

## Rancang Bangun Modulator FM

David Satria Efendi\*, Febrizal\*\*, Rahyul Amri\*\*

\*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Email: davidsatria9390@gmail.com

### ABSTRACT

FM modulator is a device used for the modulation process. Modulation is a process to lay the information signal on carrier signal for reduce interference and noise when signal is propagated. The information signal has 3,4 KHz in frequency , and will be modulated with 19 KHz (carrier signal). FM modulator is designed with PLL (Phase Locked Loop) method, it used the concept of phase signal locking . FM modulator with PLL method consist of four blocks, that is oscillator colpitt, phase comparator, second orde LPF butterworth and VCO wienbridge. Design of FM modulator trainer begins with calculate to determine the component value which suitable with cut off frequency. The next process to make the layout of the pcb board, dissolution layout, pcb board drilling, mounting the female connectors to pcb board, installation of component connectors to the header, and make a box to place trainer FM demodulator. The results obtained at each signal fm demodulator block is different. The modulated signal is obtained at the VCO wienbridge.

**Keywords :** FM Modulator, Modulated Signal, Phase Locked Loop, Carrier Signal, Information Signal.

### I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi informasi saat ini berkembang begitu cepat, dalam era globalisasi dunia teknologi dewasa ini para ahli dari berbagai peneliti terus mengembangkan ilmu mereka untuk menghasilkan suatu kemajuan teknologi, misalnya teknologi radio. Radio merupakan teknologi informasi yang digunakan pada masa peperangan dahulu untuk menyampaikan pesan berupa suara dari jarak yang sangat jauh. Pesan yang disampaikan berupa informasi data melalui telegraf untuk memberitahukan posisi musuh kepada yang lainnya.

Seiring dengan berkembangnya teknologi radio tersebut saat ini ada beberapa jenis radio berdasarkan teknik modulasinya. Misal modulasi analog yaitu *amplitude modulation* (AM), *frequency modulation* (FM) dan *phase*

*modulation*(PM). Sistem pemancar FM memerlukan *modulator* agar sinyal informasi dapat dipancarkan dengan baik. *Modulator* adalah suatu alat untuk melakukan proses modulasi yang mana proses penumpangan sinyal informasi terhadap sinyal pembawa (*carrier*) terjadi. Untuk membuat sebuah modulator dengan frekuensi yang dapat berubah maka osilator yang digunakan adalah VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), akan tetapi sistem VCO memiliki kestabilan yang sangat rendah karena varaktor dan transistor di dalam rangkaian VCO mudah dipengaruhi oleh suhu. Dalam hal ini VCO yang penulis gunakan adalah VCO *Wien Bridge* karena phasa nya dapat dirubah.

Maka untuk membuat sebuah *modulator* FM yang memiliki tingkat kestabilan tinggi dengan frekuensi yang dapat berubah, digunakan sistem PLL

(Phase Locked Loop). PLL (Phase Locked Loop) menggunakan dua buah osilator yaitu *oscillator colpitt* dan VCO. Dengan membandingkan beda fasa antara Frekuensi Referensi pada Osilator dengan Frekuensi *output* dari VCO dengan mengunci fasa kedua osilator akan didapatkan sebuah sinyal keluaran yang stabil dan *variable/* dapat dirubah. Selain dua buah osilator tersebut *phase detector* dan LPF juga termasuk dalam blok *modulator* FM sistem pll. Karena melihat betapa pentingnya sifat dari PLL ini bagi pembelajaran, maka penulis berencana untuk membuat modul praktikum modulator FM sebagai realisasi PLL yang akan dimanfaatkan untuk pengembangan pembelajaran dan melengkapi perlengkapan praktikum pada Laboratorium Teknik Telekomunikasi Universitas Riau.

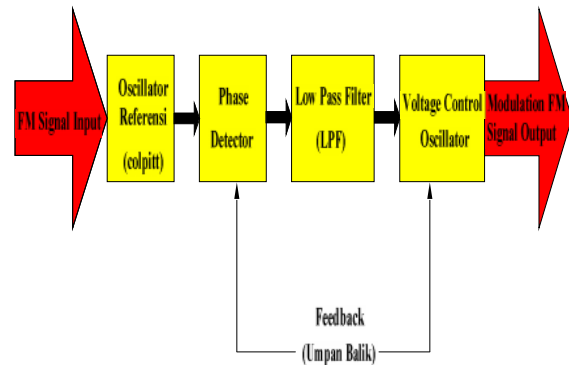
### Pengertian Modulasi FM

Modulasi adalah proses menumpangkan sinyal informasi pada sinyal pembawa (*carrier*) sehingga frekuensi gelombang pembawa (*carrier*) berubah sesuai dengan simpangan (tegangan) gelombang sinyal informasi. Sinyal informasi yang dimodulasikan (ditumpangkan) pada gelombang pembawa menyebabkan perubahan frekuensi gelombang pembawa sesuai dengan perubahan simpangan (tegangan) sinyal informasi.

Pada modulasi frekuensi sinyal informasi mengubah-ubah frekuensi gelombang pembawa, tetapi amplitudanya konstan selama proses modulasi.

### PLL (Phase Locked Loop)

PLL adalah sebuah metode yang memungkinkan suatu sinyal tertentu mengendalikan frekuensi *loop* umpan balik dari *oscillator colpitt*, *phase detector*, *low pass filter*, dan *voltage controlled oscillator* (VCO), dalam sebuah lingkaran yang terkunci. Blok modulasi FM dengan metode PLL ditampilkan pada gambar 1 sebagai berikut :



**Gambar 1. Blok Modulasi FM PLL**

Sinyal input berasal dari *function generator* dengan frekuensi ditentukan 3400 Hz masuk ke input basis pada *oscillator colpitt*. Output dari *oscillator colpitt* akan diteruskan ke blok *phase detector* untuk mendeteksi sinyal yang masuk. Tegangan *input* akan dibandingkan dengan tegangan referensi. Output dari *phase detector* menggerakkan *low pass filter*, dimana pada blok LPF akan terjadi pemotongan frekuensi (*cut-off*) dengan bentuk sinyal sinusoidal. Sinyal hasil keluaran blok LPF akan dikirimkan ke blok VCO untuk proses penguncian frekuensi dari sinyal keluaran blok LPF. Hal ini menyebabkan frekuensi VCO berubah sesuai dengan frekuensi keluaran blok LPF.

Tegangan dc yang diperkuat pada blok *low-pass filter* akan mengendalikan frekuensi VCO dan menjaganya tetap terkunci terhadap frekuensi informasi yang telah termodulasi. Output dari VCO inilah yang dinamakan frekuensi termodulasi FM.

## II. PERANCANGAN ALAT

### Perangkat Yang Digunakan Dalam Penelitian

Adapun perangkat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini yaitu, terdiri dari :

1. Multimeter Analog yang berfungsi untuk melakukan pengecekan koneksi jalur rangkaian pada papan pcb.
2. Multimeter Digital yang berfungsi untuk melakukan pengukuran nilai-nilai komponen yang akan dipasang pada papan pcb.

3. *Power Supply*  $\pm 15$  volt yang dirakit sendiri sebagai catu daya untuk memberi tegangan *input* pada rangkaian demodulator FM agar dapat bekerja dengan optimal.
4. *Frequency Counter* yang digunakan untuk melihat hasil frekuensi rangkaian demodulator FM lebih detail.
5. *Function Generator* yang berfungsi sebagai pemberi masukan berupa frekuensi sinyal informasi.
6. *Oscilloscope* yang digunakan untuk melihat hasil keluaran sinyal masing-masing blok pada rangkaian demodulator FM dengan metode PLL.

### Langkah-Langkah Perancangan

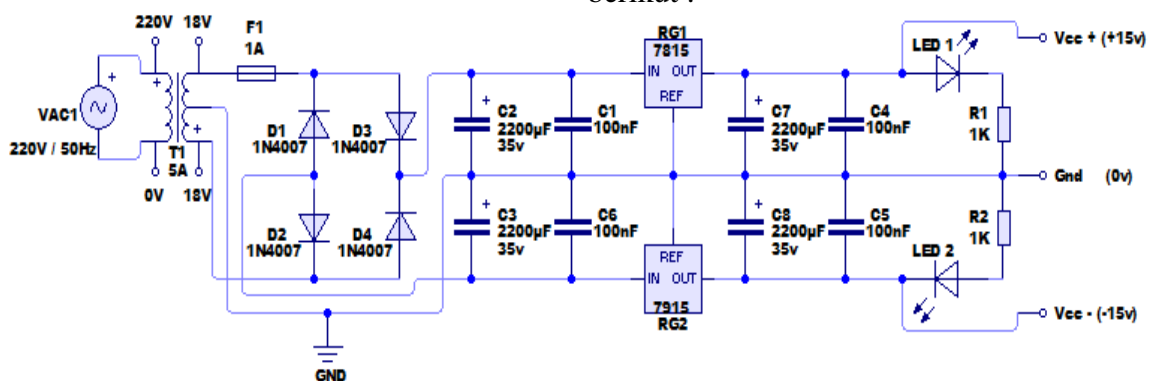
Pada perancangan *trainer* demodulator FM ini, beberapa proses yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan proses perancangan gambar rangkaian pada *software visio*.
2. Melakukan proses perhitungan untuk menentukan nilai komponen yang akan dipasang sesuai dengan bentuk gambar rangkaian yang telah dirancang.
3. Membuat rancangan jalur (*layout*) rangkaian pada *software pcb wizard*.
4. Melakukan proses pemindahan jalur (*layout*) yang telah dirancang ke papan *pcb* dengan cara penyablonan.

5. Setelah jalur (*layout*) dipindahkan, maka proses pelarutan akan dilakukan untuk memisahkan jalur (*layout*) yang telah tertempel pada tembaga papan *pcb*, sehingga mendapatkan bentuk jalur (*layout*) yang sesuai dengan perancangan.
6. Proses setelah *layout* dilarut adalah pengeboran pada titik yang telah ditentukan.
7. Proses selanjutnya adalah memasang konektor pengukuran sinyal ke papan *pcb* sesuai dengan posisi yang telah ditentukan.
8. Proses pemasangan komponen dipasang terlebih dahulu ke konektor *header* agar beberapa variasi nilai komponen yang telah sesuai dengan perhitungan dapat dirubah-rubah.
9. Proses terakhir adalah memasang papan *pcb* yang telah dipasang dengan komponen ke dalam *box* akrilik yang telah dibuat.

### Design Rangkaian Power Supply $\pm 15$ v

Rangkaian *power supply* ini dirakit sendiri untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan data *sheet ic op-amp* pada rangkaian demodulator FM. Rangkaian *power supply* ini dirancang dengan 3 keluaran seperti pada gambar 2 sebagai berikut :

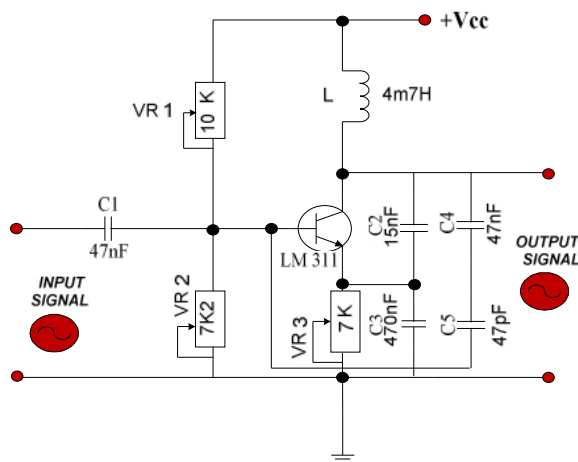


Gambar 2. Design Rangkaian Power Supply  $\pm 15$ V

### Design Rangkaian Oscillator Colpitt

Osilator berfungsi sebagai frekuensi referensi untuk membangkitkan sinyal sinus yang dihasilkan oleh osilator. Osilator colpitt pada prinsipnya adalah sama dengan osilator LC karena frekuensi ditentukan

dari nilai LC komponen pada osilator. Osilator colpitt ini menghasilkan frekuensi *carrier* sebesar 19 kHz. VR1 menentukan sinyal dan amplitudo sinyal, pada VR2 yang dikombinasikan dengan C3 menentukan kerapatan sinyal pada osilator.



**Gambar 3. Design Rangkaian Osilator Colpitt**

Adapun perhitungan nilai komponen pada osilator colpitt adalah sebagai berikut :

$$F_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$19000 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$2 \sqrt{LC} = \frac{1}{19000 \text{ Hz}}$$

$2 \sqrt{LC} = 0,000053$ , jika C diberikan nilai 15 nF, maka :

$$2\pi \cdot L \cdot 15 \text{ nF} = 0,000053$$

$$L = \left( \frac{0,000053}{2\pi} \right)^2 / 15 \text{ nF} \quad (2)$$

$$L = \frac{(0,00000844)^2}{0,00000015} = 4,7 \text{ mH}$$

$L = 4,7 \text{ mH}$

C2 dan C3 terhubung paralel sehingga didapatkan hasil perancangan :

$$C = \frac{470 \text{ nF} \cdot 15 \text{ nF}}{470 \text{ nF} + 15 \text{ nF}} = \frac{7050}{485} = 14,53 \text{ nF} = 15 \text{ nF} \quad (3)$$

Maka nilai C2 = 15 nF dan C3 = 470 nF

Jika C4 = 47 nF maka :

$$\frac{47 \text{ nF} \cdot 47 \text{ pF}}{47 \text{ nF} + 47 \text{ pF}} = \frac{2209000}{47047} = 4,7 \text{ nF} \quad (4)$$

Maka dapat disimpulkan bahwa nilai

C4 = 4,7 nF dan C5 = 47 pF

C paralel (C2 & C3) = 15 nF

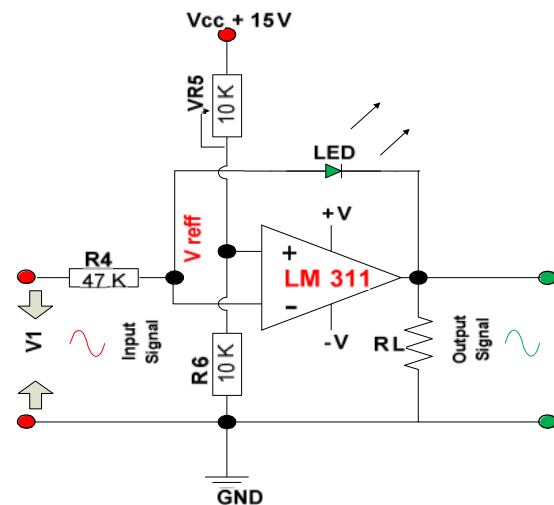
C paralel (C4 & C5) = 4,7 nF

Perkalian yang menghasilkan frekuensi 19 kHz adalah perkalian 4,7 mH dan 15 nF. C yang terhubung paralel (C4 & C5) yang menghasilkan nilai 4,7nF hanya kapasitor non polar yang berfungsi sebagai penstabil

gelombang sinus hasil dari osilator colpitt. VR1 berfungsi untuk penstabil amplitudo sinyal. Sedangkan VR3 berfungsi untuk mengatur arus dari emiter transistor menuju ground.

### Design Rangkaian Phase Detector

Rangkaian *phase detector* terdiri dari R4 sebagai tegangan *input*. Tegangan referensi dibentuk oleh R5 dan R6. LED pada *phase comparator* digunakan sebagai pembatas tegangan *output*. Pada sisi *output*, dipasang RL sebagai resistansi beban rangkaian *phase detector* yang bernilai 10k . Design rangkaian *phase comparator* dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini :



**Gambar 4. Design Rangkaian Phase Detector**

Adapun perhitungan untuk penentuan nilai tegangan referensi rangkaian *phase detector* antara lain sebagai berikut :

$$V_{\text{reff}} = \frac{R2}{R2+R3} \cdot V_{CC} +$$

$$V_{\text{reff}} = \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 10k\Omega} \cdot 15\text{v}$$

$$V_{\text{reff}} = \frac{10k\Omega}{20k\Omega} \cdot 15\text{v}$$

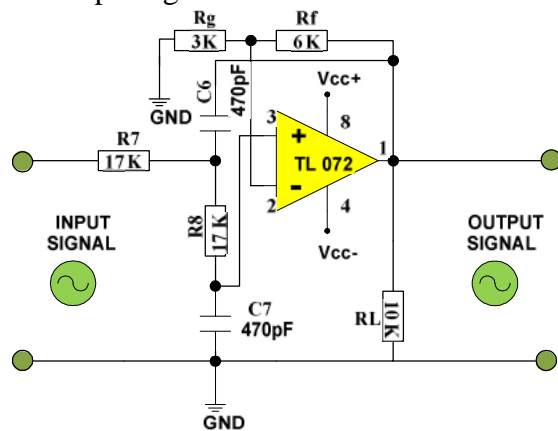
$$V_{\text{reff}} = 7,5\text{v} \quad (5)$$

### Design Rangkaian LPF Butterworth Orde 2

*Low pass filter* merupakan blok rangkaian yang menerima fasa sinyal dari *phase detector* untuk menghasilkan

tegangan dc. Rangkaian *low-pass filter* menggunakan  $R_f$  dan  $R_g$  sebagai penguatan (*gain*) sinyal agar amplitudo sinyal yang dihasilkan lebih jelas.  $R_7$ ,  $R_8$ ,  $C_6$ , dan  $C_7$  berfungsi untuk menentukan *cutt-off* frekuensi yang diinginkan. Pada sisi *output* juga dipasang  $R_L$  sebagai resistansi beban yang bernilai 10 k .

*Design* rangkaian LPF *butterworth* orde 2 dengan menggunakan op-amp dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini :



**Gambar 5. Rangkaian Low Pass Filter Butterworth Orde 2**

Adapun perhitungan untuk menentukan nilai komponen pada rangkaian LPF adalah sebagaiberikut:

- Perhitungan gain :  $A = 1 + \frac{R_f}{R_g} = 1 + \frac{6k\Omega}{3k\Omega} = 1 + 2 = 3V$  (6)
- Perhitungan nilai R dan C dengan  $F_c$  (*frequency cut-off*) 20 kHz :

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (7)$$

$$2 RC = \frac{1}{F_c}$$

$$6,28RC = \frac{1}{20000Hz}$$

$$6,28RC = 0,00005$$

$$RC = \frac{0,00005}{6,28}$$

$$RC = 0,00000796 \quad \text{jika } C \text{ ditentukan sebesar } 470 \text{ pF, maka}$$

$$R = \frac{0,00000796}{0,0000000047 F}$$

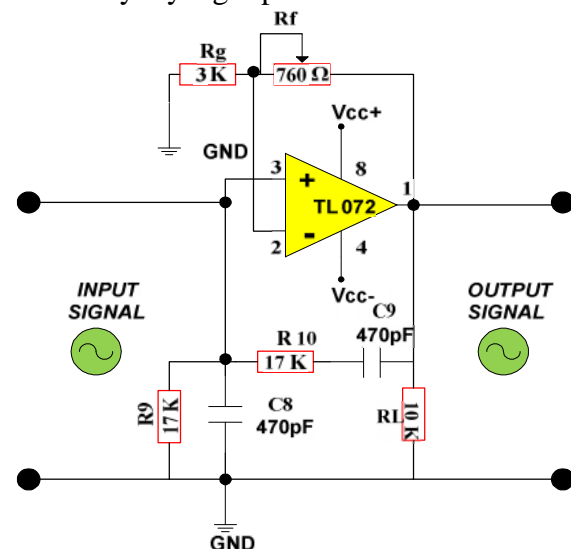
$$R = 16930 \quad (16,9 \text{ k} = 17k)$$

$$R_4=R_5 = 17 \text{ k} \pm 1\% \quad C_1=C_2 = 470 \text{ pF}$$

### Desain Rangkaian VCO Wienbridge

Pada perancangan desain rangkaian VCO *Wienbridge*,  $R_f$  dan  $R_g$  juga difungsikan sebagai penguatan (*gain*) agar siklus sinyal dapat terlihat lebih rapi. Tetapi pada perancangan rangkaian VCO *Wienbridge* ini, komponen  $R_f$  menggunakan *variable* resistor untuk mengubah tinggi dan rendahnya *gain* sinyal.  $R_9$  dan  $C_8$  dihubungkan secara paralel kemudian dihubungkan lagi ke  $R_{10}$  dan  $C_9$  yang terhubung seri.

Pada sisi *output*,  $R_L$  digunakan sebagai resistansi beban rangkaian VCO *Wienbridge* yang bernilai 10k . Proses perancangan rangkaian VCO *Wienbridge* ini harus lebih teliti, karena VCO *Wienbridge* pada *modulator* fm ini berfungsi menjaga kestabilan frekuensi dan bentuk sinyal yang telah *dicutt-off* oleh LPF. Jalur (*layout*) rangkaian VCO *Wienbridge* dibuat serapi mungkin tanpa ada unsur *jumper* kabel, untuk meminimalisir terjadinya *noise*. Penyolderan komponen tidak boleh terlalu lama atau tebal, karena akan mempengaruhi hasil sinyal yang diperoleh.



**Gambar 6. Design Rangkaian VCO Wienbridge**

Adapun perhitungan penentuan nilai komponen pada rangkaian VCO *Wienbridge* adalah sebagai berikut :



$$1. \text{ Perhitungan gain : } A = 1 + \frac{R_f}{R_g} = 1 + \frac{760\Omega}{2k\Omega} = 1 + 0,38 = 1,38 \text{ V} \quad (8)$$

2. Perhitungan penentuan nilai R dan C dengan frekuensi input 20 kHz :

$$\begin{aligned} &= 2 f \quad (9) \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 20000 \text{ Hz} \\ &= 125600 \\ &= \frac{1}{RC} \\ RC &= \frac{1}{\omega} \\ RC &= 1 / 125600 \\ RC &= 7,96 \times 10^{-6} \quad (10) \end{aligned}$$

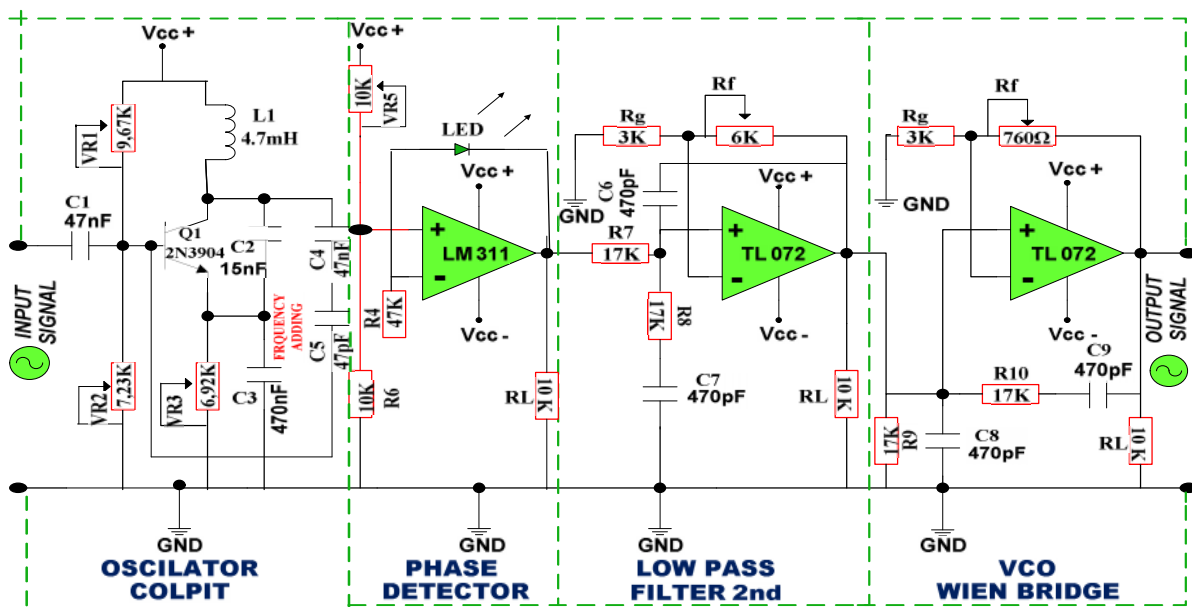
RC = 0,00000796 jika C ditentukan sebesar 470 pF, maka :

$$\begin{aligned} R &= \frac{0,00000796}{0,0000000047 \text{ F}} = 16936 \\ R &= 16936 = 16,9 \text{ k} = 17 \text{ k} \pm 1\% \end{aligned}$$

$$R9=R10 = 17 \text{ k} \pm 1\% \quad C6=C7 = 470 \text{ pF}$$

Penentuan nilai komponen R dan C dilakukan dengan menggunakan rumus dasar frekuensi resonansi. Penentuan nilai komponen ini juga dirancang dengan menyesuaikan nilai yang ada dijual di toko *sparepart* elektronika. Untuk VCO *Wienbridge*, perhitungannya dilakukan dengan proses yang sama untuk menentukan nilai ke 4 buah komponen ini. Jika nilai R9 dan C8 telah didapatkan, maka nilai R10 dan C9 sama besarnya dengan nilai R9 dan C8.

Penggabungan keempat buah blok rangkaian untuk membentuk sebuah *design* rangkaian *modulator* FM dengan metode PLL dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut :



Gambar 7. Design Rangkaian Modulator FM PLL

### III. PENGUJIAN DAN ANALISA

#### Pengujian *Oscillator Colpitt*

Pengujian pada *oscillator colpitt* dilakukan dalam 2 tahap, yaitu sebagai berikut :

1. Pengukuran sinyal tegangan osilasi tanpa sinyal informasi
2. Pengukuran sinyal tegangan osilasi saat diberi sinyal informasi

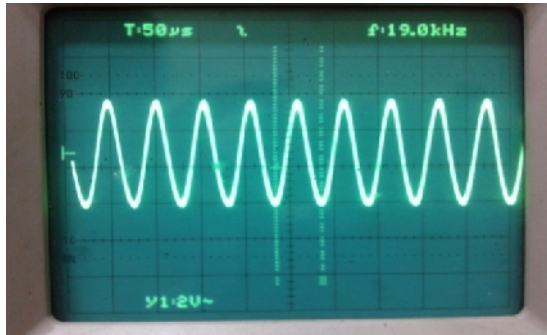
#### Pengujian Tanpa Sinyal Informasi

Sinyal tegangan pada VR1 dan R2 berfungsi untuk mengatur arus bias basis

pada transistor 2N2222A, kestabilan tegangan pada titik tengah antara VR1 dan R2 akan mempengaruhi kinerja dari arus pada basis transistor. Jika VR1 dan R2 diatur akan menghasilkan tegangan bias yang dipengaruhi oleh nilai resistansi dari VR1 dan VR2, maka tegangan bias yang dihasilkan akan menyebabkan timbulnya arus bias pada basis transistor.

Nilai resistansi yang dihasilkan VR3 *oscillator colpitt* menyebabkan pengaruh kerapatan sinyal. Frekuensi yang

dihasilkan sebesar 19 kHz merupakan frekuensi *carrier* dari *oscillator colpitt*. Bentuk sinyal dapat dilihat pada gambar 8 dibawah :



**Gambar 8. Sinyal Osilator tanpa informasi**

**Pengukuran Osilator Dengan Sinyal Informasi**

Input sinyal informasi yang terhubung ke basis transistor memerlukan kapasitansi sebuah kapasitor non polar untuk menjaga kestabilan sinyal informasi agar struktur sinyal informasi yang masuk ke titik basis transistor akan tetap stabil.

Pada saat diberi input sinyal informasi dari *function generator* proses modulasi terlihat jelas adanya getaran yang mempengaruhi sinyal *carrier*. Getaran tersebut akan menampilkan rapat renggang sinyal secara *continue*. Hal ini menandakan bahwa sinyal tersebut telah termodulasi. Hasil pengujian sinyal dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 9. Sinyal Output Oscillator Colpitt**

**Pengujian Phase Detector**

Pada *phase detector* ada 3 tahap pengujian yaitu sebagai berikut :

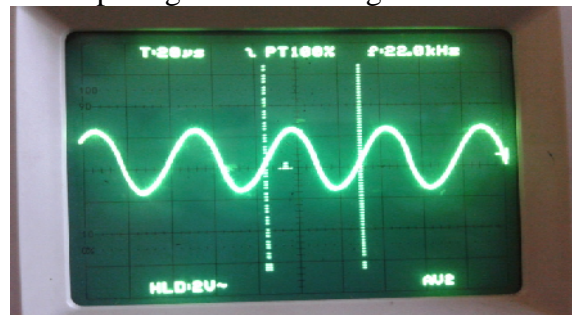
1. Pengujian sinyal tegangan *input* (V *input*) *phase detector*.
2. Pengujian sinyal tegangan referensi (V *reff*) *phase detector*.
3. Pengujian sinyal *output phase detector*.

Penjelasan lebih terperinci tentang tiga tahap pengujian yang dilakukan pada beberapa titik pengukuran *phase detector*, sebagai berikut:

**Pengujian Sinyal Tegangan Input (V input) Phase Detector**

Sinyal tegangan input rangkaian *phase detector* pada *modulator FM analog* dihasilkan oleh R4 yang terhubung ke titik *inverting input* pada IC LM 311. Sinyal *input* berasal dari sinyal *output* rangkaian *Oscillator Colpitt*. Sinyal *output oscillator colpitt* tersebut akan melewati R4 dari rangkaian *phase detector* pada modulator FM analog.

Sinyal tegangan *input* rangkaian *phase detector* didapatkan pada titik R4 yang terhubung dengan titik *inverting input* IC LM 311. Bentuk sinyal pada titik pengukuran R4 yang terhubung ke titik *inverting input* IC LM 311 tidak berubah karena pada titik pengukuran ini hanya melihat sinyal yang dihasilkan setelah melewati R4 tanpa merubah frekuensi dari sinyal tersebut. Siklus sinyal *input* yang terdeteksi pada osiloskop belum mendapatkan bentuk sinusoidal yang sempurna karena, tinggi amplitudo dan periode sinyal tergantung dari sinyal output yang dihasilkan *oscillator colpitt* Hasil pengujian sinyal pada titik ini dapat dilihat pada gambar 10 sebagai berikut :

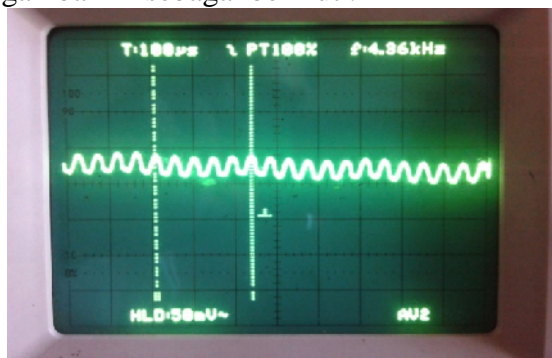


**Gambar 10. Sinyal Tegangan Input Phase Detector**

### Pengujian Sinyal Tegangan Referensi ( $V_{ref}$ ) *Phase Detector*

Sinyal tegangan referensi berada pada titik antara VR5 dan R6. Sinyal pada titik antara VR5 dan R6 yang terhubung ke titik *non inverting input* IC LM 311, mengalami sedikit gelombang naik turun. Ketidak stabilan amplitudo sinyal disebabkan oleh pengaruh tegangan DC +15v yang melewati VR5. *Range* nilai dari VR5 dan R6 sangat mempengaruhi bentuk sinyal referensi pada titik yang terhubung ke titik *non inverting input* IC LM 311. Semakin kecil nilai VR5 dan R6, maka bentuk sinyal akan semakin tidak beraturan. Nilai VR5 dan R6 harus *balance* agar bentuk sinyal dapat terlihat rapi dan stabil.

Untuk melihat perubahan bentuk sinyal referensi pada *phase detector*, maka dipasang resistor *variable* yaitu VR5 agar memudahkan pengaturan tegangan antara titik VR5 dan R6 yang terhubung ke titik *non inverting input* IC LM 311. Nilai toleransi dari resistansi R6 juga mempengaruhi terhadap bentuk sinyal yang dihasilkan pada titik pengukuran ini. Untuk mendapatkan bentuk sinyal yang lebih rapi dan stabil, nilai toleransi resistor sebaiknya sekitar  $\pm 1\%$ . Hasil pengujian sinyal pada titik ini dapat dilihat pada gambar 11 sebagai berikut :



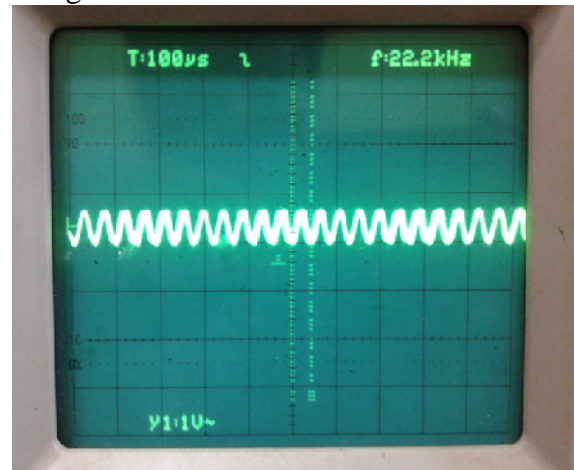
Gambar 11. Sinyal Tegangan Referensi *Phase Detector*

### Pengujian Sinyal Output *Phase Detector*

Sinyal *output phase detector* memiliki bentuk sinyal yang hampir sama dengan sinyal *input* yang telah melewati R4. Sinyal *output* ini merupakan gabungan

antara sinyal tegangan referensi dengan sinyal *input* yang telah melewati titik R4. Amplitudo sinyal *output* mengalami sedikit ayunan tegangan karena pengaruh sinyal *output* dari Osilator Referensi (colpitt). Sinyal yang telah melewati R4 akan di proses didalam IC LM 311 dan menyesuaikan dengan sinyal tegangan referensi yang masuk ke titik *non inverting input* IC LM 311.

Di dalam IC LM 311 akan terjadi proses perbandingan antara sinyal *input* yang telah melewati R4 dengan sinyal referensi pada titik pengukuran antara VR5 dan R6. Frekuensi *output phase detector* sama dengan frekuensi pada *output* osilator referensi karena pada *phase detector* hanya membandingkan fasa sinyal dua buah tegangan dan tidak mengubah frekuensi yang melewatinya. Hasil pengujian sinyal pada titik *output phase detector* dapat dilihat pada gambar 12 sebagai berikut :



Gambar 12. Sinyal Output *Phase Detector*

### Pengujian Low Pass Filter Butterworth Orde 2

Proses pengujian pada LPF *butterworth* orde 2 dilakukan dengan tiga tahap pengujian. Adapun tiga tahap pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

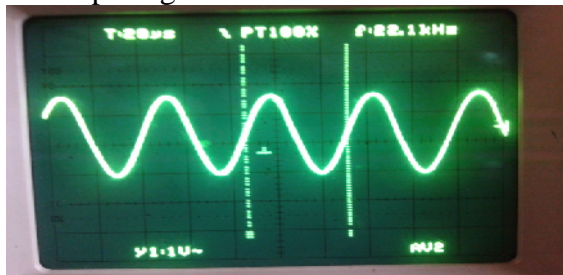
1. Pengujian pada titik RC
2. Pengujian pada titik Rg dan Rf
3. Pengujian pada titik *output* LPF *butterworth* orde 2



### Pengujian Pada Titik RC

Pada pengujian LPF *butterworth* orde 2, masih terdapat frekuensi *carrier* dan informasi pada titik R7 yang terhubung dengan C4 dan R8. Frekuensi *carrier* dan informasi pada titik ini belum dipisahkan karena LPF *butterworth* orde 2 masih ada proses selanjutnya pada titik RC yang kedua. Tetapi bentuk sinyal yang terdapat pada titik ini telah berubah sesuai dengan pengaturan nilai RC yang telah dihitung.

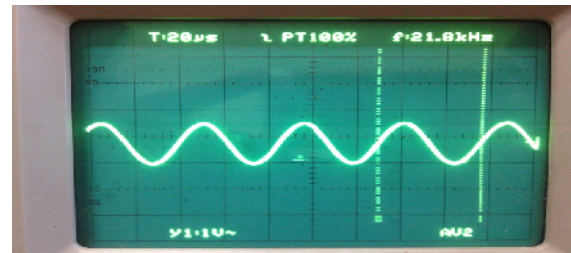
Sinyal pada titik ini berasal dari *output phase detector*, dimana bentuk sinyal berubah setelah melewati R7 yang terhubung dengan C6 dan R8. Sinyal pada titik ini berubah disebabkan oleh nilai RC yang telah dihitung sesuai dengan konsep LPF *butterworth* orde 2. Amplitudo sinyal berubah karena pengaruh resistansi dari R7, sedangkan periode sinyal berubah karena pengaruh kapasitansi C6 yang terhubung ke titik *output* pin 1 pada IC TL 072. Sinyal pada titik R7 menuju C6 dapat dilihat pada gambar 13a di bawah ini :



**Gambar 13.a Sinyal Pada Titik R7 C6 LPF Butterworth Orde 2**

Sinyal yang berada pada titik antara R7 dan C6 mengalami pergerakan naik turun sinyal yang dipengaruhi oleh nilai resistansi dari R8. Frekuensi yang dihasilkan tetap 22,1 KHz yang menunjukkan proses penyaringan frekuensi pada rangkaian LPF *butterworth* orde 2 sedang berlangsung menuju arah nilai *cutt-off* yang diinginkan. Proses *cutt-off* yang sebenarnya tidak bisa didapatkan pada titik ini karena masih ada koneksi ke beberapa komponen yang juga sangat penting dalam proses *cutt-off* frekuensi pada LPF *butterworth* orde 2. Titik komponen pada C7 mempengaruhi bentuk sinyal dari LPF *modulator*, karena jika C7

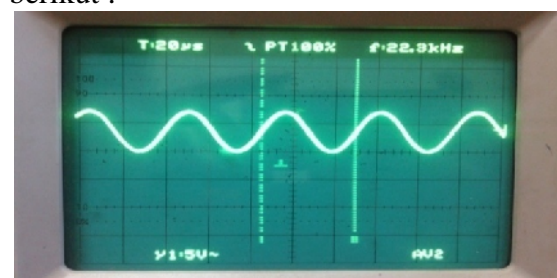
dilepas maka bentuk amplitudo sinyal tidak stabil yang disebabkan oleh nilai resistansi yang besar. Jika ingin melihat bentuk sinyal sinus sempurna yang dihasilkannya pada titik pengukuran R8 menuju C7 dapat dilihat pada gambar 13b di bawah ini :



**Gambar 13.b Sinyal Pada Titik R8-C7 LPF Butterworth Orde 2**

### Pengujian Pada titik Rg dan Rf

Sinyal pada titik ini merupakan *feedback* dari sinyal *output* LPF *butterworth* orde 2. Titik tengah antara Rg dan Rf terhubung ke *inverting input* yang menjadikan jenis *feedback* nya adalah *feedback* negatif. Bentuk sinyal yang didapat pada titik ini sama dengan bentuk sinyal *output* LPF karena ada umpan balik dari titik *output*. Amplitudo dan periode sinyal pada titik ini dipengaruhi oleh pengaturan nilai Rf dan Rg, karena Rf adalah *variable resistor* yang dapat dirubah-rubah nilai nya sesuai dengan nilai Rg yang telah terpasang. Nilai *variable resistor* ini mempengaruhi *output* dari pada VCO. Perubahan nilai Rf yang dihasilkan *variable resistor* ini diputarlah yang menyebabkan siklus sinyal berubah sampai nilai Rf menjadi nol. Hasil pengujian sinyal pada titik Rg dan Rf dapat dilihat pada gambar 14 sebagai berikut :

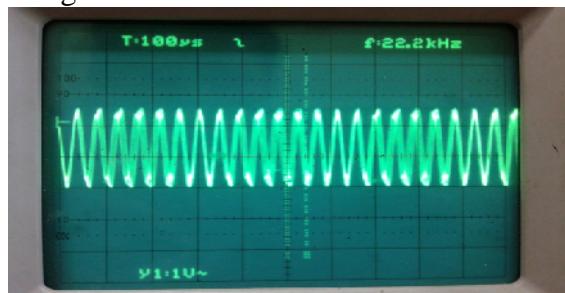


**Gambar 14. Sinyal Pada Titik Rg dan Rf**

### Pengujian Pada Titik Output LPF Butterworth Orde 2

Sinyal *output* LPF *butterworth* orde 2 telah mendapatkan kembali sinyal informasi seperti sinyal keluaran *function generator*. Proses *cutt-off* sinyal pada *output* LPF ini juga mendapat pengaruh dari nilai  $R_f$  dan  $R_g$ . Jika pengaturan nilai  $R_f$  dan  $R_g$  telah mendapatkan keseimbangan nilai, maka sinyal *output* pada LPF akan membentuk sinyal sinusoidal seperti sinyal keluaran *function generator*. *Output* yang dihasilkan oleh rangkaian LPF ini menghasilkan tegangan DC. Tegangan dc inilah yang mengendalikan frekuensi.

Pada titik *output* LPF *butterworth* orde 2 ini, sinyal telah di *cut-off* secara sempurna dengan ditandai oleh satu siklus sinyal telah memiliki rapat renggang yang sama pada sisi puncak dan lembah sinyal. Sinyal *output* yang terdeteksi oleh osiloskop menunjukkan bahwa sinyal *carrier* telah di *cutt-off* dan sinyal informasi telah berhasil didapatkan dengan bentuk sinyal sinusoidal sempurna. Jika ada kenaikan amplitudo pada *output* LPF, bukan berarti sinyal itu sinyal AM karena kenaikan amplitudo sinyal dipengaruhi oleh nilai resistansi oleh komponen rangkaian. Pengaruh lain dari kenaikan amplitudo tersebut adalah *noise* yang dihasilkan oleh komponen pada LPF. Hasil pengujian sinyal *output* LPF *butterworth* orde 2 dapat dilihat pada gambar 15 sebagai berikut :



**Gambar 15 Sinyal Output LPF Butterworth orde 2**

Tegangan *input* dan *output* pada LPF *butterworth* orde 2 ini dapat digunakan untuk menghitung *gain* sinyal dalam *decibell* (dB). Adapun penentuan *gain*

sinyal dalam *decibell* dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini :

$$\text{Diketahui } V_{in} = 0,0 \text{ V}$$

$$V_{out} = 2 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{Gain dalam dB} &= 20 \log V_{out}/V_{in} \\ &= 20 \log 4,52 \text{ V}/2,2 \text{ V} \\ &= 20 \log 2,054 \text{ V} \\ &= 20 (0,31) \\ &= 6,2 \text{ dB} \end{aligned}$$

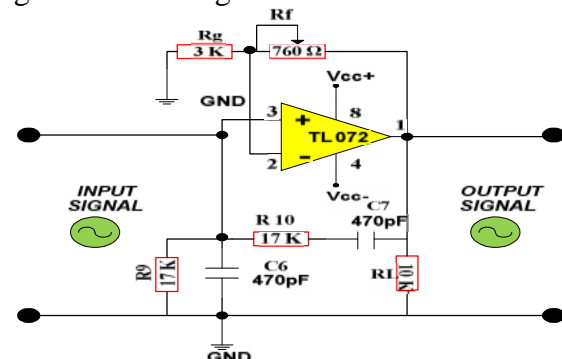
### Pengujian VCO Wienbridge

Pengujian hasil VCO *Wienbridge* dilakukan dalam 2 tahap yaitu sebagai berikut :

1. Pengujian VCO *Wienbridge* jika diberi bias tegangan.
2. Pengujian pada titik *output* VCO *Wienbridge*.

### Pengujian VCO Wienbridge Jika Diberi Bias Tegangan

VCO *Wienbridge* adalah jenis VCO yang sangat stabil. Jika VCO ini berdiri sendiri, frekuensi yang dihasilkan memiliki tingkat kestabilan yang tinggi. VCO *Wienbridge* yang berdiri sendiri tanpa *input* sinyal dari *function generator*, dapat diuji kestabilannya dengan mengoperasikan rangkaian VCO *Wienbridge* yang diberi tegangan *input* dari *power supply*  $\pm 15 \text{ V}$ . Pengujian VCO *Wienbridge* tidak sampai disini saja, karena rangkaian VCO *Wienbridge* harus diuji dengan diberi bias tegangan untuk membuktikan bahwa rangkaian VCO *Wienbridge* layak dijadikan sebuah VCO pada *modulator* FM analog PLL. Adapun konsep rangkaian VCO *Wienbridge* jika diberi bias tegangan dapat dilihat pada gambar 16 sebagai berikut :



**Gambar 16 Rangkaian VCO Wienbridge Jika Diberi Bias Tegangan**

Rangkaian VCO *Wienbridge* pada gambar 16 diuji dengan menggunakan 2 unit *power supply*. *Power supply* yang pertama digunakan untuk mengoperasikan

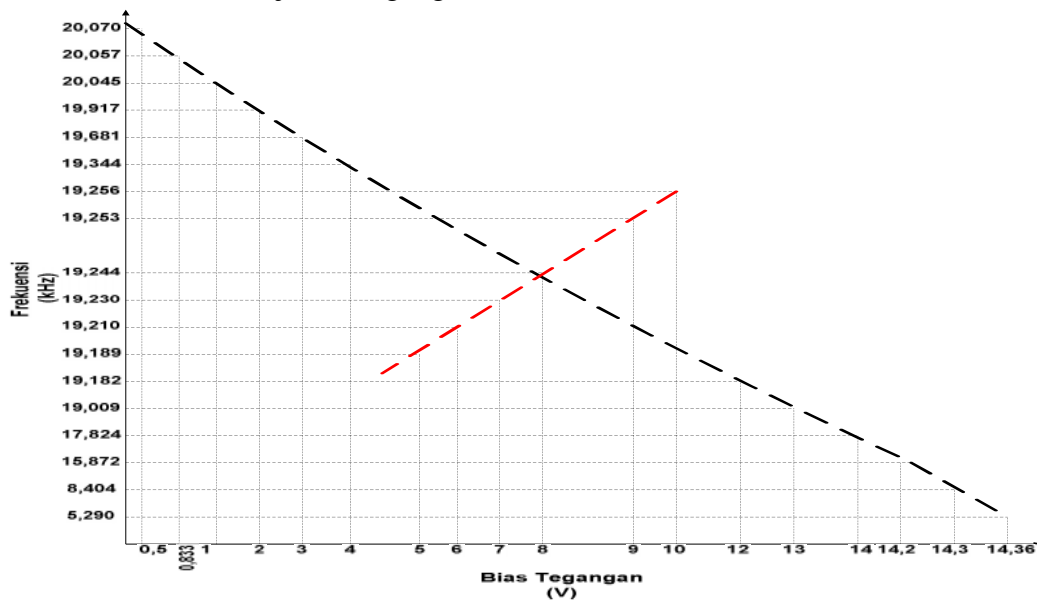
rangkaian VCO *Wienbridge*, dan *power supply* yang kedua digunakan untuk memberi bias tegangan pada rangkaian VCO.

**Tabel 1. Pengujian VCO *Wienbridge* Jika Diberi Bias Tegangan**

No	V BIAS	FREKUENSI	NO	V BIAS	FREKUENSI
1	0,5 V	20,070 kHz	18	8,5 V	19,251 kHz
2	0,833 V	20,057 kHz	19	9 V	19,253 kHz
3	1 V	20,045 kHz	20	9,5 V	19,255 kHz
4	1,5 V	19,994 kHz	21	10 V	19,256 kHz
5	2 V	19,917 kHz	22	10,5 V	19,250 kHz
6	2,5 V	19,812 kHz	23	11 V	19,236 kHz
7	3 V	19,681 kHz	24	11,5 V	19,218 kHz
8	3,5 V	19,523 kHz	25	12 V	19,182 kHz
9	4 V	19,344 kHz	26	12,5 V	19,121 kHz
10	4,5 V	19,180 kHz	27	13 V	19,009 kHz
11	5 V	19,189 kHz	28	13,5 V	18,759 kHz
12	5,5 V	19,203 kHz	29	14 V	17,824 kHz
13	6 V	19,210 kHz	30	14,1 V	17,168 kHz
14	6,5 V	19,220 kHz	31	14,2 V	15,872 kHz
15	7 V	19,230 kHz	32	14,3 V	8,404 kHz
16	7,5 V	19,237 kHz	33	15 V	0 kHz
17	8 V	19,244 kHz			

Dari data pengujian VCO *Wienbridge* yang terdapat pada tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tidak semua frekuensi akan bertambah besar jika tegangan bias

semakin besar. Grafik naik dan turunnya frekuensi akan lebih jelas jika dilihat pada gambar 17 sebagai berikut :



**Gambar 17. Grafik frekuensi VCO *Wienbridge* jika diberi bias tegangan**

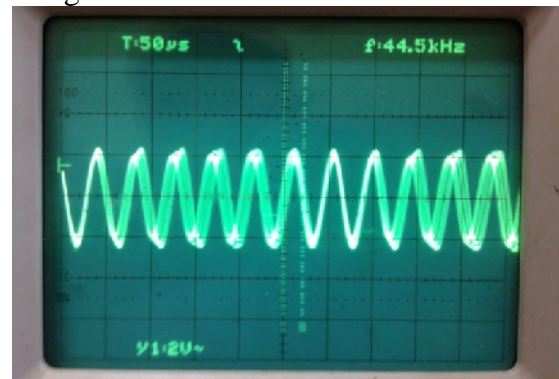
Hasil yang terlihat pada grafik diatas menunjukkan frekuensi mengalami penurunan yang stabil dari tegangan bias 0,5V – 4V. Pada kenaikan tegangan bias 5V-10V, frekuensi mengalami kenaikan bertahap dari rentang frekuensi 19,189 kHz-19,256 kHz. Pada tegangan bias 12V-14,36V, frekuensi kembali mengalami penurunan dari rentang frekuensi 19,182 kHz-5,290 kHz. Berdasarkan garis grafik, garis merah menunjukkan kenaikan frekuensi. Garis hitam menunjukkan frekuensi mengalami penurunan jika tegangan bias semakin besar. Titik tengah antara tegangan bias 7V-9V berada pada tegangan bias 8V. Hasil data yang ditunjukkan oleh grafik dapat disimpulkan bahwa tidak semua frekuensi akan mengalami penurunan jika tegangan bias semakin besar.

#### **Pengujian Pada Titik Output VCO Wienbridge**

Proses menuju titik *output* harus melewati beberapa titik rangkaian RC tingkat 2 yang terhubung ke titik *non inverting input* IC TL 072. Sinyal pada titik R9 yang diparalel dengan C8 masih memiliki bentuk yang sama seperti sinyal *output* LPF *butterworth* orde 2. Hal ini terjadi karena pada titik ini hanya meneruskan sinyal *output* LPF *butterworth* orde 2 yang masuk ke titik R9 dan C8 pada VCO *Wienbridge*.

Setelah melewati titik R9, sinyal akan diproses lagi pada titik R10 dan C9. Sinyal pada titik ini mengalami penurunan sudut fasa sekitar 90° yang disebabkan oleh pengaruh resistansi R10 yang terhubung seri dengan C9. Penurunan sudut fasa ini lebih tepatnya mendapat pengaruh dari kapasitansi C8 yang terhubung ke titik *output*. Jika C8 dilepaskan, maka sudut fasa akan kembali naik. Tetapi jika dipasang kembali, sudut fasa akan mengalami penurunan kembali. Hal ini dikarenakan proses pergeseran fasa sedang terjadi, karena rangkaian RC tingkat 2 pada VCO *Wienbridge* difungsikan untuk menggeser fasa sebesar 180°.

Pada VCO *Wienbridge*, sinyal *output* tidak merubah bentuk dari sinyal yang dihasilkan *output* LPF, hanya fasa sinyal yang tergeser sebesar 180°. Penguncian fasa dari *output* LPF dapat diatur pada Rf dengan memutar *variable* resistor yang difungsikan sebagai resistansi *feedback* pada VCO *Wienbridge*. Sinyal *output* VCO *Wienbridge* memiliki bentuk sinyal yang sama dengan titik tengah antara Rg dan Rf karena sinyal *output* mendapat *feedback* dari sinyal yang diproses pada ICTL 072. Titik *output* pada pin 1 IC TL 072 juga terhubung ke titik RL, dimana resistansi RL berfungsi untuk menjaga kestabilan *output* sinyal VCO *Wienbridge*. Hasil pengujian sinyal *output* VCO *Wienbridge* dapat dilihat pada gambar 18 sebagai berikut :



**Gambar 18 Sinyal Output VCO Wienbridge**

Tegangan *input* dan tegangan *output* VCO *Wienbridge* juga dapat digunakan untuk menghitung *gain* sinyal dalam *decibell* (dB). Adapun penentuan *gain* sinyal dalam *decibell* (dB) dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini :

$$\text{Diketahui } V_{in} = 4,52 \text{ V}$$

$$V_{out} = 6,00 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{Gain dalam dB} &= 20 \log V_{out}/V_{in} \\ &= 20 \log 6,00 \text{ V}/4,52 \text{ V} \\ &= 20 \log 1,327 \text{ V} \\ &= 20 (0,123) \\ &= 2,4 \text{ dB} \end{aligned}$$

#### **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada



rangkaian *modulator* FM analog dapat disimpulkan bahwa :

1. PLL merupakan salah satu blok rangkaian yang sangat stabil untuk sistem modulasi, karena PLL memiliki karakteristik pengunci fasa sinyal dari kinerja setiap blok PLL.
2. Sinyal yang telah termodulasi sempurna adalah sinyal informasi 3,4 kHz yang berasal dari *function generator* dan sinyal pembawa (*carrier*) 19 kHz yang dihasilkan oleh rangkain *modulator* FM akan menghasilkan frekuensi sebesar 22,4 kHz.
3. Pada keluaran FM, tegangan sinyal akan semakin besar jika tegangan sinyal informasi semakin besar.

### Saran

Proses penyolderan diharapkan dilakukan dengan hati-hati sehingga komponen terpasang dengan baik ke pcb agar kualitas rangkaian yang lebih baik. Penulis mengharapkan pada penelitian selanjutnya dapat mengembangkan penelitian ini menjadi lebih baik. Misalnya mendapatkan metoda baru dan teori dari beberapa sumber yang lebih relevan agar penelitian yang dibuat lebih diterima oleh pembaca.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Febrizal, ST., MT dan bapak Rahyul Amri, ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada para sahabat dan rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2008 yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Ardhiansyah, Edy Nur, 2010, *Rangkaian Komparator Tegangan Sederhana*, Program Studi

Telekomunikasi Politeknik Negeri Malang, Malang.

<http://www.ElektroKomunikasiTelkomtekMalang.htm>. Diakses 12 Desember 2013

2. Fhatony, Puty Mayangsari, *Simulasi Rangkaian Osilator Colpitt Menggunakan Matlab*, <http://www.academia.edu/4006060/simulasi-rangkaian-osilator-colpitt.htm>.
3. Hamonangan, Aswan, 2013, *Osilator Jembatan Wien*, LabAnalog, ElectronicLAB. <http://www.electroniclab.com> Diakses 6 Desember 2013
4. Jamain, M.Kasirin. 2006. *Pemancar FM Dengan Osilator PLL (Phase Locked Loop)*. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Semarang. Diakses : 20 Februari 2014
5. Kresnawati, Vera Noviana. 2012. *Realisasi PLL (phase locked loop) sebagai modul praktikum Modulator FM*. Program Studi teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Bandung. Bandung Diakses : 16 November 2013
6. Kugelstad, Thomas, 2001. *Active Filter Design Techniques* <http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature>. Diakses : 12 November 2013
7. Martin, Roberto Manuel da Costa, 2013, *Rancang Bangun Pemancar FM Portable*, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmi Komputer, Universitas Komputer Indonesia, Bandung. Diakses : 7 Mei 2014
8. Putra, Catur, 2011, *Phase Looched Loop*, <http://www.ElektronikaKomunikasiTelkomtekMalang.htm>. Diakses 3 Januari 2014
9. Roddy, Dennis, dkk. 1984, *Komunikasi Elektronika edisi 3*, Erlangga, Jakarta.

10. Sidik, Umar, 2010, Filter Pasif. <http://www.scribd.com/doc/171168225/filter>. Diakses 10 November 2013
11. Susilawati, Indah, 2009. Teknik Telekomunikasi Dasar. *Kuliah 4 Modulasi Frekuensi*, Universitas Mercu buana, Yogyakarta. Diakses : 7 April 2014
12. Sutikno, Lina H, 2006, Teori Aplikasi Op amp, [http://robby.c.staff.gunadarma.ac.id/Download/files/8013/2\\_Op-amp.pdf](http://robby.c.staff.gunadarma.ac.id/Download/files/8013/2_Op-amp.pdf). Diakses: 30 Desember 2013