input rangkaian tersebut. Kemudian Penulis akan mengubah rangkaian tersebut menjadi rangkaian transistor dengan umpan balik, kemudian Penulis akan kembali mengukur parameter seperti sebelumnya. Terakhir, Penulis akan mengubah rangkaian menjadi rangkaian dengan umpan balik lainnya, lalu mengukur parameter seperti sebelumnya sesuai dengan jenis umpan balik rangkaian tersebut. Tujuan dari percobaan ini adalah agar Penulis memahami cara kerja umpan balik pada rangkaian, memahami jenis-jenis rangkaian umpan balik transistor dan karakteristik masing-masing, mampu menganalisis kerja rangkaian transistor dengan umpan balik, dan mampu mendesain suatu rangkaian umpan balik transistor untuk suatu pekerjaan tertentu.

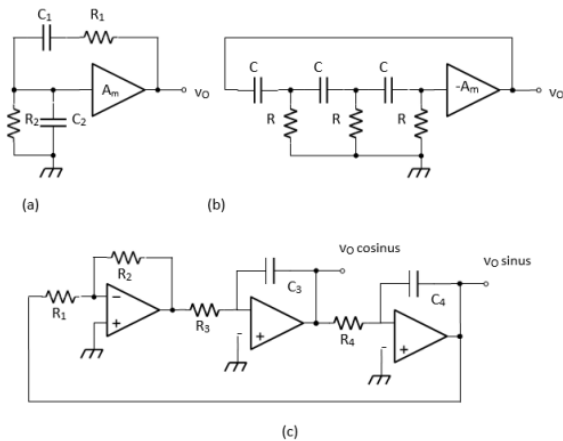
2. STUDI PUSTAKA

2.1 RANGKAIAN OSILATOR

Ada banyak cara untuk mencapai kriteria terjadinya osilasi di atas, namun untuk kemudahannya dalam perancangan sering kali dipilih keadaan-keadaan berikut:

$$\begin{aligned} A &= A_m \angle 0 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle 0 \\ A &= A_m \angle 180 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle 180 \\ A &= A_m \angle 90 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle -90 \end{aligned} \quad \text{Persamaan 3}$$

Contoh implementasi untuk ketiga keadaan tersebut di atas, secara berurutan adalah Osilator Jembatan Wien, Osilator Penggeser Fasa, dan Osilator Kuadratur yang rangkaian umumnya tampak pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Contoh Implementasi Kriteria Osilasi
(a) Jembatan Wien (b) Penggeser Fasa (c) Kuadratur

Osilator Jembatan Wien secara umum mempunyai frekuensi osilasi dan penguatan yang diperlukan untuk terjadinya osilasi sebagai berikut:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ dan } A_m = 1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Persamaan 4}$$

Dalam realisasinya, dalam merancang Osilator Jembatan Wien sering kali dipilih $R_1=R_2=R$ dan $C_1=C_2=C$ sehingga frekuensi osilasinya menjadi $\omega=1/CR$ dan penguatan yang diperlukan $A_m=3$. Nilai lain yang juga sering digunakan adalah $R_1=R$, $R_2=10R$, $C_1=C/10$, dan $C_2=10C$ dengan frekuensi osilasi yang sama yaitu $\omega=1/CR$ namun penguatan hanya $A_m=1,2$. Untuk Osilator Penggeser Fasa frekuensi osilasi dan penguatan yang diperlukan adalah

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \text{ dan } A_m = -\frac{1}{29} \quad \text{Persamaan 5}$$

Sedangkan untuk osilator kuadratur frekuensi osilasinya adalah

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1 R_3 C_3 R_4 C_4}}} \quad \text{Persamaan 6}$$

dan untuk masing-masing integrator (inverting dan noninverting) penguatannya adalah

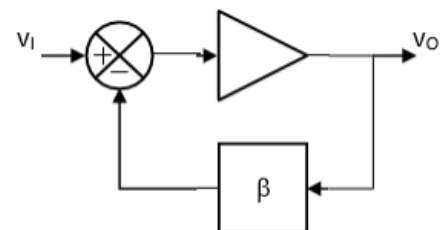
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1 R_3 C_3 R_4 C_4}}} \quad \text{Persamaan 6}$$

$$A_1 = \frac{\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}}{\sqrt{\frac{C_3 R_3}{C_4 R_4}}} \text{ dan } A_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_3 R_3}{R_1 C_4 R_4}}} \quad \text{Persamaan 7}$$

Dalam perancangannya bila dipilih $R_1=R_2=R$, $R_3=R_4$ dan $C_3=C_4$ maka diperoleh penguatan pada masing-masing opamp 1 (satu) dan penguatan loop terbuka juga 1 (satu)

2.2 RANGKAIAN OSILATOR DENGAN UMPAN BALIK

Sistem dengan umpan balik secara umum dapat digambarkan dengan diagram blok pada Gambar 4-1 berikut.



Gambar 4-1 Diagram Blok Sistem dengan Umpan Balik

Blok A merupakan fungsi transfer maju dan blok β merupakan fungsi transfer umpan baliknya. Pada sistem dengan umpan balik ini dapat diturunkan penguatan tegangannya:

$$A_f \equiv \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1+A\beta} \quad \text{Persamaan 1}$$

$$A_f \equiv \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1+A\beta} \quad \text{Persamaan 1}$$

Secara umum persamaan di atas menunjukkan adanya tiga keadaan yang ditentukan oleh denominaturnya. Salah satu keadaan tersebut adalah saat denominator menjadi nol. Saat itu nilai A_f menjadi tak hingga. Secara matematis pada keadaan ini bila diberikan sinyal input nol atau $v_i=0$ ini, akan menjadikan tegangan v_o dapat bernilai berapa saja. Keadaan seperti inilah yang menjadi prinsip pembangkitan sinyal atau osilator sinusoidal dengan umpan balik yang disebut sebagai Kriteria Barkhausen. Dalam rangkaian kriteria tersebut dilihat dari total penguatan loop terbuka L sbb.:

$$L(j\omega) = A(j\omega)\beta(j\omega) = 1 \quad \text{Persamaan 2}$$

2.3 PENGENDALIAN AMPLITUDO PADA RANGKAIAN OSILATOR DENGAN UMPAN BALIK

Pengendalian Amplituda

Kriteria osilasi sangat ketat, bila $L > 1$ maka maka rangkaian umpan balik menjadi tidak stabil dan bila $L < 1$ osilasi tidak akan terjadi. Oleh karena itu, penguat pada osilator menjamin $L > 1$ saat mulai dioperasikan dan kemudian dibatasi pada nilai $L = 1$ saat beroperasi. Cara yang umum digunakan untuk kendali tersebut adalah dengan rangkaian pembatas amplituda (clipper) atau pengendali penguatan otomatis (automatic gain control, AGC).

Prinsip kerja rangkaian pembatas amplituda adalah memanfaatkan dioda pada resistor penentu penguatan rangkaian penguat operasional. Dioda akan konduksi dan mempertahankan nilai tegangannya bila memperoleh tegangan lebih dari tegangan *cut-in*. Prinsip kerja pengendali penguatan otomatis adalah dengan menggantikan resistor penentu penguatan rangkaian penguat operasional dengan transistor (FET). Tegangan output disearahkan dan digunakan untuk mengendalikan resistansi transistor.

Cara lain adalah dengan menggunakan *Piece Wise Linear Limiter*. Prinsip cara ini adalah menjadikan penguat memberikan penguatan pada amplituda yang berbeda yang ditentukan dengan dioda dan resistor.

2.4. OSILATOR KUADRATUR

Untuk menghasilkan keluaran *quadrature* dari rangkaian osilator cincin *single ended* diperlukan jumlah tahap yang genap, tetapi jumlah tahap yang genap tidak akan bisa beresilasi karena mempunyai keadaan stabil yang disebut *latch-up*. Untuk mencegah keadaan *latch up*, yang pertama dengan menggunakan sel tunda CML (*current mode logic*) yang mempunyai sebuah transistor *tail current source* [16]. Cara kedua dengan menggunakan teknik *injection locking*. Cara ketiga dengan menambahkan jalur *feed forward*

atau *subfeedback* pada nodal yang mempunyai fase berlawanan [10].

Cara pertama mempunyai kelemahan, yaitu konsumsi daya yang lebih besar karena penggunaan arus bias yang konstan pada transistor *tail*, sedangkan *injection locking* memerlukan input berupa sinyal diferensial. Oleh karena itu dalam paper ini digunakan cara ketiga yaitu menambahkan jalur atau kalang umpan balik *sub-feedback*. Osilator rancangan menggunakan *single-ended inverter* empat tahap untuk menghasilkan keluaran *quadrature*, meskipun dapat juga dilihat sebagai *differential inverter* dua tahap dengan sub-feedback index $x = 3$ [11]. Di mana x merepresentasikan jumlah *inverter* dalam kalang umpan balik.

Dalam rancangan ini, rangkaian umpan balik terdiri dari INV2, INV3 dan f_2 . Dengan membentuk kalang umpan balik *subfeedback* dua buah sinyal dengan fase yang berbeda 180° akan bertemu sehingga membentuk sebuah rangkaian *regenerative* yang akan membuat osilator dengan jumlah tahap yang genap 56 JNTETI, Vol. 1 No. 2, Agustus 2012 ISSN 2301 – 4156 Rangkaian Osilator Cincin... tetap bisa beresilasi dan mengeluarkan sinyal. Kalang *Subfeedback* juga bisa digunakan untuk membuat jalur cepat sehingga mengurangi waktu tunda dan akibatnya bias meningkatkan frekuensi [10], [11]. Hal ini bisa dijelaskan sebagai berikut, ketika keluaran dari INV2 belum mencapai tegangan ambang (*threshold*), keluaran dari f_2 sudah mencapai tegangan ambang terlebih dahulu, sehingga tegangan keluaran pada X_2 dapat mencapai tegangan ambang terlebih dahulu sesuai dengan tegangan keluaran dari f_2 , sehingga menyebabkan periode sinyal keluaran atau waktu tunda menjadi lebih kecil dan akhirnya dapat meningkat kan frekuensi keluaran.

3. METODOLOGI

3.1. ALAT DAN BAHAN

Berikut alat dan bahan yang dipakai pada percobaan ini.

1. Kit Praktikum Osilator Sinusoidal
2. 1x Generator Sinyal 2 channel
3. 2 x Sumber Tegangan DC
4. 1x Osiloskop 2 channel
5. 1x Multimeter Digital SANWA CD800A
6. 1x Multimeter Analog SANWA YX360TRF

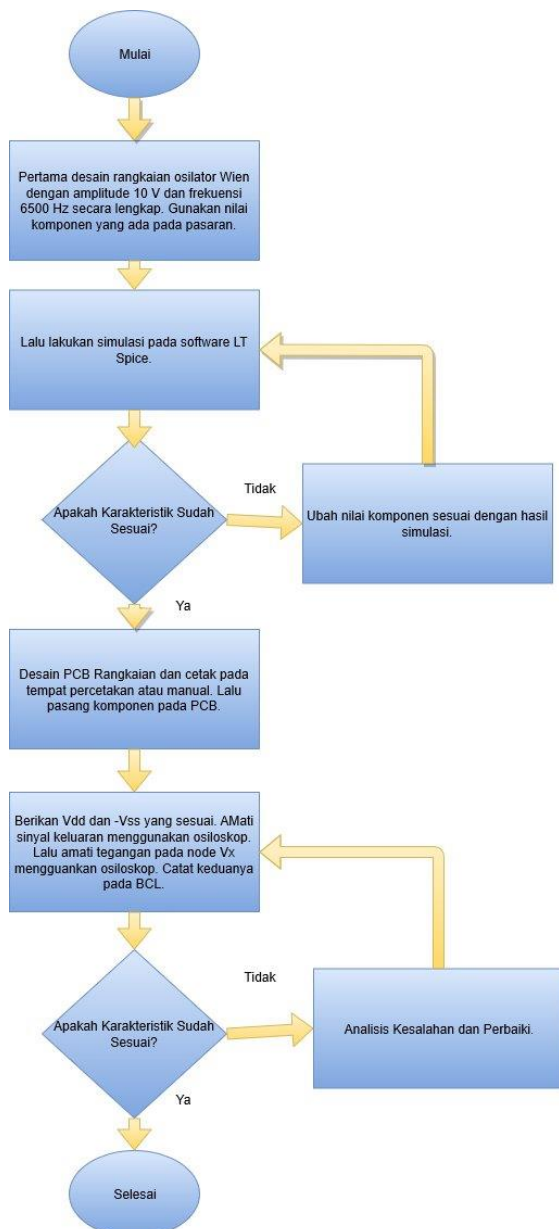
7. 1x Multimeter Bench
8. 1x Aerosol Udara Terkompresi
9. 1x Resistor Variabel
10. Kabel BNC- BNC, BNC- Buaya, Buaya- Buaya, jumper secukupnya

3.2. LANGKAH PERCOBAAN

3.2.1 PERCOBAAN 1: PERCOBAAN MENDESAIN OSILATOR WIEN

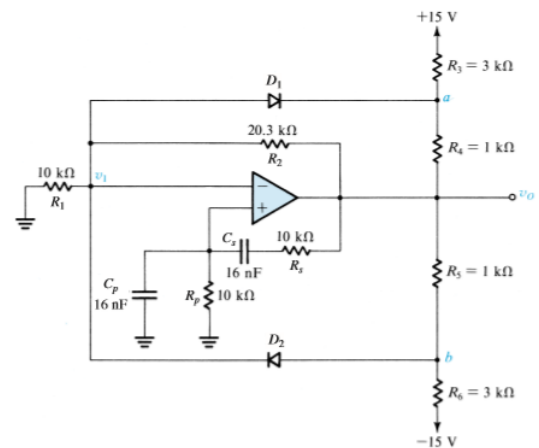
Alat yang dibutuhkan: Kit Praktikum Osilator Sinusoidal, Generator Sinyal 2 *channel*, Sumber Tegangan DC, Osiloskop 2 *channel*, 3 macam Multimeter, kabel dan jumper secukupnya.

Langkah Percobaan:



3.3. DESAIN RANGKAIAN

Penulis akan mendesain suatu osilator Wien dengan frekuensi 6,5 KHz dan amplitude output 10 V. Untuk mendesain osilator Wien dengan amplitude tertentu Penulis menggunakan rangkaian osilator Wien dengan diode sebagai pembatas tegangan sederhana. Rangkaian umum osilator ini adalah sebagai berikut [1, halaman 1390].



Berdasarkan teori dapat kita lihat bahwa penurunan penguatan loop gain rangkaian di atas dengan mengabaikan diode dan resistor 5 dan 6 adalah sebagai berikut (misalkan feedback R_2 dipotong dan diberi tegangan sebesar V_t). Dengan KCL pada node V_1 (dengan asumsi op amp ideal sehingga tidak ada arus yang mengalir pada input negative dan positif dan tegangan pada kedua input sama):

$$V_1/R_1 = (V_t - V_1)/R_2$$

$$\Rightarrow V_1/V_t = R_1/(R_1+R_2)$$

Kemudian dengan KCL pada node V_o :

$$(V_o - V_1)/(R_s + 1/(C_s*s)) = V_1/(1/(1/R_p + C_p*s))$$

Dengan memasang $C_p = C_s$ dan $R_p = R_s$ didapat turunan sebagai berikut.

$$\Rightarrow V_o/V_1 = 3 + RCs + 1/(RCs)$$

Dengan mengalikan dua persamaan didapat hubungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
L &= V_0/V_t \\
&= V_0/V_1 * V_1/V_t \\
&= (R_1/(R_1+R_2)) * (3 + RC_s + 1/(RC_s)) \\
\Rightarrow L(Wj) &= (R_1/(R_1+R_2)) * (3 + j(RCW - 1/(RCW)))
\end{aligned}$$

Berdasarkan teori pada referensi [1, halaman 1389] didapat bahwa osilasi terjadi hanya saat nilai L adalah bilangan real dan nilainya tepat sama dengan 1. Maka didapatkan sebagai berikut.

$$i) \quad \text{Im}(L) = 0$$

Maka haruslah $RCW - 1/RCW = 0$, yang ekuivalen sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
RCW &= 1/RCW \\
\Rightarrow W &= 1/RC
\end{aligned}$$

$$ii) \quad \text{Re}(L) = 1$$

Maka haruslah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
3R_1/(R_1+R_2) &= 1 \\
\Rightarrow 3R_1 &= R_1 + R_2 \\
\Rightarrow R_2 &= 2R_1
\end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengatur amplitudonya, digunakan diode seperti pada gambar di atas. Adapun cara kerja pembatas diode adalah pada saat tegangan positif maksimal (V_{max}) tegangan pada node b akan melebihi tegangan pada V_1 (yang berdasar teori seharusnya $1/3 * V_0$) dan diode D2 akan konduksi. Hal ini akan membuat tegangan maksimal akan ditentukan oleh nilai resistor R_5 dan R_6 dan tegangan - V_{ss} sebagai berikut.

$$V_b = V_1 + V_{d2}$$

Dengan V_{d2} adalah tegangan drop voltages pada diode D2 saat forward biase. Sehingga hal dengan mengasumsikan $V_{d2} = 0,7 \text{ V}$ maka dengan KCL pada node b didapat output persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
V_b - (-V_{ss})/R_6 &= (V_0 - V_b)/R_5 \\
\Rightarrow (V_0/3 + 0,7 - (-V_{ss}))/R_6 &= (V_0 - V_0/3 - 0,7)/R_5
\end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai $V_{dd} = 15 \text{ V}$ dan $-V_{ss} = -15 \text{ V}$ didapat hubungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
(V_0/3 + 15,7)/R_6 &= (2/3 * V_0 - 0,7)/R_5 \\
\Rightarrow V_0 &= 3*(15,7/R_6 + 0,7/R_5)/(2/R_5 - 1/R_6) \\
\Rightarrow V_0 &= 3*(15,7 * R_5 + 0,7 * R_6)/(2 * R_6 - R_5)
\end{aligned}$$

Adapun untuk tegangan minimum sama dengan perhitungan tegangan maksimum.

Dari persamaan di atas dapat kita rancangan osilator Wien dengan karakteristik sebagai berikut.

$$i) \quad F = 6500 \text{ Hz}$$

Maka didapat hubungan:

$$\begin{aligned}
F &= W/2\pi \\
&= 1/(2\pi * R * C)
\end{aligned}$$

Karena nilai kapasitor sangat mudah berubah akibat lingkungan [15], maka akan digunakan nilai kapasitor yang cukup kecil sehingga tidak mudah mengubah karakteristik rangkaian. Maka akan dipilih $C = 22 \text{ nF}$ karena nilai cukup kecil dan mudah didapat. Dengan memasukkan $C = 22 \text{ nF}$ didapat hubungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
6500 &= 1/(2\pi * R * 22 \cdot 10^{-9}) \\
\Rightarrow R &= 1112,97163 \text{ Ohm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai resistor E24 hal ini dapat diimplementasikan dengan 2 resistor 2200 Ohm diparalel yang ekuivalen 1100 Ohm, cukup mendekati nilai perhitungan.

Maka didapatkan bahwa $C_p = C_s = 22 \text{ nF}$ dan $R_p = R_s = 1100 \text{ Ohm}$ yang akan diimplementasikan dengan mem- paralelkan 2 resistor 2200 Ohm.

$$ii) \quad \text{Persamaan Osilasi terpenuhi}$$

Berdasarkan referensi pada [16] pada prakteknya digunakan nilai L yang tidak tepat 1, tapi sedikit di atas 1. Hal ini dikarenakan mengantisipasi jika perubahan lingkungan mengakibatkan perubahan nilai komponen sehingga menurunkan L, maka osilasi akan langsung teredam. Sehingga pada nilai R_2 dan R_1 dengan hubungan sebagai berikut.

$$R_2 = 2 * R_1$$

Akan digunakan nilai R_1 cukup besar sehingga nilai R_2 dapat ditambah sedikit di atas $2 * R_1$, yaitu

dipilih $R1 = 10K \text{ Ohm}$ maka $R2 = 20K\text{Ohm} + e$ dengan nilai e cukup kecil. Untuk mengantisipasi perubahan nilai komponen pada rangkaian karena factor eksternal maka Penulis memutuskan menggunakan $R2$ dengan resistor $20K\text{Ohm}$ dan sebuah potensiometer dengan range 0 sampai $10 K\text{Ohm}$.

iii) $V_o = 10V$

Karena diinginkan $V_o = 10V$ maka persamaan menjadi sebagai berikut.

$$10 = 3 \cdot (15,7 \cdot R5 + 0,7 \cdot R6) \cdot (2 \cdot R6 - R5)$$

$$\Rightarrow R6 = 3,1983 \cdot R5$$

Dari hubungan di atas untuk meningkatkan akurasi $R6/R5$ maka akan digunakan $R6$ cukup besar tetapi tidak terlalu besar karena semakin besar nilai resistor maka error akan semakin besar sehingga nilai $R6/R5$ akan semakin berubah. Hal ini membuat $R5$ dipilih $1 K\text{Ohm}$, sehingga $R6$ sekitar $3198,3 \text{ Ohm}$. Dengan melihat nilai resistor E24, maka akan digunakan nilai resistor $R6 = 3,3 K\text{Ohm}$.

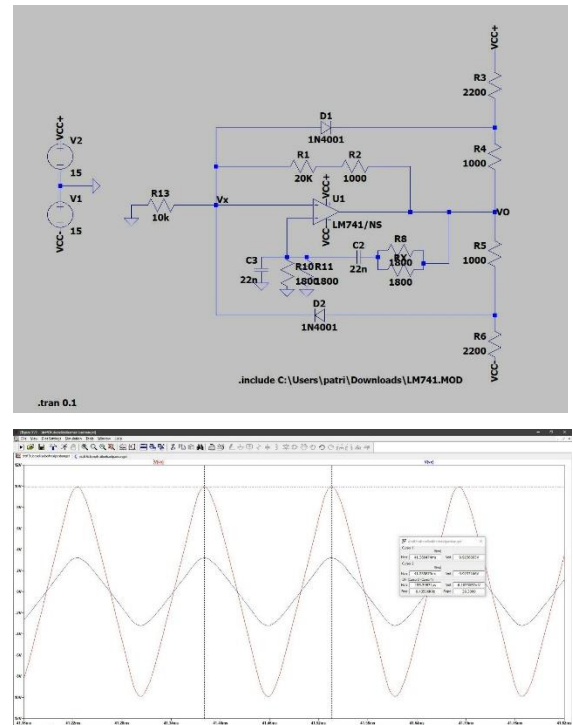
Kemudian Penulis melakukan simulasi dengan nilai komponen seperti di atas pada LT Spice, dengan $D1$ dan $D2$ menggunakan diode $1N4001$ (karena umum di pasaran) dan op amp $LM741$. Tetapi pada saat melakukan percobaan di dapat bahwa hasil kurang sesuai dengan tujuan yaitu frekuensi 7300 Hz dan amplitude $9,3 \text{ V}$. Hal ini dapat dijelaskan karena demi menggunakan nilai pasaran maka dilakukan berbagai estimasi seperti pada menentukan nilai R_p dan R_s dan menentukan nilai $R6$. Selain itu pada simulasi tegangan drop voltage diode $1N4001$ adalah sekitar 1 V , cukup jauh dengan asumsi $0,7 \text{ V}$ yang digunakan. Selain itu penurunan yang digunakan Penulis merupakan pendekatan terhadap pole dan zero transfer rangkaian sehingga seringkali terjadi perbedaan dengan hasil analisis yang melakukan simulasi secara fungsional [17]. Maka Penulis mengubah sedikit nilai resistor R_p dan R_s , dan nilai $R6$. Maka didapatkan perubahan sebagai berikut.

$$R_p = R_s = 1100 \text{ Ohm} \Rightarrow R_p = R_s = 900 \text{ Ohm}$$

$$R6 = 3300 \text{ Ohm} \Rightarrow R6 = 2200 \text{ Ohm}$$

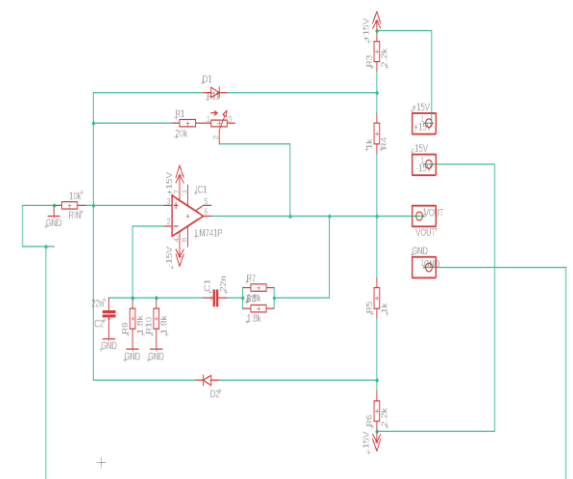
Dan didapatkan output dengan frekuensi 6432 Hz dan amplitude $9,95 \text{ V}$.

Sehingga desain akhir yang Penulis gunakan adalah sebagai berikut beserta dengan hasil simulasi V_o output nya.



3.4. DESAIN PCB

Berdasarkan skematik yang dibuat sebagai berikut:

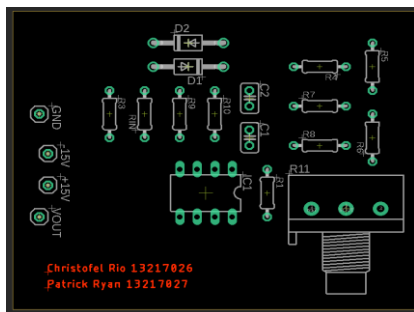


Dalam mendesain PCB in, Penulis membuat supaya tidak Ada jalur Yang bersudut 90 derajat Karena jalur Yang bersudut 90 derajat Akan mengganggu jalannya arus pada frekuensi Yang cukup tinggi, tetapi Penulis Akan membuat

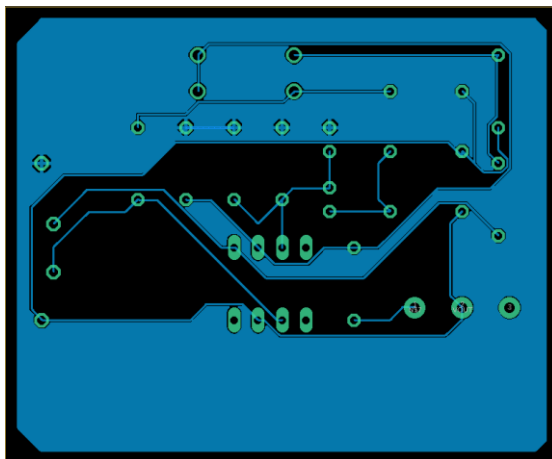
supaya banyak jalur memiliki sudut 45 derajat Karena sudut ini adalah sudut Yang paling baik Dalam jalur PCB. Selain itu, Penulis Akan memakai ground plane Dalam PCB untuk mengurangi noise Dalam rangkaian dan memasang port input, output dan potentiometer pada tepi- tepi PCB untuk mempermudah pemakaian. Selain itu Penulis juga akan membuat jarak antar kapasitor tidak cukup dekat sehingga tidak terjadi kapasitor mutual.

Hasil Desain PCB dari skematik tersebut adalah sebagai berikut:

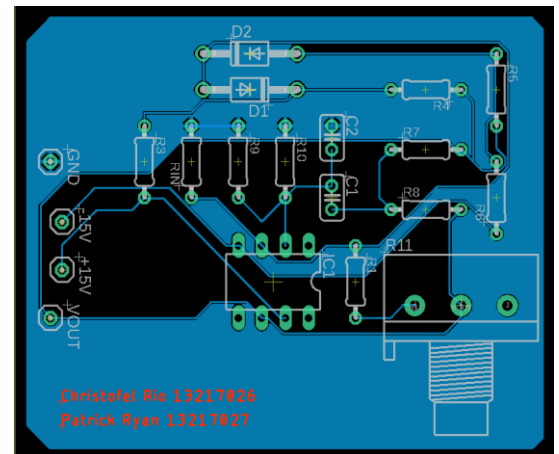
- Top Layer:



- Bottom Layer:



- Overall View:



Digunakan Ground plane, dimana pada gambar dapat ditandai dengan warna biru, terletak pada bottom layer. Ukuran PCB adalah 47,92 x 58,41 mm.

3.5. RINCIAN BIAYA

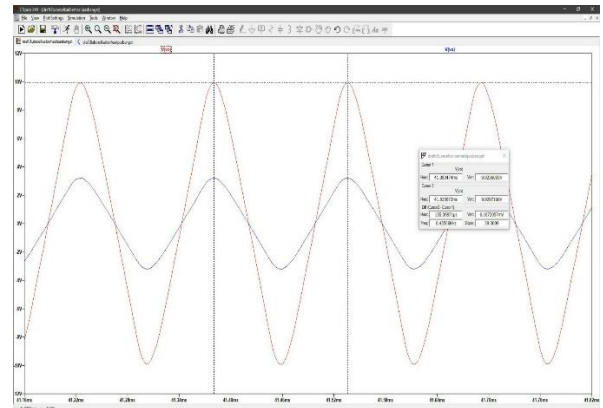
Seperti yang telah disebutkan pada perencanaan desain Penulis memutuskan menggunakan resistor dengan toleransi 1% untuk menjaga karakteristik resistor dari perubahan lingkungan dank arena harga resistor dengan toleansi 1% dan 5% hanya berbeda Rp 20,00 per butir. Selain itu Penulis memutuskan menggunakan masking pada PCB sehingga PCB lebih aman dari tekanan dan efek dari luar meskin menambah harga cukup signifikan. Selain itu Penulis menggunakan PCB dengan FR 4 untuk mengantisipasi kesalahan solder dari Penulis.

Adapun rincian biaya sebuah osilator yang dibuat adalah sebagai berikut.

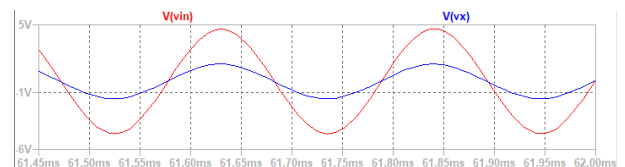
No	Nama	Ban yak	Harga/ Pcs	Harga
1	Pembuatan PCB FR 4 + Masking + Lettering	1	Rp 26.000,00	Rp 26.000, 00
2	Op Amp LM 741 + Socket	1	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
3	Pin Male Header	3	Rp 33,00	Rp 100,00

4	Dioda 1N4001	2	Rp 1.200,00	Rp 2.400,00
5	Resistor 20 KOhm	1	Rp 100,00	Rp 100,00
6	Resistor 10 KOhm	1	Rp 100,00	Rp 100,00
7	Potensiometer 0- 10 KOhm	1	Rp 2.500,00	Rp 2.500,00
8	Resistor 1800 Ohm	4	Rp 100,00	Rp 400,00
9	Resistor 1000 Ohm	2	Rp 100,00	Rp 200,00
10	Resistor 2200 Ohm	2	Rp 100,00	Rp 200,00
11	Kapasitor Film 22 nF	2	Rp 1000,00	Rp 2000,00
Total Harga				Rp 36.500,00

Didapatkan nilai resistor feedback yang membuat osilasi adalah sekitar 20,3 KOhm dengan output sinusoidal dengan amplitude output 9,8 V dan frekuensi 6,432 KHz sebagai berikut.



Kemudian Penulis melakukan simulasi tegangan pada node x dan didapatkan hasil sebagai berikut,



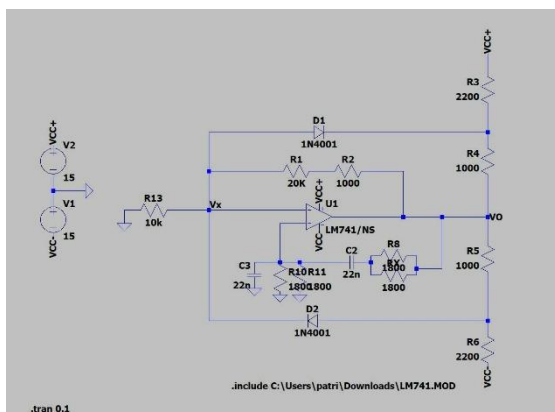
4. HASIL DAN ANALISIS

Berikut data hasil percobaan yang didapat.

4.1. PERCOBAAN 1: PERCOBAAN KARAKTERISTIK RANGKAIAN OSILASI

Pertama, Penulis memasang rangkaian yang telah dibuat pada PCB dengan rangkaian sebagai berikut.

A) RANGKAIAN 1



Lalu Penulis melakukan simulasi percobaan yang akan dilakukan menggunakan software LT Sice XVII, dan didapatkan hasil percobaan sebagai berikut.

Dari hasil simulasi di atas dapat kita lihat bahwa tegangan pada V node adalah tegangan sinusoidal dengan frekuensi 6,432 KHz dan amplitude 3,265 V. Hal ini sesuai dengan asumsi yang digunakan pada desain osilator yaitu tegangan Vx adalah sekitar sepertiga dari tegangan V output.

Lalu, Penulis mengukur komponen-komponen yang akan digunakan pada percobaan 1 dan didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut.

Percobaan 1		
Vdd (V)	Vss (V)	Q1 (Ohm)
15,00	-15,00	LM 741
D1	D2	R1 (Ohm)
1N4001	1N4001	9985 Ohm

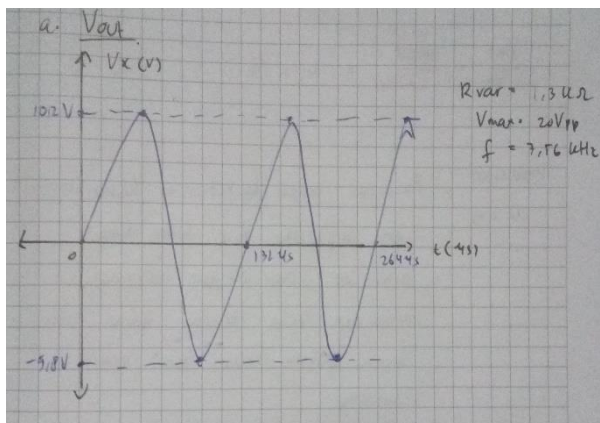
R ₂ (Ohm)	R _{var} (Ohm)	R _{31,32} (Ohm)
20,01 K	1300	1810
R ₄₁ (Ohm)	R ₄₂ (Ohm)	R ₅₁ (Ohm)
1811	1813	1005
R ₅₂ (Ohm)	R ₆₁ (Ohm)	R ₆₂ (Ohm)
1010	3298	3272

R_F (OHM)	F (Hz)	AMPLITUDO
21,3 K	7,56 KHz	10 V
Vx		
V_{OUT}	F (Hz)	
3,331 V	7,54 KHz	
V_{OUT}/ V_X	3,01 V/V	

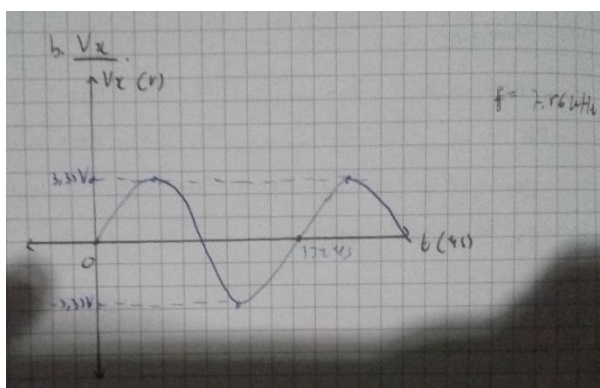
Lalu, berikut hasil percobaan yang Penulis dapatkan.

1) RANGKAIAN 1

A. V_{OUT}



B. V_x



RANGKAIAN 1
V _{OUT}

Dari hasil percobaan di atas dapat kita lihat bahwa pada rangkaian pertama, berdasarkan dasar teori bab 2.1 didapatkan nilai frekuensi saat:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ dan } A_m = 1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Persamaan 4}$$

Didapatkan nilai

$$W = 1 / \sqrt{R_1 * R_2 * C_1 * C_2}$$

Karena R₁ = R₂ dan C₁ = C₂ didapat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 &= 1 / R * C \\
 &= 1 / (900 * 900 * 22 * 10^{-9}) \\
 &= 25.252,525 \text{ rad/s} \\
 \Rightarrow F &= W / 2. \text{ Pi} \\
 &= 4019 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_m &= 1 + C_2 / C_1 + R_1 / R_2 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

Adapun pada hasil percobaan di atas, dapat kita lihat bahwa nilai frekuensi cukup jauh berbeda antara perhitungan tangan, hasil percobaan dan hasil simulasi (yaitu 7565 Hz dan 6432 Hz). Adapun perbedaan cukup besar ini dapat dijelaskan karena perbedaan nilai resistor pada simulasi dengan nilai komponen pada percobaan, yaitu nilai resistansi dan kapasitansi sebenarnya lebih kecil dari nilai C dan R pada simulasi (dapat dilihat pada table), sehingga didapatkan nilai frekuensi osilasi yang lebih besar. Sementara itu perbedaan cukup besar antara simulasi (6432 Hz)

dengan hasil percobaan (7565 Hz) dapat dijelaskan nilai kapasitor yang sangat sensitif terhadap lingkungan, yaitu suhu dan kelembapan [15]. Hal ini mengakibatkan nilai C dapat bergeser hingga 15 % [15] dan mengakibatkan nilai F dapat bergeser sekitar 13,04 persen. Hal ini semakin dikuatkan karena ketika Penulis mengukur kapasitansi kapasitor menggunakan multimeter bench pada laboratorium dasar ditemukan bahwa nilai Cp dan Cs adalah sekitar 25,1 nF yaitu bergeser sekitar 14,8%. Hal ini mengakibatkan nilai frekuensi bergeser sekitar 10% , dan cukup sesuai dengan hasil percobaan yang didapat.

Selain itu berdasarkan rumus penurunan pada **bab 3.1** didapat persamaan sebagai berikut.

$$V_b - (-V_{ss})/R_6 = (V_o - V_b)/R_5$$

Dengan tegangan node b dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_b = V_1 + V_{d2}$$

Dengan V_{d2} adalah tegangan drop voltage diode pada saat forward biase. Dengan melihat datasheet diode 1N4001 didapatkan bahwa tegangan drop dioda adalah sekitar 1V pada suhu STP, maka didapatkan nilai sebagai berikut.

$$V_b = (3,331 \text{ V}) + (1\text{V}) = 4,331 \text{ V}$$

Maka persamaan menjadi sebagai berikut.

$$(4,331\text{V} + 15\text{V})/2200 \text{ Ohm} = (V_o - 4,331 \text{ V})/ 1000 \text{ Ohm}$$

$$\Rightarrow V_o = 13,1178 \text{ V}$$

Adapun pada hasil percobaan di atas, dapat kita lihat bahwa hasil percobaan dan hasil simulasi hampir sama tapi terdapat perbedaan cukup jauh pada perhitungan manual (10,0 V dan 9,95 V). Hal ini kembali disebabkan karena perbedaan nilai resistor pada simulasi dengan nilai komponen pada percobaan, yaitu nilai rasio R_5/R_6 resistansi dan sebenarnya lebih kecil dan rasio R_5/R_6 pada simulasi (dapat dilihat pada table), sehingga didapatkan nilai tegangan yang lebih kecil yang lebih besar. Selain itu kembali hal ini disebabkan karena hasil perhitungan manual

memiliki banyak asumsi yang digunakan, seperti op amp ideal (di mana pada prakteknya tidak mungkin terjadi) sehingga terdapat drop arus dan tegangan pada input op amp yang membuat hasil perhitungan manual lebih besar dari hasil simulasi dan percobaan.

Selain itu dapat kita lihat bahwa nilai penguatan open loop gain (A_M) pada rangkaian 1 adalah sebesar 0,327, yang sesuai dengan hasil perhitungan tangan yaitu penguat open loop adalah 3, sehingga nilai V_x seharusnya = (penguatan open loop)/3 = $1/3 = 0,33$ (hal ini juga sesuai dengan hasil simulasi). Adapun kembali perbedaan kecil disebabkan karena keterbatasan pengukuran osiloskop (yaitu memiliki toleransi dan hambatan dalam).

Selain itu, dapat kita lihat bahwa terjadi perbedaan kecil antara frekuensi rangkaian ketika close loop dan open loop (7,565 KHz dan 7,54 KHz). Hal ini dapat dijelaskan karena pengukuran frekuensi pada osiloskop sangat mudah berubah karena adanya noise , sehingga hasil perhitungan pada frekuensi menjadi sedikit bergeser (biasanya menjadi lebih tinggi [15]).

Lalu, berdasarkan hasil pengamatan Lissajous pada percobaan, dapat kita lihat bahwa perbedaan fasa pada open loop sekitar 0 derajat. Hal ini dapat dijelaskan pada dasar teori bab 2.1, yang menyatakan bahwa:

$$\begin{aligned} A &= A_m \angle 0 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle 0 \\ A &= A_m \angle 180 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle 180 \\ A &= A_m \angle 90 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle -90 \end{aligned} \quad \text{Persamaan 3}$$

Sehingga didapatkan tidak ada pergeseran fasa selama system osilator Wien bekerja (yang juga sesuai dengan hasil simulasi).

Dari hasil percobaan ini dapat kita lihat bahwa rangkaian osilator RC adalah rangkaian yang mengandung resistor dan kapasitor, dan memanfaatkan zero input pada rangkaian yang menghasilkan nilai output hingga tegangan V_{dd} untuk melakukan osilasi. Selain itu dapat kita lihat bahwa rangkaian osilator Wien adalah rangkaian osilator yang mengandung satu op amp dan memiliki penguatan loop sebesar 1, dan penguatan loop gain sepertiga saat semua nilai kapasitor dan resistor pada input sama. Selain itu dapat kita lihat bahwa pada rangkaian Wien tidak terjadi pergeseran fasa dan nilai frekuensi osilasi osilator bergantung pada nilai resistor dan kapasitor pada input negative op amp dengan hubungan seperti di atas. Selain itu dapat kita lihat bahwa amplitud pada osilator Wien dapat dibatasi dengan beberapa cara, salah satu yang

paling mudah dan sering dipakai adalah menggunakan dioda pada outputnya seperti yang digunakan pada percobaan ini. Selain itu dapat kita lihat bahwa osilator bekerja saat nilai penguatan loop gain (L) memiliki nilai tepat 1. Adapun pada prakteknya dibuat nilai penguatan sedikit di atas satu karena mengantisipasi jika nilai komponen pada rangkaian berubah dan penguatan tidak sampai satu. Selain itu hal ini dapat diantisipasi dengan menggunakan potensiometer pada resistor feedback. Selain itu dapat kita lihat bahwa nilai kapasitor sangat bergantung lingkungan sehingga untuk menjaga karakteristik rangkaian digunakan nilai kapasitor yang kecil dan menggunakan resistor dengan toleransi yang sangat baik (contohnya satu persen). Selain itu dapat kita lihat bahwa pada mendesain PCB dibuat supaya jalur tidak memiliki sudut yang mendekati 90 derajat karena dapat mengganggu sinyal dengan frekuensi tinggi. Selain itu komponen yang menghasilkan medan dan dapat mengalami induktansi mutual seperti kapasitor dan inductor diletakkan cukup jauh. Selain itu untuk mengurangi noise pada rangkaian dapat digunakan pouring pada PCB. Adapun untuk melindungi solder dari kesalahan saat solder dan factor eksternal lain dapat digunakan masking.

Karena hasil percobaan sesuai dengan teori maka dapat disimpulkan percobaan telah berhasil dengan baik. Yeyyy....

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dapat kita simpulkan beberapa kesimpulan.

Pada percobaan pertama, yaitu percobaan mendesain dan mengimplementasikan osilator Wien pada PCB dapat kita lihat bahwa rangkaian osilator RC adalah rangkaian yang mengandung resistor dan kapasitor, dan memanfaatkan zero input pada rangkaian yang menghasilkan nilai output hingga tegangan Vdd untuk melakukan osilasi. Selain itu dapat kita lihat bahwa rangkaian osilator Wien adalah rangkaian osilator yang mengandung satu op amp dan memiliki penguatan loop sebesar 1, dan penguatan loop gain sepertiga saat semua nilai kapasitor dan resistor pada input sama. Selain itu dapat kita lihat bahwa pada rangkaian Wien tidak terjadi pergeseran fasa dan nilai frekuensi osilasi osilator bergantung pada nilai resistor dan kapasitor pada input negative op amp dengan hubungan seperti di atas. Selain itu dapat kita lihat bahwa amplitud pada osilator Wien dapat dibatasi dengan beberapa cara, salah satu yang paling

mudah dan sering dipakai adalah menggunakan dioda pada outputnya seperti yang digunakan pada percobaan ini. Selain itu dapat kita lihat bahwa osilator bekerja saat nilai penguatan loop gain (L) memiliki nilai tepat 1. Adapun pada prakteknya dibuat nilai penguatan sedikit di atas satu karena mengantisipasi jika nilai komponen pada rangkaian berubah dan penguatan tidak sampai satu. Selain itu hal ini dapat diantisipasi dengan menggunakan potensiometer pada resistor feedback. Selain itu dapat kita lihat bahwa nilai kapasitor sangat bergantung lingkungan sehingga untuk menjaga karakteristik rangkaian digunakan nilai kapasitor yang kecil dan menggunakan resistor dengan toleransi yang sangat baik (contohnya satu persen). Selain itu dapat kita lihat bahwa pada mendesain PCB dibuat supaya jalur tidak memiliki sudut yang mendekati 90 derajat karena dapat mengganggu sinyal dengan frekuensi tinggi. Selain itu komponen yang menghasilkan medan dan dapat mengalami induktansi mutual seperti kapasitor dan inductor diletakkan cukup jauh. Selain itu untuk mengurangi noise pada rangkaian dapat digunakan pouring pada PCB. Adapun untuk melindungi solder dari kesalahan saat solder dan factor eksternal lain dapat digunakan masking.

Daftar Pustaka

- [1] Adel S. Sedra dan Kennet C. Smith, *Microelectronic Circuits*, Oxford University Press, USA, 1997.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_junction_transistor , Rabu, 20 Februari 2019. 3.25.
- [3] Adel S. Sedra dan Kennet C. Smith, *Microelectronic Circuits*, Oxford University Press, USA, 1997.
- [4] https://www.electronicstutorials.ws/transistor/trans_3.html , Rabu, 20 Februari 2019, 15.25.
- [5] https://www.electronicstutorials.ws/transistor/trans_2.html , Rabu, 20 Februari 2019, 15.30.
- [6] <https://www.petervis.com/Education/transistor-alpha-beta/transistor-alpha-beta.html> , Rabu, 20 Januari 2019, 15.50.
- [7] <https://www.electronicshub.org/different-configurations-of-transistors/> , Rabu, 20 Februari 2019, 15.52.
- [8] <http://fourier.eng.hmc.edu/e84/lectures/ch4/node3.html> , Rabu, 20 Februari 2019, 15.54.
- [9] <https://www.slideshare.net/jessrangcasajo/bipolar-junction-transistor-bjt-dc-and-ac-analysis> , Rabu, 20 Februari 2019. 22.45.

- [10] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/bjts-after-biasing-the-small-signal-model/> , Rabu, 20 Februari 2019, 22.50.
- [11] <https://slideplayer.com/slide/6285846/> , Rabu, 20 Februari 2019, 22.55.
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Common_emitter , Rabu, 20 Februari 2019, 23.00.
- [13] <http://electronics-course.com/bjt-cb-amp> , Rabu, 20 Februari 2019, 23.01.
- [14] <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-4/common-collector-amplifier/> . Rabu, 20 Februari 2019, 23.03.
- [15] https://www.electronicstutorials.ws/amplifier/amp_4.html , Rabu, 20 Februari 2019, 23.15.
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Early_effect , Rabu, 20 Februari 2019, 15.56.
- [17] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-the-early-effect/> , Rabu, 20 Februari 2019, 15.58.
- [18] Hutabarat, Mervin et al. *Petunjuk Praktikum Rangkaian Elektronika II*. 2019.
- [19] <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/bjt-op-amp-current-source-issue.147905/> , Rabu, 16 Oktober 2019, 21.03.
- [20] <http://www.learnabout-electronics.org/Amplifiers/amplifiers31.php> , Rabu, 16 Oktober 2019, 21.15.