

Penerima Sinyal *Emergency Locator Transmitter* dengan Metode *Direct Receiver* pada Frekuensi 121,5 MHz

Rustamaji¹, Kania Sawitri², dan Arief Shubhan Hakim³

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

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

Abstract— To find out the location of an aircraft accident from an ELT signal beam of 121.5 MHz, search and rescue (SAR) officers or civil aviation authorities need an ELT signal receiver device that works at the same frequency, which is 121.5 MHz. The purpose of this research is to produce an ELT signal receiver with direct receiver method at a frequency of 121.5 MHz which is simpler, requires fewer RF devices, and is according to specifications for civil aviation. In this research, the design and realization of ELT signal receivers are carried out using the direct receiver method, including: a BPF and a RF amplifier as a direct receiver circuit, an AM demodulator, and an audio amplifier. Based on the results of measurements and tests that have been done, the direct receiver circuit can receive an ELT signal at a frequency of 121.5 MHz in the range of 121.330 to 121.617 MHz with -40.35 dB sensitivity, the AM demodulator can demodulate the audio signal at a frequency of 346.6 Hz, and the audio signal at a frequency of 337.6 Hz as a pointer to an ELT signal can be heard through the loudspeaker. The results of this study are ELT signal receivers with direct receiver method at a frequency of 121.5 MHz which are according to specifications for civil aviation.

Keywords— ELT signal, 121.5 MHz frequency, direct receiver, audio signal, ELT signal receiver

Abstrak— Untuk mengetahui lokasi terjadinya kecelakaan pesawat terbang dari adanya pancaran sinyal *emergency locator transmitter* (ELT) sebesar 121,5 MHz, petugas *search and rescue* (SAR) atau otoritas penerbangan sipil memerlukan perangkat penerima sinyal ELT yang bekerja pada frekuensi sama, yaitu sebesar 121,5 MHz. Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* pada frekuensi 121,5 MHz yang lebih sederhana, dan membutuhkan lebih sedikit divais RF, serta sesuai spesifikasi untuk penerbangan sipil. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver*, meliputi: *band pass filter* (BPF) dan penguat *radio frequency* (RF) sebagai rangkaian *direct receiver*, demodulator *amplitude modulation* (AM), dan penguat audio. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian yang telah dilakukan, rangkaian *direct receiver* dapat menerima sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz dalam rentang 121,330 s.d 121,617 MHz dengan sensitifitas -40,35 dB, demodulator AM dapat mendemodulasi sinyal audio pada frekuensi 346,6 Hz, dan sinyal audio pada frekuensi 337,6 Hz sebagai penunjuk adanya sinyal ELT dapat didengar melalui *loudspeaker*. Hasil penelitian ini adalah penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* pada frekuensi 121,5 MHz yang sesuai spesifikasi untuk penerbangan sipil.

Kata kunci— Sinyal ELT, frekuensi 121,5 MHz, *direct receiver*, sinyal audio, penerima sinyal ELT

I. PENDAHULUAN

Kecelakaan pesawat terbang dalam fase penerbangan, karena faktor cuaca ataupun kondisi pesawat terbang bisa terjadi dimanapun baik di atas daratan maupun lautan. Salah satu cara untuk menunjukkan posisi pesawat terbang yang mengalami *crashed*, yaitu dengan menempatkan *emergency locator transmitter* (ELT) di badan pesawat terbang. ELT berupa *transmitter* dengan daya pancar rendah dan dilengkapi antena, telah digunakan secara luas untuk penerbangan pada frekuensi 121,5 MHz (sipil) dan 243 MHz (militar) [1]. Apabila terjadi kecelakaan pada pesawat terbang dan ELT mengalami hempasan atau benturan yang cukup keras, maka

secara otomatis akan memancarkan sinyal pada frekuensi tertentu sebesar 121,5 atau 243 MHz secara terus-menerus sebagai *beacon* untuk memberitahukan lokasi atau posisi diri [2].

Untuk mengetahui lokasi kecelakaan pesawat terbang dari adanya pancaran sinyal ELT, petugas *search and rescue* (SAR) atau otoritas penerbangan memerlukan perangkat penerima sinyal ELT yang bekerja pada frekuensi sama, yaitu 121,5 MHz [3], atau dengan cara lain petugas SAR melakukan pencarian lokasi kecelakaan pesawat terbang menggunakan metode kerjasama antara dua *autonomous unmanned aerial vehicles* (UAV) [4]. Karena pentingnya, hingga saat ini teknologi ELT terus diteliti dan dikembangkan, beberapa

masalah yang dihadapi berupa aktivasi baterai pada desain perangkat *emergency homing* berbasis pesawat saat ini seperti *emergency locator beacon* (ELB) dan *underwater locator beacon* (ULB) [5], dan pengembangan sistem ELT ekonomis otomatis yang ditempatkan pada pesawat terbang [6], dan konsep desain *electronic position indicating radio beacon* (EIRB) yang dapat terlontar secara otomatis dari pesawat terbang yang mengalami kecelakaan di laut [7].

Beberapa penelitian yang membahas tentang pengembangan dan aplikasi penerima ELT, antara lain: aplikasi masa depan arsitektur *direct RF sampling* (DRFS) pada perangkat ELT [8], ujicoba deteksi *distress beacon* UHF *signal* yang terpancar dari lokasi kecelakaan pesawat terbang oleh petugas SAR menggunakan *Cospas-Sarsat System* [9], penjejak pesawat terbang yang mengalami kecelakaan menggunakan ELT berbasis *Cospas-Sarsat System* [10], dan desain *web based module* untuk SAR pada ELT *receiver* dengan sistem *Cospas-Sarsat* [11]. Selain itu, terdapat pula penelitian yang membahas penerima ELT pada frekuensi 406 MHz, diantaranya: desain dan realisasi ELT *beacon* dan *decoder* pada frekuensi 406 MHz [12], desain *decoder mobile* untuk *distress beacon* 406 MHz [13], pengembangan *emergency radio beacon* 406 MHz yang didesain khusus untuk menemukan lokasi *small unmanned aerial vehicle* (UAV) [14], dan pengembangan GPS *transceiver* sebagai *emergency locator beacon* untuk dipasang pada *quadcopter* [15]. Sedangkan penelitian yang membahas tentang pencarian pesawat terbang, diantaranya: desain algoritma pengolahan data *acoustic locator* (AL) pasif untuk deteksi dan pencarian pesawat terbang [16], teknik *passive location* (PL) yang dipasang pada *maritime patrol aircraft* (MPA) untuk pencarian pesawat terbang [17], dan metode penentuan posisi pesawat terbang dengan menggunakan *synthetic aperture radars* (SARs) [18].

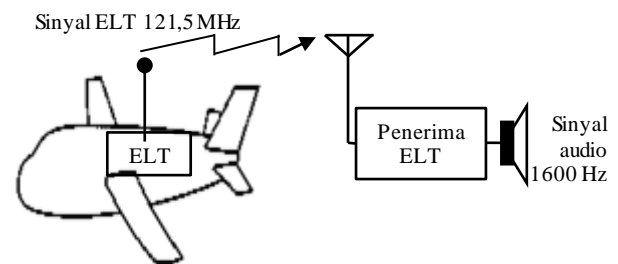
Dikarenakan kerumitan teknologi penerima sinyal ELT yang digunakan pada penelitian lain, seperti: arsitektur DRFS [8], *web based module* [11], dengan GPS [15], algoritma AL pasif [16], teknik PL [17], dan metode SARs [18]; penerima yang berbasis satelit *Cospas-Sarsat* [9]-[11]; penerima yang dipasang pada *quadcopter*, pesawat terbang, atau MPA [15]-[18]; penerima berbasis pada frekuensi kerja 406 MHz [12]-[14]; dan pentingnya kegunaan perangkat penerima sinyal ELT untuk menangkap dan mendeteksi pancaran sinyal ELT sebagai kelanjutan dari hasil penelitian [2] dan [19], serta untuk mendukung kemandirian dan penguasaan teknologi perangkat penerima sinyal ELT menjadi dasar penelitian ini dilakukan. Metode penerimaan sinyal ELT pada penelitian [9]-[18] berbasis "*super heterodyning*", sedangkan metode yang digunakan pada penelitian ini adalah "*direct receiver*", karena lebih sederhana dan secara signifikan akan mengurangi divais *radio frequency* (RF) yang digunakan seperti dipaparkan pada [8].

Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* pada frekuensi 121,5 MHz, terdiri dari: *band pass filter* (BPF) dan penguat *radio frequency* (RF) sebagai rangkaian *direct receiver*, demodulator AM, dan penguat audio. Rangkaian ini lebih

sederhana, membutuhkan lebih sedikit divais RF, menggunakan sumber tenaga dari baterai, dan dapat dijinjing atau *portable*. Dipilih frekuensi 121,5 MHz karena mempunyai jangkauan lebih jauh tanpa *line of sight* (LoS) yang *clear* seperti dinyatakan pada [9] dan sesuai spesifikasi penerbangan sipil [1]. Lebih lanjut hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pengembangan pemancar dan penerima sinyal ELT, serta dapat juga diimplementasikan pada sistem pencari (*locator*) pesawat terbang dengan menambahkan perangkat *radio direction finder* (RDF) [20].

II. METODE

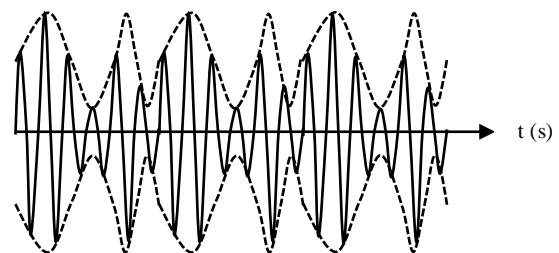
Hubungan antara *transmitter* ELT di pesawat terbang yang *crashed*, yang berfungsi memancarkan sinyal ELT; dengan penerima sinyal ELT di petugas SAR [3], yang berfungsi menangkap sinyal ELT, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara *transmitter* ELT di pesawat yang *crashed*, dengan penerima ELT di petugas SAR

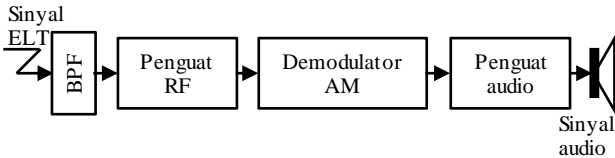
Dari Gambar 1, *transmitter* ELT di pesawat terbang yang *crashed*, memancarkan sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz yang termodulasi AM oleh sinyal audio sinusoida 1600 Hz. Penerima sinyal ELT akan menangkap sinyal ELT dan mendemodulasi atau mengambil kembali sinyal audio sinusoida 1600 Hz dan ditampilkan atau didengar suaranya, untuk menunjukkan adanya sinyal ELT. Penerima sinyal ELT juga dapat dipadukan dengan perangkat RDF sehingga dapat diketahui lokasi dan arah pancaran sinyal ELT [20].

Penerima ELT dirancang untuk dapat menerima sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz yang dipancarkan oleh *transmitter* ELT dengan spesifikasi sesuai penerbangan sipil, berupa: sinyal *amplitude modulation* (AM) pada frekuensi (121,5 MHz \pm 6 kHz) atau 121,494 s.d 121,506 MHz termodulasi oleh sinyal audio sinusoida pada *range* tidak kurang dari 700 Hz di dalam *band* 300 s.d 1600 Hz, pada laju pengulangan *sweep* antara 2 s.d 4 Hz, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sinyal ELT [2]

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perancangan, realisasi, serta pengukuran dan pengujian penerima sinyal ELT, untuk menghasilkan “Penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* yang mampu bekerja pada frekuensi 121,5 MHz”. Rangkaian “Penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver*” ini, terdiri dari: BPF dan penguat RF sebagai rangkaian *direct receiver*, demodulator AM, dan penguat audio; serta menggunakan IC dan divais analog yang tersedia bebas di pasaran. Diagram blok penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver*

Dari Gambar 3, penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* pada frekuensi 121,5 MHz terdiri dari: BPF dan penguat RF berfungsi sebagai *direct receiver* untuk menerima, memilah, dan memperkuat sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz; demodulator AM berfungsi untuk mendemodulasi sinyal informasi berupa audio sinusoida 1600 Hz yang dibawa oleh sinyal ELT; penguat audio berfungsi untuk memperkuat level tegangan sinyal audio sinusoida, yang akan didengar suaranya melalui *loudspeaker*. Rangkaian lengkap penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* pada frekuensi 121,5 MHz, seperti ditunjukkan pada Gambar 4, dengan spesifikasi yang direncanakan, yaitu: bekerja pada rentang frekuensi 121,494 s.d 121,506 MHz, penerimaan sinyal dengan metode *direct receiver*, jenis demodulasinya

adalah AM, dan sinyal audio didengar suaranya melalui *loudspeaker*.

A. *Band Pass Filter* (BPF)

Rangkaian BPF terdiri dari susunan *high pass filter* (HPF) berupa kapasitor C_1 dan induktor L_1 seri, dan *low pass filter* (LPF) berupa kapasitor C_2 dan induktor L_2 paralel. BPF mempunyai frekuensi *cut-off* bawah (f_L) dan frekuensi *cut-off* atas (f_H), sesuai[21]:

$$f_L = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_2 \cdot L_2}} \text{ Hz} \quad (1)$$

dan

$$f_H = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot L_1}} \text{ Hz} \quad (2)$$

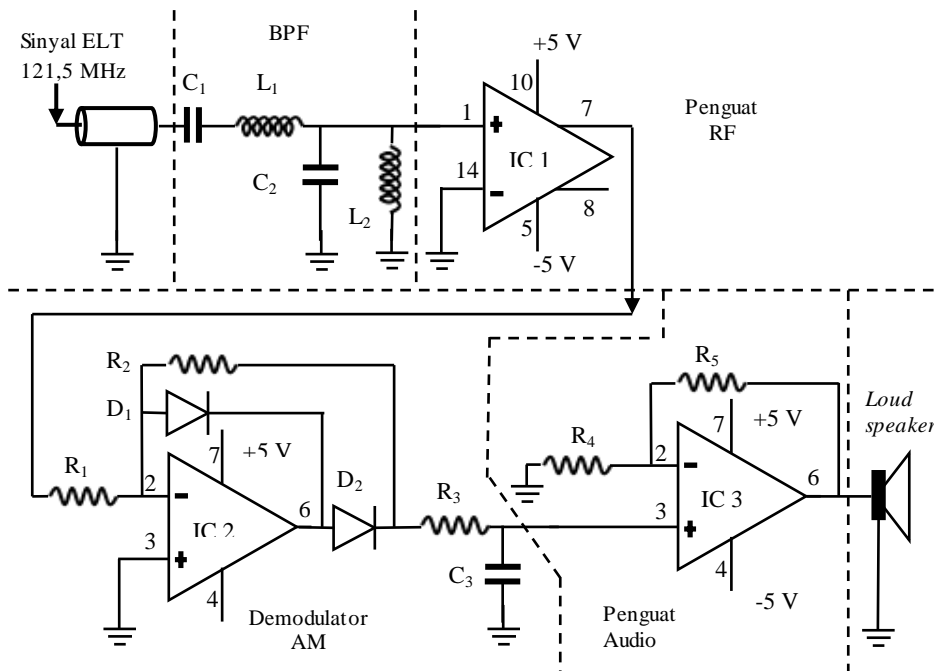
Untuk meloloskan sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz ± 6 kHz, BPF dirancang pada frekuensi tengah 121,5 MHz dan *bandwidth* 30 kHz, sehingga besarnya frekuensi *cut-off* bawah $f_L = (121,5 \text{ MHz} - 15 \text{ kHz}) = 121,485 \text{ MHz}$, dan frekuensi *cut-off* atas $f_H = (121,5 \text{ MHz} + 15 \text{ kHz}) = 121,515 \text{ MHz}$. Karena $f_L = 121,485 \text{ MHz}$ dan dipilih $L_2 = 1 \mu\text{H}$, maka diperoleh C_2 :

$$C_2 = \frac{1}{(2\pi \cdot f_L)^2 \cdot L_2} = 1,716306 \text{ pF}$$

Karena $f_H = 121,515 \text{ MHz}$ dan dipilih $L_1 = 1 \mu\text{H}$, maka diperoleh C_1 :

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi \cdot f_H)^2 \cdot L_1} = 1,715459 \text{ pF}$$

sehingga divais yang dipasang, adalah: $L_1 = L_2 = 1 \mu\text{H}$, $C_1 = 1,7 \text{ pF}$, dan $C_2 = 1,8 \text{ pF}$.



Gambar 4. Rangkaian lengkap penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* pada frekuensi 121,5 MHz

B. Penguat *Radio Frequency* (RF)

Rangkaian penguat RF (IC 1) berupa *differential amplifier* UA 733CN produk dari Texas Instruments Incorporated, dapat bekerja untuk memperkuat sinyal RF sebagai *video amplifier* hingga frekuensi 200 MHz. Penguat ini dengan mode *differential amplifier* dapat mempunyai *voltage gain* antara 8 s.d 10 kali, sehingga cocok untuk memperkuat tegangan sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz.

C. Demodulator AM

Demodulator AM yang digunakan berupa jenis detektor energi atau *envelope detector*, terdiri dari bagian penyearah setengah gelombang (*half-wave rectifier*) aktif dan perata (*filter*).

- Penyearah setengah gelombang berupa dioda germanium D_1 dan D_2 , dengan *inverting amplifier* (IC 2) berupa op-amp LM 741 produk dari National Semiconductor Corp dilengkapi resistor *feedback* R_1 dan R_2 , mempunyai penguatan tegangan (*inverting voltage gain*) A_v [22]:

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Karena diperlukan $A_v = -10$, dan dipilih $R_2 = 27 \text{ k}\Omega$; maka diperoleh $R_1 = 2,7 \text{ k}\Omega$. Sehingga divais yang dipasang adalah $R_1 = 2,7 \text{ k}\Omega$ dan $R_2 = 27 \text{ k}\Omega$.

- Perata berupa *low pass filter* (LPF) orde 1, dengan divais resistor R_3 dan kapasitor C_3 , mempunyai frekuensi *cut-off* (f_c) = 1600 Hz sesuai dengan frekuensi tertinggi sinyal audio yang akan dipilah [22]:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_3 C_3} \text{ Hz} \quad (4)$$

Karena LPF untuk memilah frekuensi sinyal audio dibawah 1600 Hz dari keluaran penyearah, dan dipilih $C_3 = 1 \text{ }\mu\text{F}$; maka diperoleh $R_3 = 99,4719 \text{ }\Omega$. Sehingga divais yang dipasang adalah $C_3 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ dan $R_3 = 100 \text{ }\Omega$.

D. Penguat Audio

Rangkaian penguat audio (IC 3) berupa *non-inverting amplifier* menggunakan op-amp LM 741 produk dari National Semiconductor Corp yang dilengkapi resistor *feedback* R_4 dan R_5 , mempunyai penguatan tegangan (*non-inverting gain*) A_v [22]:

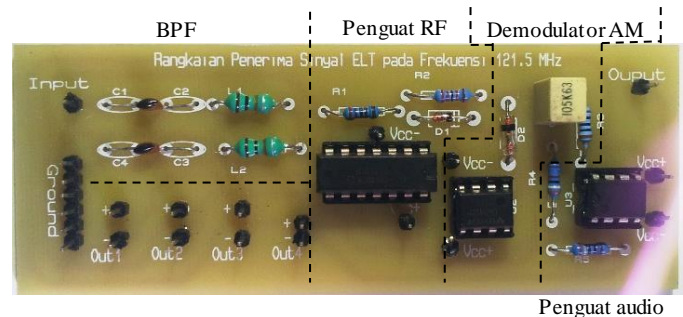
$$A_v = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \quad (5)$$

Karena diperlukan $A_v = 10$, dan dipilih $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$; maka diperoleh $R_4 = 1,11 \text{ k}\Omega$. Sehingga divais yang dipasang adalah $R_4 = 1,1 \text{ k}\Omega$ dan $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$.

E. Rangkaian Penerima Sinyal ELT

Rangkaian penerima sinyal ELT secara keseluruhan dihasilkan dari gabungan BPF dan penguat RF sebagai rangkaian *direct receiver*, demodulator AM, dan penguat audio. Diagram blok dan rangkaian dari penerima sinyal ELT

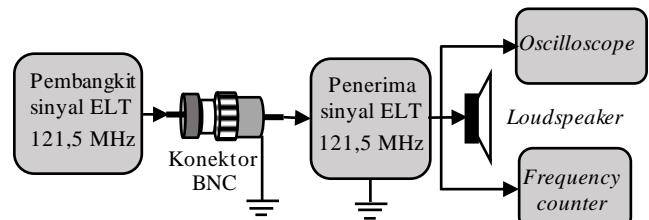
seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4, sedangkan tata letak rangkaian dengan divais terpasang pada satu lembar *printed circuit board* (PCB) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dari Gambar 5, tata letak rangkaian penerima sinyal ELT, terdiri dari: bagian BPF dan penguat RF (sebagai *direct receiver*), demodulator AM, dan penguat audio.



Gambar 5. Tata letak rangkaian dengan divais terpasang pada satu lembar PCB

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

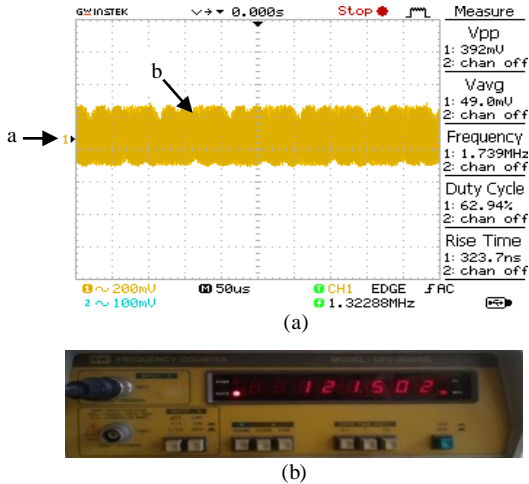
Dari hasil rancangan penerima sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, dilakukan pengukuran tiap bagian dan pengujian untuk menerima sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz secara langsung melalui konektor BNC dari pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz hasil penelitian [2], pada pengujian ini tidak melibatkan dan memperhitungkan adanya *noise* atau interferensi dari sinyal lain. Diagram blok pengujian penerima sinyal ELT untuk menerima sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok pengujian penerima sinyal ELT untuk menerima sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz

Dari Gambar 6, penerima sinyal ELT menerima sinyal ELT secara langsung dari pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz hasil penelitian [2] melalui konektor BNC. Gelombang sinyal ELT dari pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz, seperti ditunjukkan pada gambar 7.

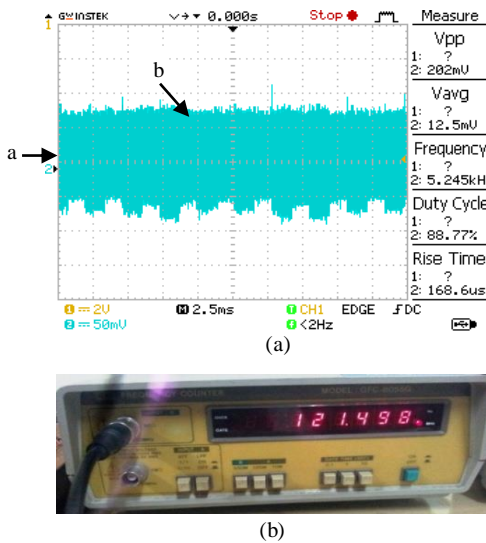
Gambar 7 (a), sinyal ELT berupa gelombang AM dengan tegangan = 392 mV_{pp} (ditunjukkan panah a) dan frekuensi = 121,502 MHz (ditunjukkan panah b) dimodulasi sinyal audio pada frekuensi = 300 s.d 1600 Hz, sedangkan Gambar 7 (b), menunjukkan frekuensi 121,5 MHz. Gelombang AM dengan tegangan *peak* (V_{peak}) = 390 mV_{pp} dan tegangan *dip* (V_{dip}) = 240 mV_{pp}, atau mempunyai indeks modulasi m (%) = 24,05%.



Gambar 7. (a) Gelombang dan (b) Frekuensi sinyal ELT dari pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz [19]

A. BPF dan Penguat RF

BPF dan penguat RF sebagai *direct receiver*, untuk memilah dan memperkuat sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz \pm 6 kHz. Hasil pengujian menunjukkan BPF dapat bekerja pada frekuensi antara 121,330 s.d 121,617 MHz atau mempunyai *bandwidth* = 287 kHz, dan penguat RF mempunyai penguatan tegangan = 2,3 s.d 2,8 kali. Gelombang sinyal keluaran *direct receiver* seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



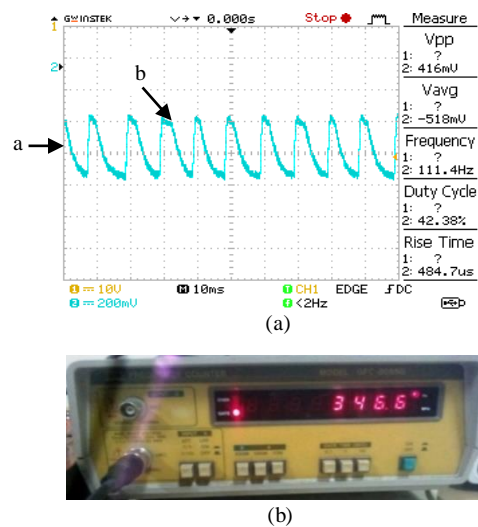
Gambar 8. (a) Gelombang dan (b) Frekuensi sinyal keluaran *direct receiver*

Gambar 8 (a), keluaran *direct receiver* berupa gelombang sinyal AM yang tidak simetris antara bagian positif dan bagian negatif, dengan tegangan = 202 mV_{pp} (ditunjukkan panah a) dan frekuensi sinyal = 121,498 MHz (ditunjukkan panah b), sedangkan Gambar 8 (b) menunjukkan frekuensi 121,498 MHz. Hasil ini sesuai dengan yang direncanakan, bahwa *direct receiver* dapat menangkap sinyal ELT pada frekuensi 121,498 MHz, yang masih masuk dalam rentang frekuensi 121,494 s.d 121,506 MHz. Sensitifitas *direct receiver* dilihat dari level sinyal terkecil dari hasil pengujian,

yang dapat ditangkap oleh penguat RF (UA 733CN) adalah 19,2 mV_{pp} setara dengan -40,35 dB, dan selektifitas frekuensi antara 121,330 s.d 121,617 MHz.

B. Demodulator AM

Gelombang sinyal keluaran demodulator AM, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 9 (a), demodulator AM menghasilkan sinyal keluaran berupa gelombang mendekati bentuk persegi, dengan tegangan = 416 mV_{pp} (ditunjukkan panah a) dan frekuensi = 346,6 Hz (ditunjukkan panah b), sedangkan Gambar 9 (b) menunjukkan frekuensi 346,6 Hz. Hasil ini sudah sesuai dengan yang direncanakan, yaitu demodulator AM dapat mendemodulasi atau mengambil kembali sinyal audio pada frekuensi = 346,6 Hz dari sinyal ELT. Frekuensi ini masih masuk dalam rentang frekuensi sinyal audio 300 s.d 1600 Hz.

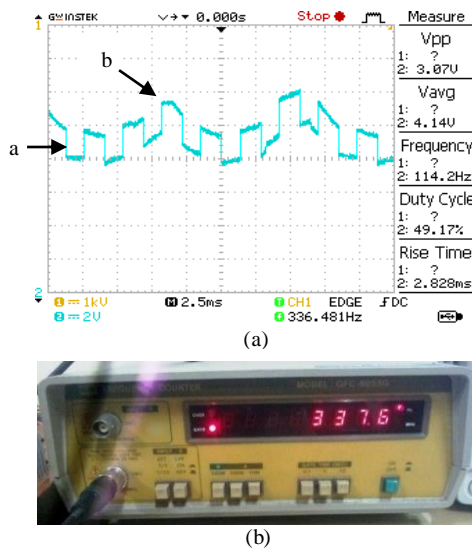


Gambar 9. (a) Gelombang dan (b) Frekuensi sinyal keluaran demodulator AM

C. Penguat Audio

Keluaran penguat audio sebagai keluaran penerima sinyal ELT dihubungkan ke *loudspeaker* untuk menampilkan suara audio hasil demodulasi, dan ke alat ukur berupa: *oscilloscope* dan *frequency counter* untuk menampilkan gambar gelombang sinyal audio. Gelombang sinyal keluaran penguat audio atau penerima sinyal ELT, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10 (a), penerima sinyal ELT dapat menghasilkan keluaran berupa gelombang sinyal audio pada tegangan = 3,07 V_{pp} (ditunjukkan panah a) dan frekuensi = 337,6 Hz (ditunjukkan panah b), sedangkan Gambar 10 (b) menunjukkan frekuensi 337,6 Hz. Bentuk *envelope* gelombang yang belum rata, dikarenakan divais IC pada penguat RF mempunyai *differential gain* yang tidak seimbang. Hasil ini sudah sesuai dengan yang direncanakan, yaitu penerima sinyal ELT dapat menghasilkan kembali sinyal audio pada frekuensi = 337,6 Hz yang masih masuk dalam rentang 300 s.d 1600 Hz, dan suara yang keluar melalui *loudspeaker* sebagai penunjuk adanya sinyal ELT, terdengar seperti suara audio aslinya yang dimodulasikan di pembangkit sinyal ELT pada frekuensi 121,5 MHz [2]. Hasil pengukuran dan pengujian penerima ELT untuk menerima sinyal ELT dari pembangkit sinyal ELT dirangkum pada Tabel I.



Gambar 10. (a) Gelombang dan (b) Frekuensi sinyal keluaran penerima sinyal ELT

TABEL I. HASIL PENGUKURAN DAN PENGUJIAN PENERIMA ELT

No.	Rangkaian	Sinyal Keluaran		Frekuensi
		Tegangan		
1	Direct receiver	peak	dip	121,498 MHz
		202 mV _{pp}	150 mV _{pp}	
2	Demodulator AM	416 mV _{pp}		346,6 Hz
3	Penguat Audio	3,07 V _{pp}		337,6 Hz

Dari Tabel I, pengukuran dan pengujian penerima sinyal ELT menunjukkan hasil sesuai yang diharapkan, yaitu: *direct*

TABEL II. PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENELITIAN DENGAN PENELITIAN LAIN YANG SUDAH DILAKUKAN

Spesifikasi	Hasil Penelitian ini	Penelitian Lain yang Sudah Dilakukan	Keterangan Hasil Penelitian ini
Sinyal ELT: -frekuensi -sinyal audio	121,498 MHz 337,6 Hz	Hasil [1]: 121,5 MHz ± 6 kHz 300 s.d 1600 Hz	Sudah sesuai spesifikasi
Sensitifitas penerimaan Selektifitas penerimaan Sinyal audio	-40,35 dB 121,330 s.d 121,617 MHz 337,6 Hz terdengar	Hasil <i>Vektor-Finder Type VF-121 ELT Stalker</i> produk dari National RF Inc.: -10 dB 118 s.d 130 MHz - "suara bip"	Lebih sensitif dan selektif mendekati <i>range</i> sinyal ELT
Frekuensi kerja	121,5 MHz	Hasil [12]-[15]: 406 MHz	121,5 MHz mempunyai jangkauan lebih jauh tanpa LoS yang <i>clear</i>
Metode penerimaan dan deteksi sinyal ELT	<i>direct receiver</i>	Hasil [8]: <i>direct RF sampling</i>	Sudah berhasil realisasi.
		Hasil [9]-[18]: <i>Super heterodyning</i>	Lebih sederhana, signifikan mengurangi divais RF yang digunakan.
		Hasil [16]-[18]: AL <i>pasif</i> , PL, dan SARs, terpasang di pesawat terbang	<i>Portable</i> mempunyai dimensi kurang dari 10cm×15 cm
Luaran	Penerima sinyal ELT	Hasil [7], [10]-[15]: Konsep dan desain pengembangan penerima sinyal ELT	Sudah terealisasi dalam bentuk rangkaian

receiver mampu menerima frekuensi 121,498 MHz yang masuk dalam rentang frekuensi 121,494 s.d 121,506 MHz, demodulator AM dapat mengambil kembali sinyal audio pada frekuensi 346,6 Hz yang masuk dalam rentang 300 s.d 1600 Hz, dan penguat audio menghasilkan sinyal audio 337,6 Hz yang dapat didengar.

D. Pembahasan

Secara keseluruhan hasil perancangan dan realisasi, pengukuran serta pengujian sudah sesuai dengan yang direncanakan, yaitu penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* berfungsi untuk menerima sinyal ELT pada frekuensi 121,498 MHz yang masuk dalam rentang frekuensi 121,494 s.d 121,506 MHz, dan mengambil kembali sinyal audio pada frekuensi 337,6 Hz yang masuk dalam rentang 300 s.d 1600 Hz yang dimodulasikan. Hasil ini sesuai dengan spesifikasi penerbangan sipil [1]. Selain itu, penerima sinyal ELT ini mempunyai sensitifitas penerimaan -40,35 dB dan selektifitas frekuensi 121,330 s.d 121,617 MHz yang lebih baik, rangkaian sederhana, memerlukan lebih sedikit divais RF, menggunakan sumber tenaga dari baterai, dan *portable* atau dapat dijinjing karena mempunyai dimensi kurang dari 10 cm × 15 cm pada satu lembar PCB. Perbandingan antara hasil penelitian ini dengan penelitian lain yang sudah dilakukan ditunjukkan pada Tabel II.

Dari Tabel II, dapat dilihat bahwa penelitian ini menghasilkan luaran yang lebih baik. Hasil penelitian ini selanjutnya dapat diimplementasikan di penerbangan sipil pada perangkat penerima sinyal ELT dan diintegrasikan dengan perangkat RDF untuk penggunaan oleh petugas SAR pada pencarian lokasi pesawat terbang yang mengalami kecelakaan.

IV. PENUTUP

Penelitian ini telah berhasil merealisasikan penerima sinyal ELT dengan metode *direct receiver* yang dapat menerima sinyal ELT pada rentang frekuensi 121,494 s.d 121,506 MHz sesuai spesifikasi untuk penerbangan sipil, ditunjukkan oleh adanya sinyal audio pada frekuensi 337,6 Hz di keluaran *loudspeaker*. Penelitian selanjutnya adalah mengintegrasikan penerima sinyal ELT dengan perangkat RDF yang sesuai.

REFERENSI

- [1] 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, pp. 1-16, 2014.
- [2] Rustamaji, K. Sawitri, and R. H. Sitepu, "Pembangkit Sinyal ELT pada Frekuensi 121,5 MHz," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 9-15, 2019. <https://doi.org/10.15294/jte.v11i1.19201>.
- [3] *Transport Canada Aeronautical Information Manual (TC AIM): SAR - Search and rescue (SAR)*, Transport Canada, October 10, 2019.
- [4] T. Sherman, J. Tellez, T. Cady, J. Herrera, H. Haideri, J. Lopez, M. Caudle, S. Bhandari, and D. Tang, "Cooperative search and rescue using autonomous unmanned aerial vehicles," in *2018 AIAA Information Systems-AIAA Infotech@ Aerospace*, 2018, p. 1490. Published Online: 7 Jan 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-1490>.
- [5] M. Raut, and C. Kendurkar, "Enhancements and alternatives proposed for emergency homing devices," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 9, Issue 8, pp. 92-96, 2019. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.9.08.2019.p9216>.
- [6] V. K. Shah, H. J. Patel, and U. N. Jani, "Economical automatic deployable emergency locator transmitter system," in *2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 2017, vol. 1, pp. 267-270. Date Added to *IEEE Xplore*: Dec. 18, 2017.
- [7] L. Peters, and C. Bil, "Designing an automatic beacon ejection system for aircraft," in *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, 2016, p. 3918. Published Online: 10 Jun 2016. <https://doi.org/10.2514/6.2016-3918>.
- [8] A. Q. Nguyen, A. Amrhar, A. A. Kisomi, X. Fang, and R. Jr. Landry, "In-flight performance analysis of direct RF sampling architecture applied to VHF band avionics," in *2018 IEEE Aerospace Conference*, 2018, pp. 1-20. Date Added to *IEEE Xplore*: Jun. 28, 2018.
- [9] M. Rice, G. Lechner, J. Zhang, and J. Zhang, "Results from Australian trials of UHF distress beacons over MEO satellites," in *33rd AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibition*, 2015, p. 4350. Published Online: 3 Sep 2015. <https://doi.org/10.2514/6.2015-4350>.
- [10] D. Delcuvelierie, "Tracking of aircraft in distress using the cospas-sarsat system," in *2018 SpaceOps Conference*, 2018, p. 2343. Published Online: 25 May 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-2343>.
- [11] 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.
- [12] B. A. Srihen, J. P. Yonnet, and M. Benslama, "Design and realization an ELT beacon and decoders of frames 406 MHz," in *International Conference (IEEE) on Engineering & MIS (ICEMIS)*, 2017, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICEMIS.2017.8272967>.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] A. Naimurrokhman, Kusnandar, U. Komarudin, A. Daelami, A. G. Suryanto, and A. Munir, "Development of GPS transceiver for quadcopter-based emergency locator beacon," in *2019 IEEE 5th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 2019, pp. 1-4. Date Added to *IEEE Xplore*: Feb. 3, 2020.
- [16] Y. Chervoniak, R. Sinityn, F. Yanovsky, V. Makarenko, V. Tokarev, and O. Zaporozhets, "Algorithm of passive acoustic locator data processing for flying vehicle detection and tracking," in *2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS)*, 2017, pp. 43-48. Date Added to *IEEE Xplore*: Oct. 19, 2017.
- [17] L. Arena, and D. Orlando, "Passive location developments in Elettronica SpA: System applications," in *2014 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (TIWDC/ESAV)*, 2014, pp. 130-134. Date Added to *IEEE Xplore*: Nov. 6, 2014.
- [18] Y. Zhang, B. P. Wang, Y. Fang, and Z. X. Song, "SAR observation error estimation based on maximum relative projection matching," *Hindawi International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2020, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3517834>.
- [19] K. Sawitri, Rustamaji, and A. Adhari, "Osilator 121,5 MHz pada ELT Menggunakan VCO MCl 648," *Transmisi*, vol. 22, no. 1, pp. 30-37, 2020. <https://doi.org/10.14710/transmisi.22.1.30-37>.
- [20] Rustamaji, K. Sawitri, and G. Fuady, "Radio Direction Finder pada HF Band sebagai Elemen dari Passive Radar," *Elkha*, vol. 11, no. 2, pp. 107-114, 2019. <https://doi.org/10.26418/elkha.v11i2.34733>.
- [21] Rustamaji, *Elektronika Komunikasi*, Bandung: Penerbit Itenas, 2017.
- [22] R. F. Coughlin, F. F. Driscoll, *Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits*, London: Prentice-Hall International, 2000.