

Pembangkit Sinyal ELT pada Frekuensi 121,5 MHz

Rustamaji¹, Kania Sawitri², dan Ray Hapri Sitepu³

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

rustamajisaja@gmail.com¹, kania@itenas.ac.id², rayhsitepu@gmail.com³

Abstract— An ELT is a beacon indicating the location of distress or crash of aircraft on land or sea. The ELT is placed in an airplane, which is a transmitter with low transmit power and an antenna. The ELT transmitter has been widely used for flights at the frequency of 121.5 MHz (civilian) and 243 MHz (military). The purpose of this study is to produce ELT signal generators at the 121.5 MHz frequency, with low-cost devices that meet specifications for civil aviation. In this research has been produced a design of an ELT signal generator at the frequency of 121.5 MHz, consist of a crystal oscillator, a sawtooth generator, a VCO, and an amplitude modulator. Based on the measurement and test results, the sawtooth generator generated a sawtooth signal at the frequency of 1.8 to 3.6 Hz, the VCO generated a sinusoidal signal at the frequency of 316 to 366 Hz, the RF generator generated a sinusoidal at the frequency of 121.505 MHz. The ELT signal generator was able to generate AM signals at the minimum amplitude deviation of 100 mV_{pp} to maximum one of 156 mV_{pp}, the modulation index (m) of 21.875%, and the frequency of 121.505 MHz. The results of this study are ELT signal generators at the frequencies of 121.5 MHz that are in accordance with specifications for civil aviation.

Keywords— sawtooth generator, VCO, crystal oscillator, amplitude modulator, ELT

Abstrak— ELT adalah perangkat suar atau *beacon* pemberi tanda lokasi terjadinya *distress* atau *crash* pesawat terbang di daratan atau lautan. ELT ditempatkan di pesawat terbang, berupa *transmitter* dengan daya pancar rendah dan dilengkapi sebuah antena. Pemancar ELT telah digunakan secara luas untuk penerbangan pada frekuensi 121,5 MHz (sipil) dan 243 MHz (militer). Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, dengan divais berbiaya murah yang sesuai spesifikasi untuk penerbangan sipil. Pada penelitian ini telah dihasilkan desain pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, terdiri dari osilator kristal, *sawtooth generator*, VCO, dan *amplitude modulator*. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian yang telah dilakukan, rangkaian *sawtooth generator* menghasilkan sinyal *sawtooth* pada frekuensi 1,8 s.d 3,6 Hz, VCO menghasilkan sinyal sinusoida pada frekuensi 316 s.d 366 Hz, RF generator menghasilkan sinyal sinusoida pada frekuensi 121,505 MHz. Pembangkit sinyal ELT mampu bekerja menghasilkan sinyal AM pada simpangan amplitudo minimum 100 mV_{pp} s.d maksimum 156 mV_{pp}, indeks modulasi (m) 21,875%, dan frekuensi 121,505 MHz. Hasil penelitian ini adalah pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz yang sesuai spesifikasi untuk penerbangan sipil.

Kata kunci— *sawtooth generator*, VCO, osilator kristal, *amplitude modulator*, ELT

I. PENDAHULUAN

Emergency locator beacon aircraft (ELBA) adalah suatu perangkat suar (*beacon*) pemberi tanda lokasi terjadinya *distress* atau *crash* pesawat terbang di daratan atau lautan. Penamaan ELBA ini diberikan oleh International Civil Aviation Organization (ICAO), disebut juga dengan nama *emergency locator transmitter* (ELT) [1], [2].

ELT ditempatkan di pesawat terbang, berupa *transmitter* dengan daya pancar rendah dan dilengkapi antena [3]. Apabila terjadi kecelakaan pada pesawat terbang dan ELT mengalami hampasan atau benturan yang cukup keras, maka secara otomatis akan memancarkan sinyal pada frekuensi tertentu secara terus-menerus sebagai *beacon* untuk memberitahukan lokasi atau posisi diri. Pemancar ELT telah digunakan secara luas untuk penerbangan pada frekuensi 121,5 MHz (sipil) dan 243 MHz (militer) [4].

Perangkat ELT yang telah ada didesain dari divais dengan spesifikasi tertentu (*military spec*) dan tidak bisa didapat secara

bebas. Karena kerumitan dan kerahasiaan teknologinya, hanya dapat diproduksi oleh pabrikan tertentu secara terbatas [5], dengan biaya yang tidak murah. Penelitian mengenai perangkat ELT di dalam negeri masih sangat terbatas.

Beberapa penelitian yang membahas ELT *receiver* dengan desain yang kompleks dan menggunakan divais yang mahal, antara lain: *enhanced emergency locator transmitter* (E2LT) untuk *general aviation craft* yang dilengkapi dengan *crash sensor* dan *global positioning system* [6], ELT dan *enhanced ground proximity warning system* (EGPWS) *receiver* dengan VLSI design [7], studi kelayakan *emergency locator signal detection* dan *geolocation small satellite constellation* [8], proposal tiga model yang berbeda untuk ELT signal [9], dan desain *web based module* untuk SAR pada ELT *receiver* dengan sistem CORPAS-SARSAT [10].

Sedangkan penelitian yang lebih banyak membahas desain dan analisis ELT yang bekerja pada frekuensi 406 MHz, diantaranya: desain dan realisasi *decoder mobile* untuk *distress beacon* generasi kedua yang beroperasi pada frekuensi 406

MHz [11], pengembangan dan analisis kinerja dari ELT 406 MHz generasi kedua [12], serta pengembangan *emergency radio beacon* 406 MHz didesain khusus untuk menemukan lokasi *small unmanned aerial vehicle* (UAV) [13].

Oleh karena kerumitan dan kerahasiaan teknologi perangkat ELT dan pentingnya kegunaan perangkat ELT pada pesawat terbang, serta tidak mudah untuk mengakses atau mendapatkan divais perangkat ELT dengan spesifikasi militer seperti pada referensi 4 dan 5. Juga untuk mendukung kemandirian serta penguasaan teknologi perangkat ELT. Maka, pada penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi pembangkit sinyal ELT yang mampu bekerja pada frekuensi 121,5 MHz, terdiri dari osilator kristal, *sawtooth generator*, *voltage controlled oscillator* (VCO), dan *amplitude modulator*.

Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz yang sesuai spesifikasi penerbangan sipil, dengan menggunakan *integrated circuit* (IC) dan divais yang tersedia bebas di pasaran serta berbiaya murah. Lebih lanjut hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pengembangan pemancar dan penerima sinyal ELT, serta dapat juga diimplementasikan pada sistem pencari (*locator*) pesawat terbang.

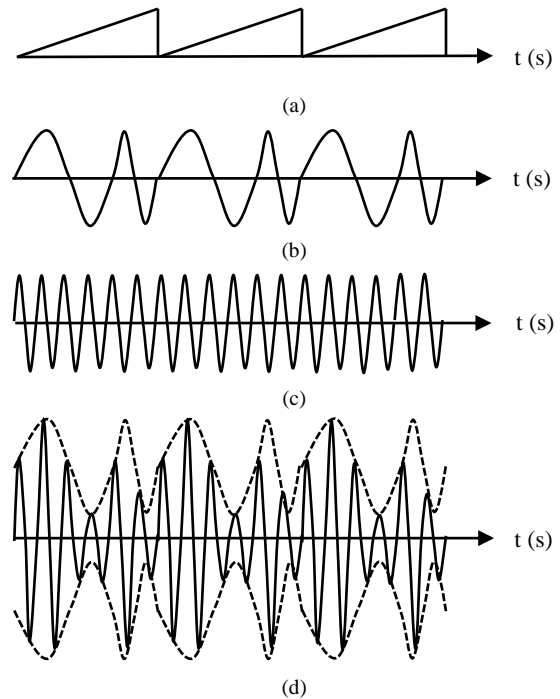
II. METODOLOGI

Spesifikasi sinyal ELT untuk penerbangan sipil ditunjukkan pada Gambar 1. ELT untuk penerbangan sipil bekerja pada frekuensi 121,5 MHz, dengan spesifikasi sinyal [3]: sinyal sinusoida pada frekuensi $121,5 \text{ MHz} \pm 6 \text{ kHz}$ (Gambar 1d) termulasi amplitudo atau *amplitude modulation* (AM) oleh sinyal audio sinusoida (Gambar 1c) pada *range* tidak kurang dari 700 Hz di dalam *band* 300 s.d 1600 Hz (Gambar 1b), pada laju pengulangan *sweep* antara 2 s.d 4 Hz (Gambar 1a), daya keluaran yang diradiasikan $> 50 \text{ mW}$.

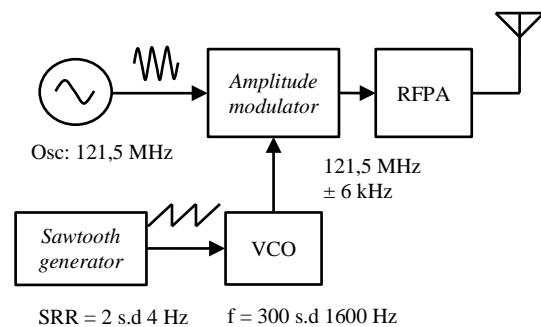
Metodologi yang digunakan adalah perancangan, realisasi, serta pengukuran dan pengujian pembangkit sinyal ELT. Untuk menghasilkan "Pembangkit sinyal ELT yang mampu bekerja pada frekuensi 121,5 MHz" menggunakan IC dan divais analog, meliputi osilator kristal, *sawtooth generator*, VCO, dan *amplitude modulator*. Diagram blok ELT ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram blok ELT terdiri dari osilator kristal, *sawtooth generator*, VCO, *amplitude modulator*, dan RFPA.

Spesifikasi pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz yang direncanakan:

1. Osilator kristal dengan sinyal keluaran sinusoida pada frekuensi $121,5 \text{ MHz} \pm 6 \text{ kHz}$.
2. *Sawtooth generator* dengan sinyal keluaran *sawtooth* pada rentang frekuensi 2 s.d 4 Hz atau perioda 0,25 s.d 0,5 s.
3. VCO dengan sinyal keluaran sinusoida pada rentang frekuensi 300 s.d 1600 Hz.
4. Keluaran pembangkit sinyal ELT berupa sinyal AM, dengan sinyal *carrier* berupa sinusoida pada frekuensi $121,5 \text{ MHz} \pm 6 \text{ kHz}$ dan sinyal informasi sebagai pemodulasi berupa sinusoida dengan rentang frekuensi 300 s.d 1600 Hz.



Gambar 1. Spesifikasi sinyal ELT untuk penerbangan sipil
(a) Sinyal *sweep* bentuk *sawtooth* dengan frekuensi 2 s.d 4 Hz atau perioda 0,25 s.d 0,5 s, (b) Sinyal audio sinusoida dengan frekuensi pada *range* 300 s.d 1600 Hz, (c) Sinyal *carrier* sinusoida dengan frekuensi $121,5 \text{ MHz} \pm 6 \text{ kHz}$, dan (d) Sinyal ELT pada *carrier* $121,5 \text{ MHz} \pm 6 \text{ kHz}$ termulasi amplitudo oleh sinyal audio dengan frekuensi 300 s.d 1600 Hz



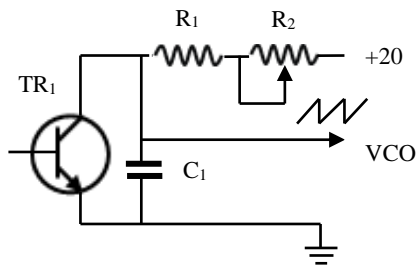
Gambar 2. Diagram blok ELT

A. Osilator Kristal

Osilator kristal yang sesuai untuk aplikasi ELT menggunakan IC tipe CFPS-73 keluaran IQD *frequency product* [14], dengan spesifikasi: sinyal keluaran berupa sinusoida, frekuensi 121,5 MHz, kestabilan frekuensi $\pm 50,00 \text{ ppm}$ atau rentang frekuensi $121,5 \text{ MHz} \pm 6 \text{ kHz}$, dan tegangan suplai $3,3 \text{ V} \pm 10\%$.

B. Sawtooth Generator

Sawtooth generator direalisasikan menggunakan transistor 2N2219, dan divais eksternal kapasitor C dan resistor R , untuk menghasilkan keluaran berupa gelombang *sawtooth* pada frekuensi 2 s.d 4 Hz, sesuai spesifikasi yang diharapkan. Sinyal keluaran *sawtooth generator* digunakan untuk menggerakkan VCO. Realisasi *sawtooth generator* ditunjukkan pada Gambar 3 [15].



Gambar 3. Sawtooth generator

Dari Gambar 3, sebagai osilator, *sawtooth generator* memanfaatkan fungsi dioda kolektor-emiter dari transistor TR₁, serta divais eksternal kapasitor dan resistor untuk membangkitkan sinyal. Besarnya frekuensi sinyal keluaran *sawtooth generator*, ditentukan oleh kapasitor eksternal C₁ dan resistansi dalam transistor R_m:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{R_{in}C_1} \quad (1)$$

Keterangan:

f = frekuensi keluaran (Hz)

T = konstanta waktu (s)

R_m = resistansi dalam transistor (Ω)

C₁ = kapasitansi dari kapasitor eksternal (F)

Untuk membangkitkan frekuensi keluaran 2 s.d 4 Hz, dan dengan resistansi dalam (R_m) dari transistor 2N2219 yang besarnya 250 s.d 500 Ω, maka dipilih kapasitor C₁ = 1000 μF. Dengan mempertimbangkan tegangan bias pada transistor, pada kolektor dipasang resistor bias R_c, berupa resistor tetap R₁ = 5,6 kΩ seri dengan resistor variabel R₂ = 4,7 kΩ, sehingga tegangan V_{CE} transistor TR₁:

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_c \times R_c) \quad (2)$$

Keterangan:

V_{CE} = tegangan kolektor – emiter transistor (V)

V_{CC} = tegangan suplai (V)

I_c = arus kolektor (A)

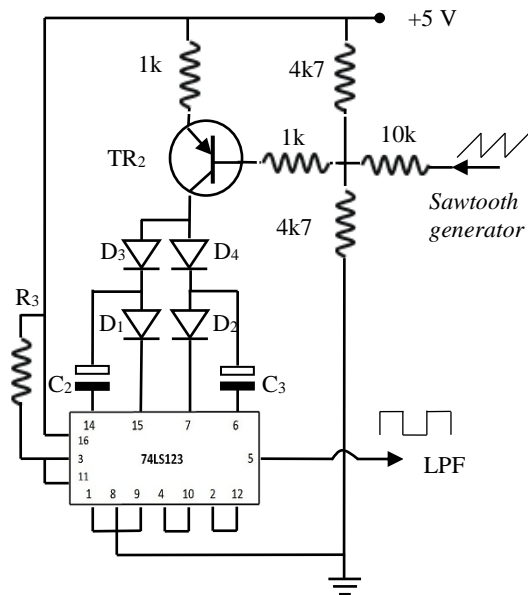
R_c = R₁ + R₂ = resistor kolektor (Ω)

Sehingga:

$$V_{CE} = 20 - [1,75 \times 10^{-3} \times (4700 + 5600)] = 1,97 \text{ V}$$

C. Voltage Controlled Oscillator (VCO)

VCO direalisasikan menggunakan divais berupa IC 74LS123 dan komponen *timing RC*, karena mampu menghasilkan keluaran berupa gelombang persegi (pulsa) pada frekuensi 300 s.d 1600 Hz, sesuai spesifikasi yang diharapkan. Sinyal keluaran VCO digunakan sebagai sinyal informasi yang akan dimodulasikan pada sinyal *carrier* di *amplitude modulator*. Realisasi VCO menggunakan IC 74LS123 ditunjukkan pada Gambar 4 [15]. VCO terdiri dari divais utama IC 74LS123, transistor TR₂ adalah BC158, dan dioda D₁ = D₂ = D₃ = D₄ adalah 1N914.



Gambar 4. VCO menggunakan IC 74LS123

Besarnya lebar pulsa sinyal keluaran VCO ditentukan oleh persamaan:

$$t_w = 0,33 \times R_T \times C_{ext} \quad (3)$$

Keterangan:

t_w = lebar pulsa (ns)

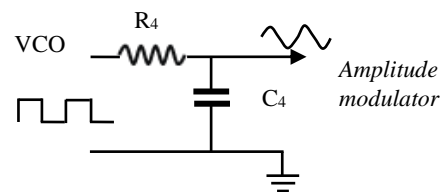
R_T = R₃ = *resistance timing* (kΩ) = 1 kΩ

C_{ext} = C₂//C₃ = *capacitance external* (pF) = 2 pF

Untuk menghasilkan frekuensi keluaran sebesar 300 s.d 1600 Hz atau lebar pulsa 0,625 s.d 1,66 ms (dengan *duty cycle* 50%), pada realisasinya digunakan resistor R₃ = 1 kΩ dan kapasitor C₂ = C₃ = 1 pF, sehingga diperoleh:

$$t_w = 0,33 \times 1 \times 2000000 = 0,660 \text{ ms}$$

Untuk menghasilkan sinyal keluaran berbentuk sinusoida, pada keluaran VCO ditambahkan *low pass filter* (LPF) orde 1 [16]. Realisasi LPF orde 1 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. LPF orde 1

Dari Gambar 5, fungsi transfer LPF orde 1 (V_o/V_i), adalah:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega R_4 C_4} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}} \quad (4)$$

Keterangan:

V_o = tegangan keluaran LPF (V)

V_i = tegangan masukan LPF (V)

ω = frekuensi sudut sinyal masukan (radian/s)

ω_c = frekuensi sudut *cut-off* (radian/s)

R₄ = resistor filter (Ω)

C₄ = kapasitor filter (F)

Sehingga frekuensi sudut *cut-off* (ω_c) dan frekuensi *cut-off* (f_c):

$$\omega_c = \frac{1}{R_4 C_4} \quad (5)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_4 C_4} \quad (6)$$

Keterangan:

ω_c = frekuensi sudut *cut-off* (radian/s)

f_c = frekuensi *cut-off* (Hz)

R_4 = resistor filter (Ω)

C_4 = kapasitor filter (F)

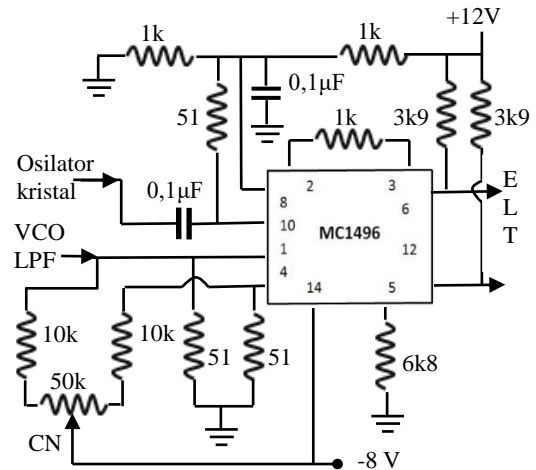
Karena frekuensi tertinggi pulsa keluaran VCO yang akan difilter adalah 1600 Hz, maka f_c dari LPF diatur sebesar 1600 Hz. Bila dipilih kapasitor $C_4 = 0,5 \mu\text{F}$, maka diperoleh resistor R_4 :

$$R_4 = \frac{1}{2\pi \times 1600 \times 0,5 \times 10^{-6}} = 198,943 \Omega$$

direalisasikan dengan resistor $R_4 = 1000 \Omega$.

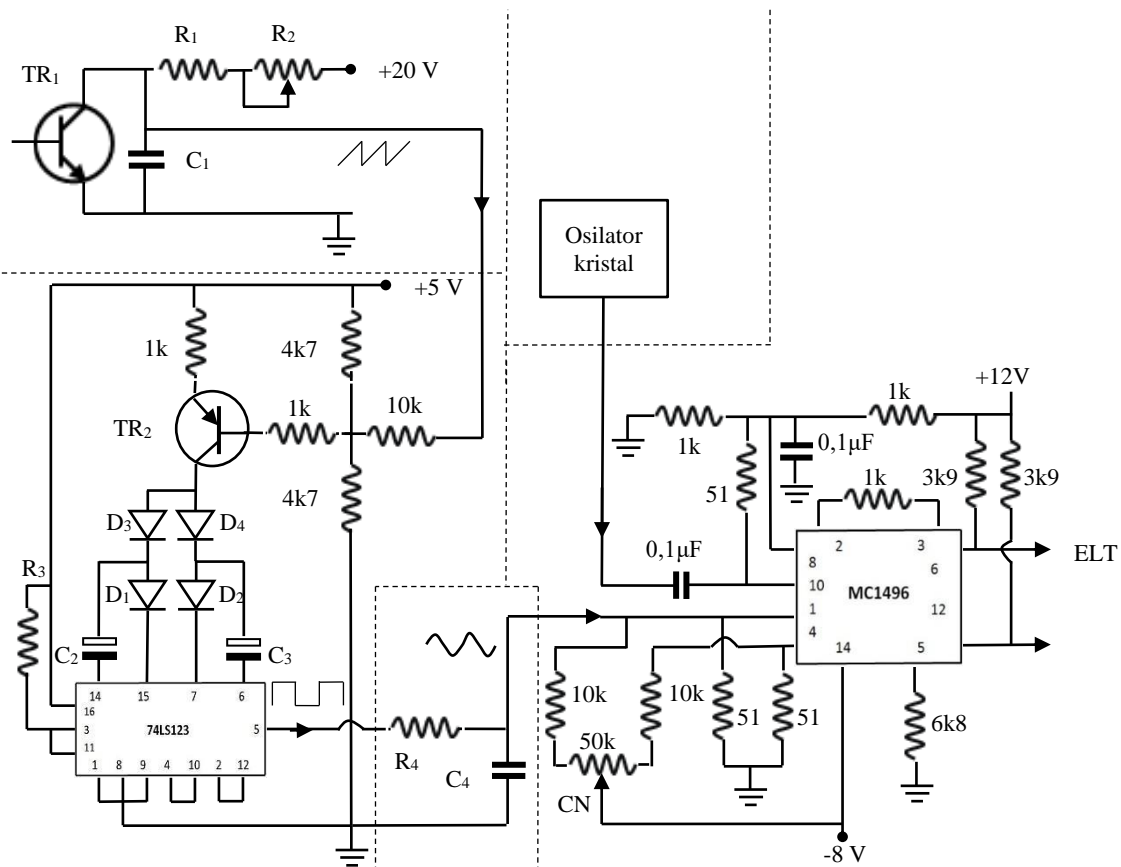
D. Amplitude Modulator

Amplitude modulator direalisasikan menggunakan IC MC1496 dan sejumlah resistor eksternal. Dari *datasheet* MC1496, diketahui frekuensi *carrier* f_c maksimum yang dapat digunakan sebesar 200 MHz. *Amplitude modulator* menggunakan IC MC1496 ditunjukkan pada Gambar 6 [17].



Gambar 6. *Amplitude modulator* menggunakan IC MC1496

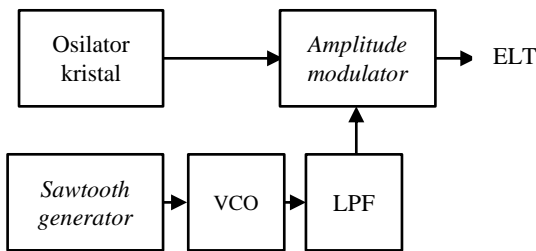
Dari Gambar 6, *amplitude modulator* menggunakan divais utama berupa IC MC1496, dimana bentuk sinyal keluaran *amplitude modulator* berupa gelombang AM dan indeks modulasi (m) diatur melalui *carrier null* (CN) pada resistor variabel 50 k Ω .



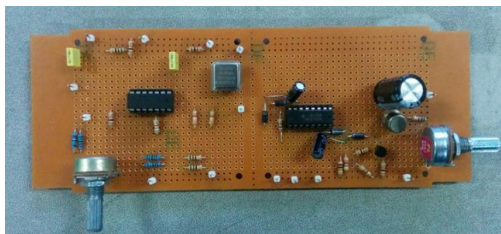
Gambar 7. Rangkaian pembangkit sinyal ELT

E. Rangkaian ELT

Rangkaian pembangkit sinyal ELT secara keseluruhan dihasilkan dari gabungan osilator kristal, *sawtooth generator*, VCO, LPF, dan *amplitude modulator*. Rangkaian dan diagram blok dari pembangkit sinyal ELT ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Sedangkan tata letak rangkaian ditunjukkan pada Gambar 9. Tata letak rangkaian pembangkit sinyal ELT dengan divais terpasang pada satu lembar *printed circuit board* (PCB).



Gambar 8. Diagram blok pembangkit sinyal ELT



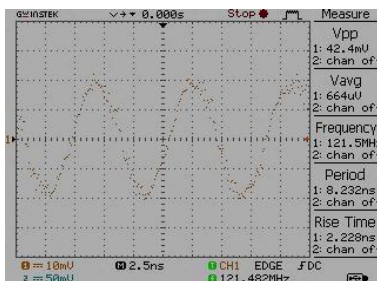
Gambar 9. Tata letak rangkaian pembangkit sinyal ELT

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil desain pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, dilakukan pengukuran tiap bagian.

A. Osilator Kristal

Karena IC osilator kristal dengan frekuensi sinyal keluaran 121,5 MHz (*military spec*) tidak tersedia di Indonesia dan kesulitan mendapatkannya di pasar bebas, maka pada pelaksanaannya, osilator kristal diganti dengan RF generator sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi 121,5 MHz. Gelombang sinyal keluaran yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 10.



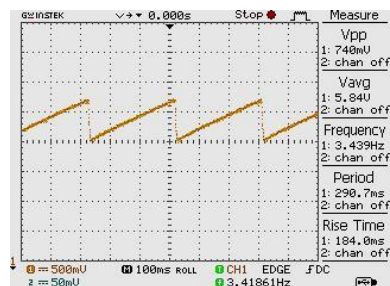
Gambar 10. Gelombang sinyal keluaran RF generator 121,5 MHz

Dari Gambar 10, terlihat sinyal keluaran RF generator, berupa gelombang sinusoida dengan tegangan = 42,4 mV_{pp} dan

frekuensi = 121,5 MHz dengan kestabilan frekuensi ± 50,00 ppm. Hasil ini telah sesuai dengan spesifikasi, yaitu frekuensi sinyal keluaran RF generator berada pada rentang 121,5 MHz ± 6 kHz atau 121,494 s.d 121,506 MHz. Tegangan sinyal sebesar 42,4 mV_{pp} atau sekitar 14,99 mV_{rms} ini cukup sebagai sinyal *carrier* pada *amplitude modulator*, sesuai dengan *datasheet* MC 1496 yang membutuhkan tegangan sinusoida pada masukan *carrier* maksimal 60 mV_{rms}.

B. Sawtooth Generator

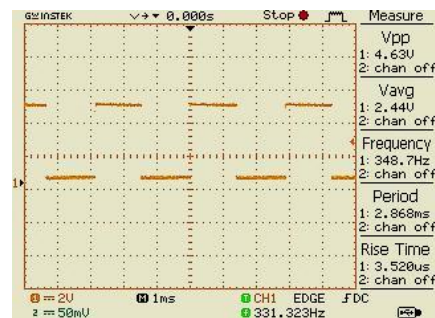
Gelombang sinyal keluaran *sawtooth generator* ditunjukkan pada Gambar 11. Keluaran *sawtooth generator* berupa gelombang *sawtooth* pada tegangan = 740 mV_{pp} dan frekuensi = 3,439 Hz dengan *sweep* antara 1,8 s.d 3,6 Hz. Hasil ini telah sesuai dengan spesifikasi, yaitu frekuensi sinyal keluaran *sawtooth generator* masuk dalam rentang frekuensi antara 2 s.d 4 Hz.



Gambar 11. Gelombang sinyal keluaran *sawtooth generator*

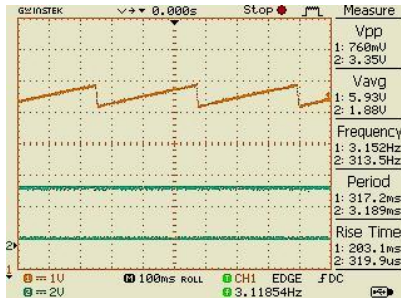
C. Voltage Controlled Oscillator (VCO)

Gelombang sinyal keluaran VCO tanpa diberi sinyal masukan dari *sawtooth generator* ditunjukkan pada Gambar 12. Sinyal keluaran VCO berupa gelombang persegi (pulsa) dengan tegangan = 4,63 V_{pp} dan frekuensi = 348,7 Hz.



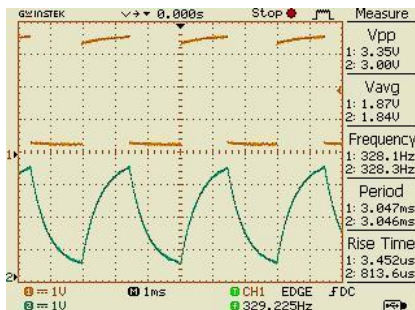
Gambar 12. Gelombang sinyal keluaran VCO tanpa sinyal masukan

Sedangkan gelombang sinyal keluaran VCO saat diberi sinyal masukan dari *sawtooth generator* ditunjukkan pada Gambar 13. Dari Gambar 13 (bawah), terlihat sinyal keluaran VCO berupa gelombang persegi (pulsa) dengan tegangan = 3,35 V_{pp} dan frekuensi berubah-ubah sekitar 313,5 Hz. Hasil ini telah sesuai dengan spesifikasi, yaitu frekuensi sinyal keluaran VCO masuk dalam rentang frekuensi antara 300 s.d 1600 Hz.



Gambar 13. Gelombang sinyal keluaran *sawtooth generator* (atas) dan sinyal keluaran VCO (bawah)

Gelombang sinyal keluaran VCO masih berbentuk pulsa, hasil ini belum sesuai untuk digunakan sebagai sinyal informasi pada *amplitude modulator*, yang membutuhkan bentuk sinusoida. Karena itu, untuk menghasilkan bentuk sinusoida, setelah VCO, ditambahkan LPF. Gelombang sinyal keluaran VCO setelah ditambah LPF ditunjukkan pada Gambar 14.



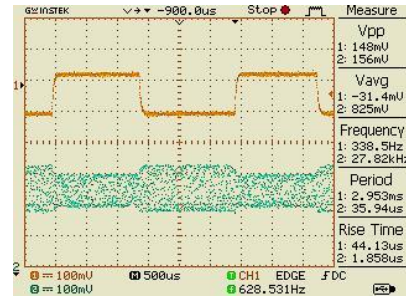
Gambar 14. Gelombang sinyal keluaran VCO (atas) dan keluaran LPF (bawah)

Dari Gambar 14, sinyal keluaran LPF mendekati bentuk gelombang sinusoida dengan tegangan = 3,00 V_{pp} dan frekuensi dengan rentang 316 s.d 366 Hz. Terjadi penurunan tegangan keluaran VCO dari 3,35 V_{pp} menjadi 3,00 V_{pp} setelah ditambah LPF, ini dikarenakan adanya redaman tegangan pada LPF dan ada ketidaksesuaian impedansi antara keluaran VCO dan impedansi masukan LPF.

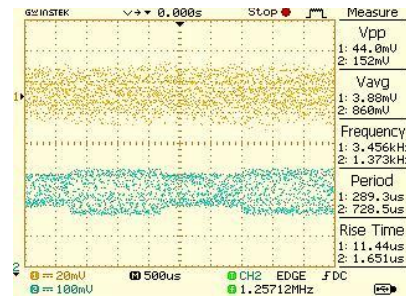
D. Pembangkit Sinyal ELT

Rangkaian pembangkit sinyal ELT berupa gabungan dari osilator kristal (diganti RF generator), *sawtooth generator*, VCO, LPF, dan *amplitude modulator*. Gelombang sinyal keluaran pembangkit sinyal ELT dengan frekuensi sinyal *carrier* dari keluaran RF generator = 121,5 MHz dan sinyal informasi dari VCO ditunjukkan pada Gambar 15.

Dari Gambar 15, sinyal keluaran pembangkit sinyal ELT berbentuk gelombang AM, hasil pemodulasian sinyal informasi (keluaran VCO) pada sinyal *carrier* (keluaran RF generator 121,5 MHz). Gelombang sinyal AM mempunyai simpangan amplitudo minimum 100 mV_{pp} s.d maksimum 156 mV_{pp}, dan frekuensi sebesar 121,505 MHz dengan kestabilan frekuensi ± 50,00 ppm.



(a)



(b)

Gambar 15. Gelombang sinyal keluaran pembangkit sinyal ELT dengan sinyal *carrier* dari RF generator 121,5 MHz
 (a) Gelombang sinyal informasi (atas) dan keluaran pembangkit sinyal ELT (bawah), dan (b) Gelombang sinyal *carrier* dari RF generator 121,5 MHz (atas) dan keluaran pembangkit sinyal ELT (bawah)

Indeks modulasi (*m*) sinyal AM dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$m = \frac{A_a}{A_c} = \frac{A_{max(p-p)} - A_{min(p-p)}}{A_{max(p-p)} + A_{min(p-p)}} \quad (7)$$

keterangan:

- m* = indeks modulasi
- A_a* = amplitudo sinyal informasi (V)
- A_c* = amplitudo sinyal *carrier* (V)
- A_{max}* = simpangan amplitudo maksimum sinyal AM (V)
- A_{min}* = simpangan amplitudo minimum sinyal AM (V)

sehingga:

$$m = \frac{156 - 100}{156 + 100} = \frac{56}{256} = 0,21875$$

atau

$$m (\%) = 21,875\%$$

Hasil ini telah sesuai referensi, dimana untuk menghasilkan modulasi amplitudo yang linier, maka nilai indeks modulasi minimal = 10% [18]. Juga telah sesuai dengan persyaratan untuk hasil modulasi amplitudo yang benar, dimana supaya tidak terjadi distorsi pada sinyal keluaran, maka nilai indeks modulasi adalah sebesar $0 < m (\%) \leq 100$ [19].

Frekuensi keluaran pembangkit sinyal ELT ditunjukkan pada Gambar 16. Sinyal keluaran pembangkit sinyal ELT mempunyai frekuensi = 121,505 MHz dengan kestabilan frekuensi ± 50,00 ppm. Hasil ini telah sesuai dengan spesifikasi, yaitu frekuensi sinyal keluaran ELT masuk dalam rentang frekuensi 121,5 MHz ± 6 kHz atau 121,494 s.d 121,506 MHz.



Gambar 16. Frekuensi keluaran ELT menggunakan *frequency counter*

E. Pembahasan

Secara keseluruhan, pembangkit sinyal ELT sudah berfungsi untuk membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz sesuai dengan yang direncanakan, dan hasilnya sesuai spesifikasi penerbangan sipil.

Dibandingkan dengan perangkat ELT produksi pabrikan [5], maka spesifikasi pembangkit sinyal ELT dari hasil penelitian ini, dapat dikatakan setara, yaitu: sinyal keluaran *sawtooth generator* berupa gelombang *sawtooth* dengan frekuensi = 3,439 Hz masuk pada rentang frekuensi 2 s.d 4 Hz, sinyal keluaran VCO berupa gelombang sinusoida dengan frekuensi = 316 s.d 366 Hz masuk pada rentang frekuensi 300 s.d 1600 Hz, sinyal keluaran pembangkit ELT berupa gelombang AM pada frekuensi *carrier* = 121,505 MHz dengan kestabilan frekuensi $\pm 50,00$ ppm masuk pada rentang frekuensi 121,5 MHz ± 6 kHz atau 121,494 s.d 121,506 MHz, indeks modulasi $m (\%) = 21,875\%$ masuk pada rentang $0 < m (\%) \leq 100$.

Dibandingkan penelitian lain tentang ELT yang menggunakan divais dan metode yang rumit, serta masih berupa konsep pengembangan, yaitu: sistem *receiver* [6], desain *receiver* [7], studi kelayakan *emergency locator signal detection* [8], proposal model untuk ELT *signals* [9], dan desain *web based module* untuk SAR pada *receiver* ELT [10], penelitian ini telah berhasil merealisasikan pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz sesuai spesifikasi penerbangan sipil, dengan metode yang sederhana dan divais elektronik yang tersedia di pasar dalam negeri.

Dibandingkan penelitian tentang desain dan realisasi *decoder mobile* untuk *distress beacon* yang beroperasi pada frekuensi 406 MHz [11] dan pengembangan serta analisis kinerja dari ELT 406 MHz generasi kedua [12], penelitian ini telah berhasil merealisasikan pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, sesuai spesifikasi penerbangan sipil. Hasil penelitian ini selanjutnya dapat diimplementasikan pada perangkat pemancar ELT di penerbangan sipil.

IV. PENUTUP

Penelitian ini berhasil merealisasikan pembangkit sinyal ELT yang dapat membangkitkan sinyal pada frekuensi 121,5 MHz sesuai spesifikasi untuk penerbangan sipil, dengan menggunakan divais yang tersedia di pasar bebas. Terdapat masalah yang belum dapat diselesaikan, yaitu kesulitan realisasi IC osilator kristal 121,5 MHz sesuai spesifikasi. Penelitian selanjutnya akan merancang dan merealisasikan osilator 121,5 MHz secara mandiri.

REFERENSI

- [1] *Radio Stations and Systems – Article 1.93. definition: emergency position-indicating radio beacon station*, ITU Radio Regulations, Section IV, 2012.
- [2] *Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation - including Statement of Approved ICAO Policies*, ICAO Fifth Edition, 2009.
- [3] *14 CFR Part 91 Emergency Locator Transmitters. Final Rule 2000*, Department of Transportation Federal Aviation Administration.
- [4] R. J. Wallace and T. P. Hubbard, "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*, vol. 1, no. 2, p. 2, 2014.
- [5] "EBC-502HM Instruction and Maintenance Manual," Emergency Beacon Corporation, 15 River Street, New Rochelle, NY 10801, 2016.
- [6] H. C. Gabler and C. J. Molnar, *Development of an Enhanced Emergency Locator Transmitter for General Aviation*, Final Report, Rowan University Department of Mechanical Engineering Glassboro, NJ 08028, September 2006.
- [7] K. Babulu and R. S. Vinay, "VLSI Design Approach for Emergency Locator Transmitter (ELT) signal of 406 MHz with Enhanced Ground Proximity Warning System Receiver," *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 2, no. 5, pp. 1958-1961, 2011.
- [8] A. Gunderson, C. Byers, and D. Klumpar, "Emergency Locator Signal Detection and Geolocation Small Satellit Constellation Feasibility study," in *25th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, pp. 1-11, Agt. 2011.
- [9] C. R. Carter, E. Casas, and T. Chung, "Emergency Locator Transmitter (ELT) signal models for SARSAT," *Canadian Electrical Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 43-49, 1986.
- [10] B. A. Kalaria, C. G. Nayak, and N. K. Shrivastava, "Designing a Web Based Module for SAR to Ensure Data Security Using JAVA," *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 297-306, 2014.
- [11] B. A. Srihen, J. P. Yonnet, and M. Benslama, "Closed Approach of a Decoder Mobile for the 406 MHz Distress Beacon," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 243-246, 2018.
- [12] I. Joo, J. H. Lee, Y. M. Lee, C. S. Sin, S. U. Lee, and J. Kim, "Development and Performance Analysis of The Second Generation 406 MHz EPIRB," in *International Conference (IEEE) 4th Advanced Satellite Mobile Systems*, pp. 333-336, 26-28 Aug. 2008, Bologna, Italy.
- [13] J. M. M. Heredia, Z. Garcia, and J. L. M. Jimenez, "Development of an Emergency Radio Beacon for Small Unmanned Aerial Vehicles," *IEEE Access*, vol. 6, pp.21570-21581, 2018.
- [14] "Crystal Clock Specification Part No. + Packaging: LFSPX0059450Reel," IQD frequency products, 3 Oct. 2016.
- [15] *300 Circuits*, pp. 54 and 200, Netherlands: Elektor Publisher. Ltd, 1979.
- [16] S. Soi, "Design and Characterization of a 3rd Order Low-Pass Butterworth Filter," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 3, no. 7, pp. 1-3, July 2014.
- [17] W. Yelan, "Design of an AM Modulator using MC 1496," *Journal of Beijing Institute of Light Industry*, vol. 23, no. 2, pp. 46-48, 2005.
- [18] *NRSC-G101 AM Modulation-Dependent Carrier Level (MDCL) Usage Guideline*. NRSC, April 2013.
- [19] *Radio Regulations Articles*, ITU Edition of 2012.