

OSILATOR 121,5 MHZ PADA ELT MENGGUNAKAN VCO MC1648

Kania Sawitri^{*)}, Rustamaji, dan Aldi Adhari

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. P. K. H. Hasan Mustapa No. 23, Bandung 40124, Indonesia

^{*)}E-mail: kania@itenas.ac.id

Abstrak

Pada saat terjadi kecelakaan pesawat terbang di suatu tempat, dapat diketahui posisi atau lokasinya dengan menggunakan suatu alat yang diletakkan pada badan pesawat terbang tersebut, yaitu *emergency locator transmitter* (ELT). Pada ELT terdapat komponen osilator sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi 121,5 MHz, dengan spesifikasi militer yang tidak tersedia di pasar bebas. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi *voltage controlled oscillator* (VCO) menggunakan MC1648 sebagai osilator pada frekuensi 121,5 MHz, serta implementasinya pada pembangkit sinyal ELT. Hasil pengukuran menunjukkan VCO sebagai osilator dapat membangkitkan sinyal keluaran berupa gelombang sinusoida dengan tegangan antara 11,60 s.d. 41,5 mV_{pp} dan rentang frekuensi 90,88 s.d. 126,75 MHz, dimana frekuensi = 121,5 MHz dapat dibangkitkan pada tegangan DC masukan = 4,25 V_{DC}. Rangkaian VCO sebagai osilator 121,5 MHz hasil penelitian ini, dapat diimplementasikan pada pembangkit sinyal ELT hasil penelitian sebelumnya, sehingga dapat dibangkitkan sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, berupa gelombang AM dengan indeks modulasi = 24,05%.

Kata kunci: sumber tegangan variabel, dioda varaktor, osilator, VCO, ELT

Abstract

When an aircraft accident occurs in a place, it can be known the position or location by using a device placed on the body of the aircraft, namely emergency locator transmitter (ELT). In the ELT there are oscillator components as signal generator at frequency of 121.5 MHz, with military specifications that are not available in the free market. In this research, the design and realization of voltage controlled oscillator (VCO) using a MC1648 as an oscillator at frequency of 121.5 MHz, and its implementation in the ELT signal generator. The measurement results show that the VCO as an oscillator can generate an output signal in the form of a sinusoidal wave with a voltage between of 11.60 to 41.5 mV_{pp} and a frequency range of 90.88 to 126.75 MHz, where the frequency = 121.5 MHz can be generated at the input DC voltage = 4.25 V_{DC}. The VCO circuit as an oscillator of 121.5 MHz from this study can be implemented on the ELT signal generation from previous studies, so that ELT signals can be generated at a frequency of 121.5 MHz, in the form of an AM waves with a modulation index = 24.05%.

Keywords: variable voltage source, varactor diode, oscillator, VCO, ELT

1. Pendahuluan

Pada saat ini; teknologi dirgantara berkembang sangat pesat, terutama untuk menentukan posisi pesawat terbang saat terjadi kecelakaan. Apabila terjadi suatu kecelakaan atau pesawat terbang hilang, posisi pesawat terbang dapat diketahui dengan adanya *emergency locator transmitter* (ELT) yang diletakkan pada badan pesawat terbang [1]. ELT dilengkapi dengan antena pemancar, akan secara otomatis memancarkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz secara terus-menerus sebagai *beacon* untuk memberitahukan lokasi atau posisi diri pada saat badan pesawat terbang terhempas [2].

Pada ELT terdapat komponen osilator sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi 121,5 MHz, berupa *integrated circuit*

(IC), dimana IC tersebut memiliki spesifikasi militer [3], karena kekhususannya tidak tersedia di pasar bebas.

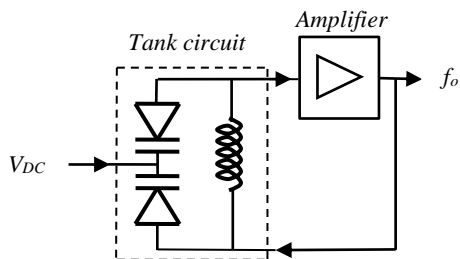
Beberapa penelitian yang berhubungan dengan osilator atau *voltage controlled oscillator* (VCO) sebagai pembangkit sinyal, antara lain: desain ELT menggunakan osilator dari RF generator pada frekuensi 121,5 MHz dan IC osilator kristal pada frekuensi 125 MHz [4], desain VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 32,5 - 35 MHz dengan menggunakan IC MC1648 [5], desain VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 86 s.d. 112 MHz dengan frekuensi tengah sebesar 100 MHz [6], desain VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 120 MHz sampai 2 GHz dengan menggunakan induktor yang dapat diubah-ubah [7], dan desain VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada

frekuensi hingga 150 MHz dengan menggunakan *lithium niobate RF-MEMS resonator* [8].

Dari beberapa penelitian sebelumnya [4-8], osilator berupa VCO dapat menghasilkan sinyal pada frekuensi tinggi dengan menggunakan berbagai metode. Penelitian mengenai ELT masih mengalami kesulitan, karena osilator berupa IC yang digunakan untuk membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz tidak tersedia di pasar bebas. Sehingga diperlukan usaha secara mandiri untuk mendesain sebuah osilator yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz sesuai spesifikasi [9]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan desain dan realisasi osilator berupa VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz menggunakan IC yang tersedia di pasar bebas di Indonesia, untuk diaplikasikan pada pembangkit sinyal ELT.

2. Metode

Voltage controlled oscillator (VCO) adalah bentuk osilator LC, dimana besarnya frekuensi keluaran f_o dihasilkan karena pengendalian kapasitansi dari kapasitor C pada rangkaian resonansi (*tank circuit*) oleh tegangan DC eksternal, atau frekuensi keluaran sebagai fungsi dari tegangan DC eksternal $f_o = F(V_{DC})$. Diagram blok VCO seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok VCO

Dari Gambar 1, VCO terdiri dari *amplifier* dan elemen umpan balik berupa *tank circuit*. Dioda varaktor pada *tank circuit* mendapat tegangan DC (*reverse bias*) yang berubah-ubah akan menghasilkan perubahan kapasitansinya, mengakibatkan perubahan frekuensi resonansi dari *tank circuit*; sehingga di keluaran VCO dihasilkan frekuensi sinyal, sesuai persamaan 1 [10]:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz} \quad (1)$$

dimana:

f_o = frekuensi keluaran VCO (Hz)

L = induktansi dari induktor (H)

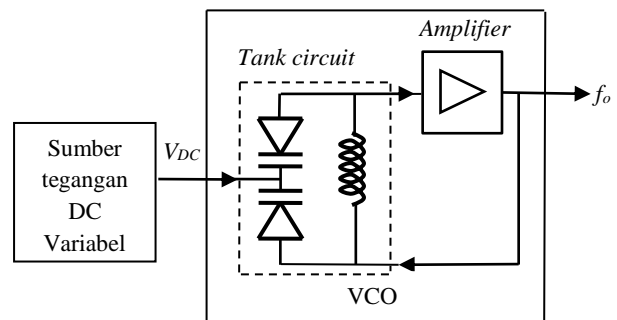
C = kapasitansi dari kapasitor (F)

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini, adalah: perancangan, realisasi, pengukuran dan pengujian VCO,

serta implementasi VCO pada pembangkit sinyal ELT. Untuk menghasilkan Osilator berupa VCO yang mampu bekerja pada frekuensi 121,5 MHz untuk diaplikasikan pada ELT, dilakukan tahapan yang meliputi:

1. Perancangan osilator berupa VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz, meliputi tahapan:
 - Perancangan sumber tegangan DC variabel, untuk *reverse bias* pada dioda varaktor di *tank circuit*, dan
 - Perancangan osilator berupa VCO sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi 121,5 MHz.
2. Pengujian VCO sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi 121,5 MHz, meliputi:
 - Pengukuran sinyal keluaran VCO, dan
 - Pengujian VCO sebagai osilator pada ELT yang telah direalisasikan oleh [4].

Diagram blok VCO lengkap dengan sumber tegangan DC, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok VCO Lengkap dengan Sumber Tegangan DC

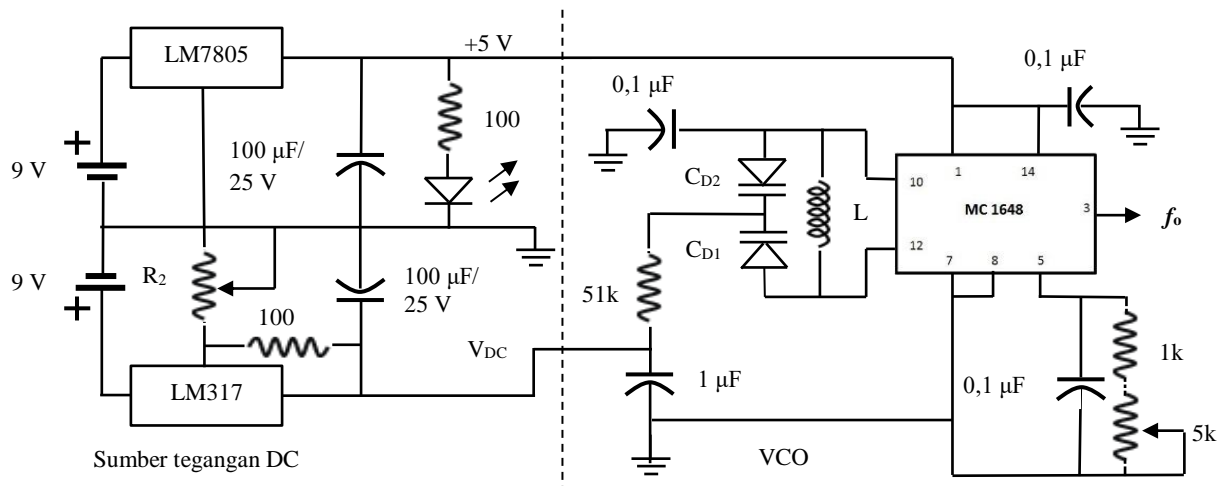
Dari Gambar 2, diagram blok VCO lengkap dengan sumber tegangan DC, terdiri dari sumber tegangan DC tetap dan variabel, serta VCO.

Spesifikasi dari rangkaian VCO yaitu:

1. Sumber tegangan DC, dengan tegangan keluaran variabel 1 s.d. 9 V_{DC} dan tegangan tetap 5 V_{DC} ,
2. VCO direalisasikan dengan IC MC1648,
3. Keluaran VCO berupa sinyal sinusoida pada frekuensi 121,5 MHz \pm 6 kHz, dengan kestabilan frekuensi = \pm 50,00 ppm sesuai dengan [9], dan
4. VCO sebagai osilator pada frekuensi 121,5 MHz \pm 6 kHz dapat diaplikasikan pada ELT.

Desain rangkaian osilator berupa VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz, seperti pada Gambar 3, terdiri dari: sumber tegangan DC dan VCO.

Desain VCO yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz, dibagi menjadi: desain rangkaian sumber tegangan DC, desain rangkaian VCO, dan penggabungan seluruh rangkaian. Kemudian rangkaian lengkap VCO sebagai osilator akan diimplementasikan pada rangkaian ELT yang telah direalisasikan sebelumnya oleh [4].



Gambar 3. Desain Rangkaian Osilator Berupa VCO yang Dapat Membangkitkan Sinyal pada Frekuensi 121,5 MHz

2.1. Sumber Tegangan DC

Sumber tegangan DC untuk menghasilkan dua macam tegangan keluaran yang stabil, yaitu: tegangan DC tetap sebesar 5 V untuk mencatu IC VCO, dan tegangan DC variabel sebesar 1 s.d. 9 V_{DC} untuk *reverse bias* pada dioda varaktor. Tegangan DC tetap dihasilkan menggunakan regulator tegangan berupa IC LM7805, sedangkan tegangan DC variabel dihasilkan menggunakan regulator tegangan berupa IC LM317. Dimana kedua IC regulator tegangan tersebut dicatu dari baterai +9 volt, seperti pada bagian kiri dari Gambar 3.

Dari gambar 3, pada keluaran LM7805 dihasilkan tegangan tetap = + 5 V_{DC} untuk mencatu rangkaian VCO MC1648. Sedangkan pada keluaran LM317, dengan mengatur resistor variabel R₂ = 1 kΩ dihasilkan tegangan variabel = + 1 s.d. 9 V_{DC}, untuk memberi *reverse bias* pada dioda varaktor di rangkaian VCO. Realisasi dan tata letak rangkaian sumber tegangan DC, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Realisasi dan Tata Letak Rangkaian Sumber Tegangan DC

2.2. VCO dengan MC1648

VCO sebagai osilator untuk membangkitkan gelombang sinyal sinusoida pada frekuensi = 121,5 MHz ± 6 kHz, menggunakan IC MC1648. Sesuai dengan spesifikasinya, MC1648 dapat bekerja hingga frekuensi maksimum 225 MHz. Rangkaian VCO menggunakan MC1648 dan *tank circuit*, seperti pada bagian kanan dari Gambar 3 [11].

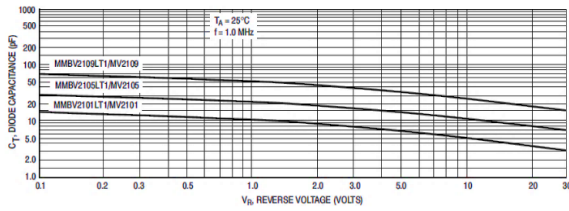
Dari Gambar 3, rangkaian *tank circuit* pada VCO terdiri susunan paralel dari induktor L dan kapasitor (berupa dioda varaktor C_{D1} dan C_{D2}). Sehingga sesuai persamaan 1, di keluaran VCO dihasilkan frekuensi sinyal sebesar:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_D}} \text{ Hz} \tag{2}$$

dimana:

- f_o = frekuensi keluaran VCO (Hz)
- L = induktansi dari induktor (H)
- C_D = kapasitansi dari dioda varaktor (F)

Pada desain rangkaian *tank circuit* ini, untuk menghasilkan frekuensi sinyal keluaran VCO = (121,5 MHz ± 6 kHz), digunakan induktor tetap L, dan kapasitor berupa 2 buah dioda varaktor C_D yang kapasitansinya diatur melalui tegangan V_{CD}. Grafik kapasitansi terhadap tegangan masukan *reverse* untuk beberapa tipe dioda varaktor, seperti pada Gambar 5 [12].



Gambar 5. Grafik Kapasitansi Dioda Varaktor Terhadap Tegangan Masukan Reverse

Dari Gambar 5, dioda varaktor C_D dengan tipe MV2105, menghasilkan kapasitansi = 10 s.d. 20 pF pada tegangan reverse $V_R = 1,25$ s.d. $10 V_{DC}$. Karena 2 buah dioda varaktor (C_{D1} dan C_{D2}) dipasang secara seri. Maka, pada tegangan reverse $V_R = 1,25$ s.d. $10 V_{DC}$, diperoleh kapasitansi total:

$$C_D = \frac{C_{D1} \times C_{D2}}{C_{D1} + C_{D2}} \text{ F} \quad (3)$$

dimana:

C_D = kapasitansi total dioda varaktor (F)

sehingga:

$$C_{D \min} = \frac{C_{D1 \min} \cdot C_{D2 \min}}{C_{D1 \min} + C_{D2 \min}} = \frac{10 \times 10^{-12} \cdot 10 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-12} + 10 \times 10^{-12}} = 5 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$C_{D \max} = \frac{C_{D1 \max} \cdot C_{D2 \max}}{C_{D1 \max} + C_{D2 \max}} = \frac{20 \times 10^{-12} \cdot 20 \times 10^{-12}}{20 \times 10^{-12} + 20 \times 10^{-12}} = 10 \times 10^{-12} \text{ F}$$

Maka untuk menghasilkan frekuensi sinyal keluaran pada VCO sebesar (121,5 MHz \pm 6 kHz) atau frekuensi minimum $f_{out} (\min) = 121,494$ MHz dan frekuensi maksimum $f_{out} (\max) = 121,506$ MHz, sesuai persamaan 2 dibutuhkan induktor L sebesar:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \cdot C_D} \text{ H} \quad (4)$$

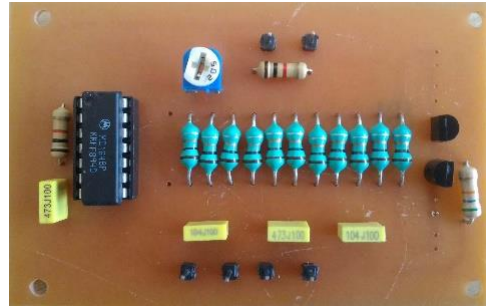
- untuk frekuensi keluaran minimum $f_{out} (\min) = 121,494$ MHz, dan $C_D \max = 10$ pF

$$L = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \cdot C_{D \max}} = \frac{1}{(2\pi \cdot 121,494 \times 10^6)^2 \cdot 10 \times 10^{-12}} = 0,11 \times 10^{-6} \text{ H} = 0,11 \mu\text{H}$$

- untuk frekuensi keluaran maksimum $f_{out} (\max) = 121,506$ MHz, $C_D \min = 5$ pF

$$L = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \cdot C_{D \min}} = \frac{1}{(2\pi \cdot 121,506 \times 10^6)^2 \cdot 5 \times 10^{-12}} = 0,16 \times 10^{-6} \text{ H} = 0,16 \mu\text{H}$$

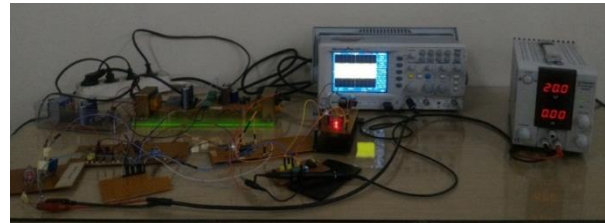
Sehingga pada realisasinya untuk membangkitkan frekuensi keluaran VCO sebesar 121,5 MHz, dipilih induktor tetap $L = 0,11 \mu\text{H}$ dan dioda varaktor MV2105 diatur kapasitansinya melalui tegangan DC variabel. Tata letak divais pada rangkaian VCO, seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Tata Letak Divais pada Rangkaian VCO

2.3. Implementasi Osilator Berupa VCO pada Pembangkit Sinyal ELT

Selanjutnya, VCO sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi 121,5 MHz diimplementasikan sebagai osilator pada rangkaian pembangkit sinyal ELT dari hasil penelitian sebelumnya oleh [4]. Rangkaian lengkap pengujian ELT menggunakan VCO sebagai osilator pada frekuensi 121,5 MHz, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Lengkap Pengujian ELT Menggunakan VCO Sebagai Osilator pada Frekuensi 121,5 MHz

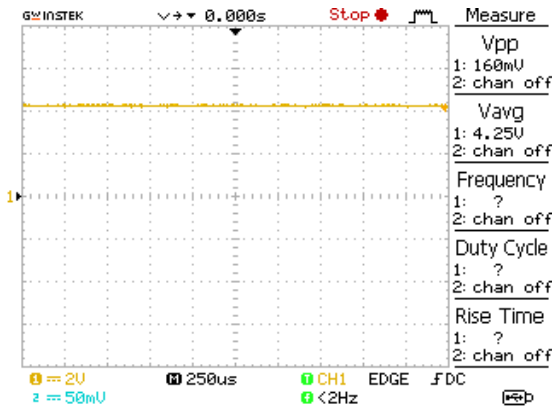
3. Hasil dan Analisis

Dari hasil desain dan pengukuran rangkaian VCO sebagai pembangkit sinyal 121,5 MHz dapat diketahui karakteristik atau parameter yang dihasilkan, meliputi: tegangan keluaran dari sumber tegangan tetap dan variabel, tegangan dan frekuensi sinyal keluaran rangkaian VCO, dan sinyal keluaran pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz dengan osilator berupa VCO hasil rancangan penelitian ini.

3.1. Sumber Tegangan DC

Keluaran dari sumber tegangan DC, berupa tegangan tetap sebesar 5 V sebagai tegangan suplai untuk IC MC1648 dan tegangan variabel sebagai *reverse bias* untuk dioda varaktor MV2105. Tegangan variabel keluaran dari

sumber tegangan DC, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Tegangan Variabel Keluaran dari Sumber Tegangan DC

Dari Gambar 8, terlihat sumber tegangan variabel menghasilkan tegangan DC = 4,25 V. Pengukuran keluaran dari sumber tegangan variabel dilakukan beberapa kali, tiap selang waktu 5 menit untuk melihat kestabilan tegangan.

Sumber tegangan variabel diberi catu (*supply*) dari baterai 9 volt, dan dengan mengatur resistor variabel R_2 pada rangkaian Gambar 3, diperoleh keluaran berupa tegangan DC sebesar 1,25 s.d. 7,8 V, seperti pada Tabel 1.

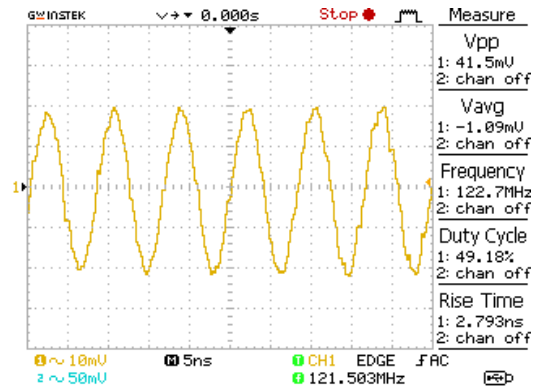
Tabel 1. Tegangan Variabel Keluaran Sumber Tegangan DC

	V_{out} (V)						
	Pengamatan (menit ke-)						
	0	5	10	15	20	25	30
1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,74
2,25	2,26	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,77	2,77	2,77
3,25	3,24	3,24	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,74	3,74	3,74
4,25	4,24	4,24	4,25	4,24	4,25	4,25	4,25
4,75	4,75	4,74	4,75	4,73	4,76	4,76	4,75
5,25	5,25	5,26	5,26	5,24	5,25	5,25	5,25
5,75	5,75	5,75	5,75	5,76	5,75	5,75	5,75
6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
6,75	6,74	6,75	6,75	6,76	6,75	6,75	6,74
7,25	7,25	7,25	7,24	7,26	7,26	7,26	7,24
7,75	7,73	7,73	7,73	7,73	7,76	7,76	7,72

Dari Tabel 1, keluaran dari sumber tegangan variabel diatur melalui resistor variabel R_2 , untuk menghasilkan tegangan DC yang stabil antara 1,25 s.d. 7,8 V. Hasil pengamatan setiap selang waktu 5 menit, menunjukkan tegangan keluaran adalah cukup stabil dan tanpa *ripple*. Dimana besar tegangan variabel keluaran yang diperoleh yaitu antara 1,25 s.d. 7,8 V telah sesuai dengan yang diharapkan, yaitu masuk pada rentang 0 s.d. 30 V_{DC} yang besarnya cukup sebagai tegangan *reverse bias* untuk dioda varaktor MV2105.

3.2. Rangkaian VCO

VCO menghasilkan sinyal keluaran berupa gelombang sinusoida dengan amplitudo dan frekuensi tertentu, sebanding dengan tegangan *reverse bias* masukan yang dipasang pada dioda varaktor. Gelombang sinusoida keluaran VCO, seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Gelombang Sinusoida Keluaran VCO

Dari Gambar 9, bila pada masukan VCO dipasang tegangan DC sebesar 4,25 V, dihasilkan keluaran berupa gelombang sinusoida dengan tegangan 41,5 mV_{pp} dan frekuensi 121,503 MHz. Dilakukan beberapa kali pengukuran setiap selang waktu 5 menit untuk mengetahui kestabilan tegangan dan frekuensi sinyal keluaran VCO. Hasil pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2, pada masukan rangkaian VCO dipasang tegangan DC variabel antara 1,25 s.d. 7,75 V akan menghasilkan keluaran berupa gelombang sinusoida pada tegangan antara 11,60 s.d. 41,5 mV_{pp} dan frekuensi antara 90,88 s.d. 126,75 MHz. Dimana dengan tegangan DC masukan = 4,25 V_{DC} , pada keluaran VCO dapat dibangkitkan gelombang sinusoida dengan frekuensi = 121,5 MHz. Hasil pengamatan selama 30 menit untuk setiap selang waktu 5 menit, menunjukkan bahwa frekuensi gelombang sinyal keluaran VCO dalam kondisi stabil sekitar 121,5 MHz \pm 6 kHz atau masuk dalam rentang 121,494 s.d. 121,506 MHz, dengan kestabilan frekuensi = \pm 50,00 ppm sesuai spesifikasi yang diharapkan [13]. Grafik frekuensi keluaran terhadap tegangan masukan DC dari VCO, seperti pada Gambar 10.

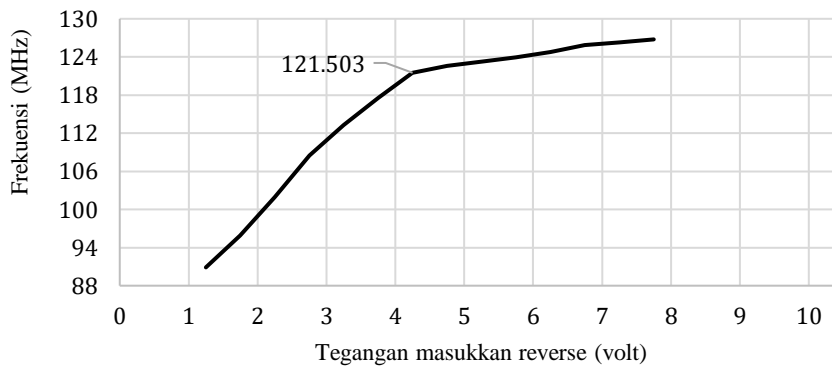
3.3. Pengujian VCO Sebagai Osilator pada ELT

Implementasi VCO sebagai osilator frekuensi 121,5 MHz pada ELT, untuk mengetahui fungsi kerja dan karakteristik keluaran rangkaian ELT setelah dipasang VCO hasil penelitian ini. Diagram blok pengujian VCO sebagai osilator 121,5 MHz pada ELT dari hasil penelitian [4], seperti pada Gambar 11.

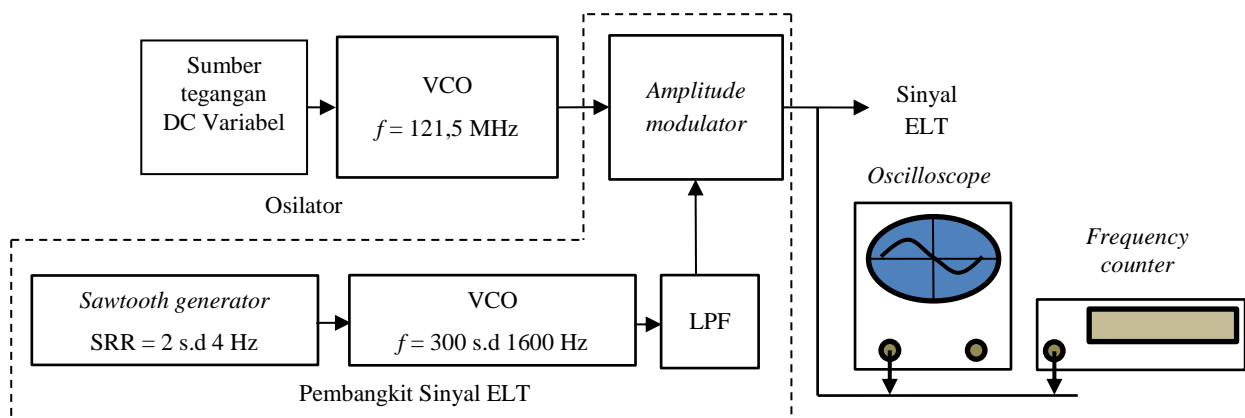
Tabel 2. Tegangan DC Masukan Terhadap Frekuensi Sinyal Keluaran VCO

V_{DC} [V]	C_D [pF]	Pengamatan (menit ke-)													
		0		5		10		15		20		25		30	
		Teg	Frek	Teg	Frek	Teg	Frek	Teg	Frek	Teg	Frek	Teg	Frek	Teg	Frek
1,25	20	16,7	90,8821	16,2	90,8908	15,6	90,8891	16,3	90,8889	15,6	90,8875	16,2	90,887	15,8	90,8876
1,75	19	12,3	95,8614	11,8	95,8628	12,3	95,9556	11,8	95,9426	12,0	95,9443	12,3	95,9439	11,6	95,9440
2,25	18	15,3	101,906	15,8	101,958	16	101,957	15,1	101,947	15,1	101,960	16	101,960	15,8	101,960
2,75	17,5	33,2	108,455	33,5	108,447	32,4	108,448	34,4	108,462	34	108,455	33,5	108,459	32	108,458
3,25	17	38,7	113,281	38	113,275	38,7	113,282	38,4	113,278	38	113,278	38	113,282	38	113,255
3,75	16,5	40,7	117,544	42	117,520	41,2	117,541	40,4	117,540	41,2	117,55	40,7	117,573	40,9	117,569
4,25	16	41,5	121,503	41,5	121,502	41,5	121,498	40,7	121,501	42,0	121,500	41,5	121,502	42,0	121,499
4,75	15,5	40,7	122,559	40,7	122,545	40	122,538	42,7	122,561	41,5	122,562	41,2	122,564	41,5	122,573
5,25	14	41,5	123,258	40,4	123,252	40,7	123,251	41,2	123,245	41,5	123,269	42	123,263	41,2	123,246
5,75	14	41,5	123,945	40,4	123,975	41,5	123,972	41,5	123,962	39,2	123,960	40,7	123,967	40	123,969
6,25	14	39,5	124,750	40	124,746	39,5	124,786	40	124,746	38,7	124,748	40	124,75	40	124,75
6,75	13	37,2	125,866	38	125,864	38,7	125,86	38,4	125,827	37,5	125,828	37,5	125,83	38	125,832
7,25	12,5	36,4	126,310	36,4	126,303	37,5	126,305	38,4	126,303	38	126,301	37,2	126,257	37,2	126,244
7,75	12	37,5	126,761	36,7	126,761	36	126,758	36,4	126,828	37,5	126,764	38,4	126,799	38,7	126,798

Teg = Tegangan dalam (mV_{pp})
 Frek = Frekuensi dalam (MHz)



Gambar 10. Grafik Frekuensi Keluaran Terhadap Tegangan Masukan DC dari VCO



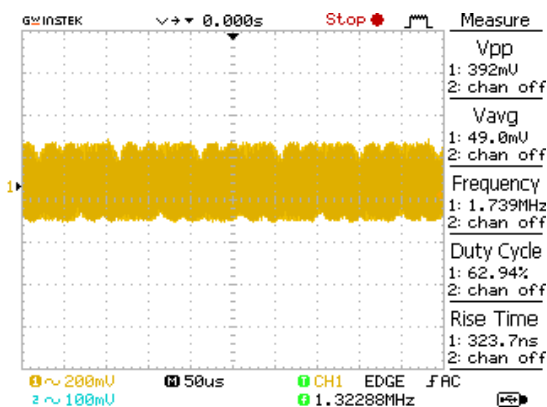
Gambar 11. Diagram Blok Pengujian VCO Sebagai Osilator 121,5 MHz pada ELT

Dari Gambar 11, VCO sebagai osilator 121,5 MHz, dengan tegangan antara 40,7 s.d. 42,0 mV dan frekuensi antara 121,498 s.d. 121,503 MHz dipasang pada terminal masukan *amplitude modulator* di rangkaian ELT. Pada keluaran pembangkit sinyal ELT, dihasilkan sinyal ELT berupa gelombang *amplitude modulation* (AM) dengan tegangan dan frekuensi, seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan dan Frekuensi Keluaran Pembangkit Sinyal ELT

Sinyal keluaran ELT	
V_{out} (mV _{pp})	f_{out} (MHz)
392	121,502
384	121,502
384	121,502
392	121,502
392	121,502
384	121,502
448	121,502
372	121,502
368	121,502
376	121,502
376	121,502

Dari Tabel 3, hasil pengujian pembangkit sinyal ELT dengan osilatornya berupa VCO 121,5 MHz, pada keluarannya dihasilkan sinyal ELT dengan rentang tegangan 368 s.d. 448 mV_{pp} pada frekuensi 121,502 MHz. Sinyal keluaran pembangkit ELT berupa gelombang AM seperti pada Gambar 12, dan besar frekuensi seperti pada Gambar 13.



Gambar 12. Gelombang AM Keluaran Pembangkit ELT dengan Osilatornya Berupa VCO 121,5 MHz



Gambar 13. Frekuensi Keluaran Pembangkit ELT

Dari Gambar 12 dan 13, pada keluaran ELT dihasilkan sinyal berupa gelombang AM dengan tegangan = 392 mV_{pp} dan frekuensi = 121,502 MHz.

Dari Gambar 12, menunjukkan gelombang AM dengan tegangan *peak* atau $V_{peak} = 390$ mV_{pp} dan tegangan *dip* atau $V_{dip} = 240$ mV_{pp}, sehingga dengan persamaan:

$$m(\%) = \frac{V_{peak} - V_{dip}}{V_{peak} + V_{dip}} \times 100\% \quad (5)$$

dapat diketahui indeks modulasi $m(\%)$:

$$m(\%) = \frac{392 - 240}{392 + 240} \times 100\% = \frac{152}{632} \times 100\% = 24,05\%$$

Dapat dikatakan bahwa, keluaran pembangkit ELT sudah sesuai dengan yang diharapkan, yaitu berupa gelombang AM dengan tegangan 368 s.d. 448 mV_{pp} dengan indeks modulasi $m(\%) = 24,05\%$ sesuai ketentuan dari [14][15], dan frekuensi = 121,502 MHz.

3.4. Pembahasan

Secara keseluruhan, dari penelitian ini sudah dapat dihasilkan VCO sebagai osilator 121,5 MHz yang berhasil diimplementasikan pada pembangkit sinyal ELT hasil penelitian [4], dan pembangkit sinyal ELT tersebut dapat berfungsi untuk membangkitkan sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz sesuai dengan yang direncanakan, dan hasilnya sesuai spesifikasi penerbangan sipil.

Dibandingkan dengan VCO hasil penelitian [6-8], penelitian ini sudah berhasil merealisasikan VCO sebagai osilator yang dapat membangkitkan gelombang sinusoida pada frekuensi 121,5 MHz.

Dibandingkan dengan IC osilator kristal keluaran pabrikan [9], maka spesifikasi VCO sebagai osilator 121,5 MHz dari hasil penelitian ini, dapat dikatakan setara, yaitu: sinyal keluaran VCO berupa gelombang sinusoida dengan frekuensi 121,502 MHz masuk pada rentang 121,494 s.d. 121,506 MHz, dengan kestabilan frekuensi = $\pm 50,00$ ppm sesuai spesifikasi yang diharapkan [9].

Aspek kritis dari osilator pembangkit sinyal 121,5 MHz untuk spesifikasi militer seperti pada [3], yaitu frekuensi yang dihasilkan osilator harus berada pada *band* (121,5 MHz ± 50 kHz) atau (121,450 s.d. 121,550 MHz) dapat dipenuhi dari hasil penelitian ini yang berhasil merealisasikan osilator dengan frekuensi keluaran yang stabil antara 121,498 s.d. 121,503 MHz seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

VCO sebagai osilator 121,5 MHz hasil penelitian ini dapat diimplementasikan pada pembangkit sinyal ELT hasil penelitian [4], dan berhasil membangkitkan sinyal ELT

berupa gelombang AM dengan tegangan 368 s.d. 448 mV_{pp} dengan indeks modulasi $m(\%) = 24,05\%$ sesuai [14][15], dan frekuensi = 121,502 MHz sesuai [13].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merealisasikan VCO sebagai osilator pada frekuensi 121,5 MHz sesuai spesifikasi, dengan menggunakan IC MC1648 yang tersedia di pasar bebas. VCO sebagai osilator 121,5 MHz hasil penelitian ini dapat diimplementasikan pada pembangkit sinyal ELT hasil penelitian sebelumnya, dan berhasil membangkitkan sinyal ELT berupa gelombang AM dengan tegangan 368 s.d. 448 mV_{pp} dengan indeks modulasi $m(\%) = 24,05\%$, dan frekuensi = 121,502 MHz.

Referensi

- [1]. Departement of Transportation Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 91. *Emergency Locator Transmitters: Final Rule* 2000. FAA: 2000.
- [2]. Wallace RJ, Hubbard TP. Effect of 406 MHz ELTs and COSPAS SARSAT Cessation of 121.5 MHz ELT Monitoring on Search and Rescue Duration for General Aviation Aircraft Accidents in the Contiguous United States. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. Oklahoma. 2014.
- [3]. Industry Canada. RSS-287. *Spectrum Management and Telecommunications: Radio Standards Specification*. Canada. Industry Canada: Issue 2 March 2014.
- [4]. Rustamaji, Sawitri K, Sitepu RH, "Pembangkit Sinyal ELT pada Frekuensi 121,5 MHz", *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 11 No. 1, 2019.
- [5]. Rustamaji, Djaelani E, Ruhiyat D. *VCO of Exciter Design for Electronic Jammer Using IC MC 1648*. Proceeding of The 6th National Radar Seminar and The First International Conference On Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunication (ICRAMET) 2012. Denpasar. 2012: 22-26.
- [6]. Tiwari RK, Shukla AK. Design of a 100MHz Highly Linear Source-Coupled CMOS Voltage Controlled Oscillator. *International Journal of Electronics Engineering*. 2012; 4 (1): 113-115.
- [7]. Kia HB, A'ain AK. (2014). A Wide Tuning Range VCO with a High Tunable Active Inductor. *Wireless Personal Communications: An International Journal*. 2014; Volume 79 Issue 1: 31-41.
- [8]. Kourani A, Song YH, Arakawa B, Lu R, Guan J, Gao A, Gong S. *A 150 MHz VCO Using Lithium Niobate RF-MEMS Resonator*. 2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS). Honolulu. 2017.
- [9]. IQD frequency products. *Crystal Clock Specification Part No. + Packaging: LFSPX0059450Reel*. 3 Oct. 2016.
- [10]. Rustamaji. *Elektronika Komunikasi*. Edisi pertama. Bandung: Penerbit Itenas. 2017: 102-118.
- [11]. Motorola, Inc. *Voltage Controlled Oscillator: MC1648*. 1997.
- [12]. Semiconductor Component Industries, LLC. *Silicon Tuning Diode: MV2105*. 2006.
- [13]. Emergency Beacon Corporation. *EBC-502HM Instruction and Maintenance Manual*. 15 River Street, New Rochelle, NY 10801. 2016.
- [14]. NRSC. NRSC-G101. *AM Modulation-Dependent Carrier Level (MDCL) Usage Guideline*. April 2013.
- [15]. International Telecommunication Union. *Radio Regulations Articles*. Edition of 2016.