

# KONTROL JARAK JAUH BERBASIS *MULTI TONE* UNTUK SISTEM TERMINASI PENERBANGAN ROKET (MULTI - TONE BASED REMOTE CONTROL FOR ROCKET FLIGHT TERMINATION SYSTEM)

Wahyu Widada

Peneliti Bidang Telemetry dan Muatan Roket, Pusat Teknologi Roket, Lapan  
e-mail: w\_widada@yahoo.com

## ABSTRACT

This paper discusses the design and prototype of a remote communication for Flight Termination System FTS of flight vehicle. The FTS operates in UHF frequency band from 400 to 470 MHz. The system uses three tone multi frequencies to remote control of the flight vehicle. Simulation and design have been analyzed to create a reliable communication system based on mix three tone signals together for radio with a bandwidth of 3 KHz sub carrier. Frequency tone that is used for remote control is 1050, 1550, and 2550 Hz. Minimum difference frequencies of each tone signal is 0.5 KHz. The results show multi-tone signal is detected correctly in accordance with the results that have been designed and simulated.

Keywords: *Flight termination system FTS, Multi-tone, Rocket, UAV.*

## ABSTRAK

Tulisan ini membahas desain dan prototip komunikasi jarak jauh untuk *Flight Termination System (FTS)*. FTS beroperasi di pita frekuensi UHF 400-470 MHz. Sistem ini menggunakan tiga multi-frekuensi *tone* untuk telekomando ke wahana terbang. Simulasi dan desain telah dianalisis untuk membuat sistem komunikasi yang handal berdasarkan campuran tiga sinyal *tone* bersama-sama untuk radio dengan lebar pita sub-carrier 3 KHz. Frekuensi *tone* yang digunakan untuk *remote control* adalah 1050, 1550, dan 2550 Hz. Beda frekuensi minimal dari masing-masing sinyal *tone* adalah 0.5 KHz. Hasil percobaan menunjukkan sinyal multi-*tone* terdeteksi dengan benar sesuai dengan hasil yang telah didesain dan simulasikan.

Kata kunci: *Sistem Terminasi Penerbangan, Multi-tone, Roket, UAV.*

## 1 PENDAHULUAN

Dalam bidang peroketan, keselamatan area dijamin oleh sistem yang melindungi orang dan aset pada area uji terbang dalam kasus-kasus ketika sebuah wahana peluncuran mungkin dapat membahayakan mereka. Lapan sedang mengembangkan roket balistik jarak jauh seperti RX320, RX450, dan RX550 dengan jangkauan hingga lebih dari 300 km serta *drone* kendali RXX200EDF/TJ. Semakin jauh jangkauan menyebabkan keamanan baik untuk personal, lingkungan masyarakat, dan infrastruktur semakin berbahaya

jika trayektori tidak dapat dikendalikan sesuai rencana. Oleh karena itu sangat perlu dikembangkan sistem untuk menghentikan laju wahana tersebut (*Flight Termination System*), yang terdiri dari *tele-command* dan sistem penghentian roket. Penghentian laju ini dapat dengan cara meledakkan, mematikan fungsi motor, serta mengarahkan ke tempat lain. Sebuah rudal memiliki sistem terminasi terbang yang dapat memajukan pusat gravitasi dari rudal, ketika digunakan, menyebabkan rudal berputar pada sumbu *longitudinal*. Rotasi ini akhirnya

meningkat dan menyebabkan hilangnya daya angkat aerodinamis, sehingga akan terjun vertikal ke bawah dan menabrak permukaan bumi (Javier Velez, 2012). Dalam aplikasi lainnya, ketika sistem FTS diaktifkan akan menghancurkan rudal yang sedang dites terbang setelah pada periode yang telah ditetapkan, untuk mempersingkat jangkauan, sehingga akan lebih aman (David Bruce Franz, 1977). Penghancuran konstruksi wahana terbang ini dapat menggunakan suatu alat yang disebut *shaped-charge*, alat ini berbentuk belahan cekung logam atau kerucut (dikenal sebagai *liner*) didukung oleh ledak tinggi dan dibuat dalam baja atau *aluminium casing* (Weber, William L., ). Sistem ini dapat diaktifkan secara otomatis di *autopilot* dan juga secara manual dari *ground-station* berdasarkan informasi sistem *tracking* roket. Salah satu bagian yang sangat penting adalah kehandalan pada sistem komunikasi untuk aktivasi FTS ini. Menurut beberapa literatur produk, komunikasi yang digunakan berbasis multi sinyal *tone* dengan radio pada frekuensi *band* UHF. Sinyal *tone* mudah dibuat dan dideteksi sehingga handal untuk kondisi ekstrim pada komunikasi roket. Oleh karena itu sangat penting dikembangkan sistem komunikasi FTS khususnya untuk roket. Sistem FTS ini juga merupakan salah satu teknologi yang diproteksi oleh *Missile Technology Control Regime* (MTCR) (<http://www.mtcr.info/english/>, 2014).

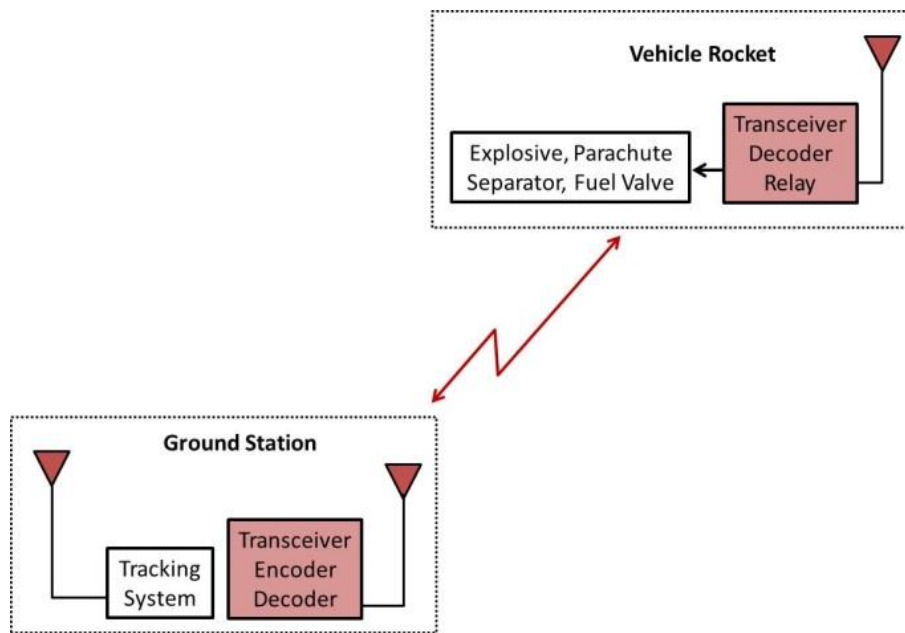
Tulisan ini membahas sistem telekomando untuk FTS berbasis multi sinyal *tone*. Pada *base-station* terdiri dari sinyal *modulator* dan radio *transmitter*, sedangkan pada *onboard* roket terdiri dari radio *receiver* dan *demodulator* sinyal *tone* (Anthony Cirineo, 1999). Selain menggunakan sinyal *tone* juga menggunakan indikator sinyal radio pembawa, sebagai salah satu syarat aktivasi untuk lebih meningkatkan keamanan dari gangguan sinyal *noise* (Garret McCabe, 2012). Desain dan

simulasi telah dilakukan untuk spesifikasi radio dengan lebar pita 300-3000 Hz. Prototipe sistem ini telah dibuat untuk uji coba hasil yang telah didesain. Hasil percobaan menunjukkan sistem dapat menerima sinyal dan melakukan *demodulasi* untuk aktivasi saklar untuk pemicu peledak pada roket atau sistem yang lainnya. Deteksi sinyal *tone* menggunakan IC tipe LM567 ([www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm567.pdf](http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm567.pdf), 2015), sedangkan radio yang digunakan adalah radio amatir pada pita UHF.

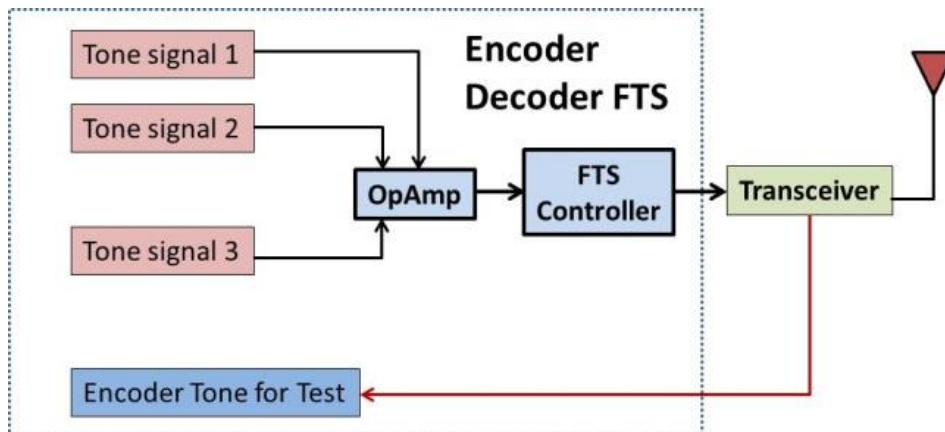
## 2 SISTEM TELE-KOMANDO

Secara umum sistem FTS untuk roket dapat dilihat pada Gambar 2-1. Terdiri dari *ground-station* dan *payload* pada roket. *Ground-station* digunakan untuk mengirim sinyal *encoder* dan menerima kembali sinyal *encoder* dengan menggunakan radio *transceiver*. Sinyal *encoder* yang diterima kembali dengan *decoder* di stasiun pengamat digunakan untuk memastikan komunikasi *tele-command* berhasil. *Payload* FTS terdiri dari radio *transponder* untuk menerima sinyal dan mengirim kembali dan *decoder* sinyal. *Decoder* sinyal ini digunakan untuk menterjemahkan sinyal dari *ground station* dan digunakan untuk mengaktifkan saklar analog pada pemicu eksplosif atau separasi/parasut.

*Encoder* sinyal dapat dilihat pada Gambar 2-2. *Tone encoder* secara terus-menerus membuat sinyal, dibuat dengan menggunakan IC NE555 dengan frekuensi yang berbeda-beda atau menggunakan *microcontroller* secara digital. Beberapa *tone* tersebut digabung menjadi satu dengan menggunakan *opamp* (*summing circuit*). Keluaran sinyal setelah digunakan tidak lebih 2V agar tidak terjadi distorsi dan *noise* frekuensi yang lebih tinggi, sehingga perlu rancangan *amplitudo* sinyal yang tepat. Kontroler FTS ini berfungsi untuk mengaktifkan sistem dengan menggunakan tombol ON/OFF.



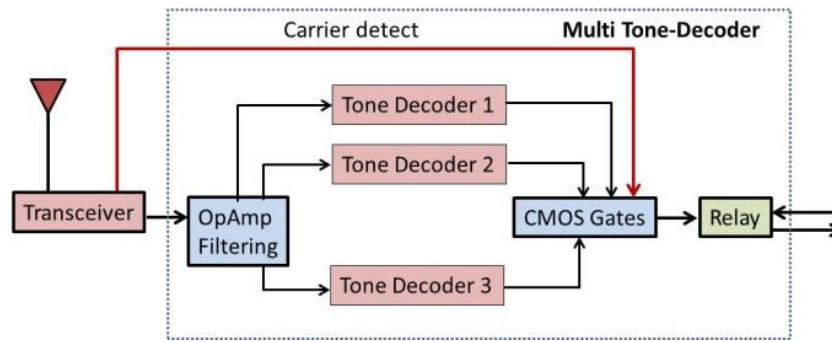
Gambar 2-1: Bagan sistem telekomando untuk sistem FTS pada wahana terbang



Gambar 2-2: Encoder sinyal FTS dan radio transceiver

Jumlah *tone* dalam percobaan ini tiga buah, karena menggunakan radio amatir dengan *bandwith* 500 - 3000 Hz. Perbedaan frekuensi *tone* yang hasilnya bagus minimal 500 Hz, sehingga maksimum 5 buah *tone*. Pada prinsipnya semakin banyak *tone* yang digunakan semakin baik tingkat keamanannya, tetapi juga akan semakin kompleks rangkaian elektroniknya juga akan semakin berkurang tingkat keberhasilannya. Dalam referensi maksimum *tone* yang digunakan adalah 3 *tone*, akan tetapi juga dapat diatur pemilihan jumlah *tone* dan kombinasi frekuensinya (Anthony Cirineo, 1997; <http://www.kratosepd.com>, 2014). Semakin jauh perbedaan frekuensi *tone* juga akan

semakin aman, tetapi *bandwidth* radio juga memerlukan tipe lebar yang juga menyebabkan jarak jangkauan lebih pendek (Yukinaga Koike, ). Sebagai *payload* roket, terdiri dari radio *transponder* dan FTS *decoder*, seperti terlihat pada Gambar 2-3 berikut. Radio *transponder* berfungsi untuk menerima sinyal *tone* dan mengirim kembali ke stasiun pengamat. Hal ini akan digunakan sebagai tes sinyal untuk mengetahui sinyal telah sampai dan kembali lagi. Untuk aktivasi *sub-sistem* FTS menggunakan saklar yang cukup tahan terhadap *shock* dan vibrasi roket. Untuk mencegah *shock* dan vibrasi dapat menggunakan *mounting* yang cukup kuat terhadap karakteristik roket.



Gambar 2-3: Tone decoder dan deteksi carrier untuk FTS pada payload transponder

Kombinasi logika detektor *tone* dan sinyal radio menggunakan gerbang CMOS, saat keempatnya valid maka CMOS akan mengaktifkan saklar. Uji kehandalan sistem komunikasi dan kemampuan *hardware* terhadap vibrasi dan *shock* sangat penting dilakukan. Dalam tulisan ini fokus pada uji kehandalan komunikasi sinyal FTS.

### 3 SIMULASI DAN PERCOBAAN

#### 3.1 Hasil Simulasi

Untuk menguji rancangan sistem telekomunikasi telekomando FTS ini, maka dilakukan simulasi sinyal *tone* dan deteksinya dengan logika CMOS. Logika keberhasilan aktivasi FTS ini, seperti pada Tabel 3-1, yaitu pada saat terdeteksi ketiga *tone* secara bersamaan T1, T2, dan T3 serta logika *carrier* radio maka sistem ini akan mengaktifkan FTS dengan sebuah saklar.

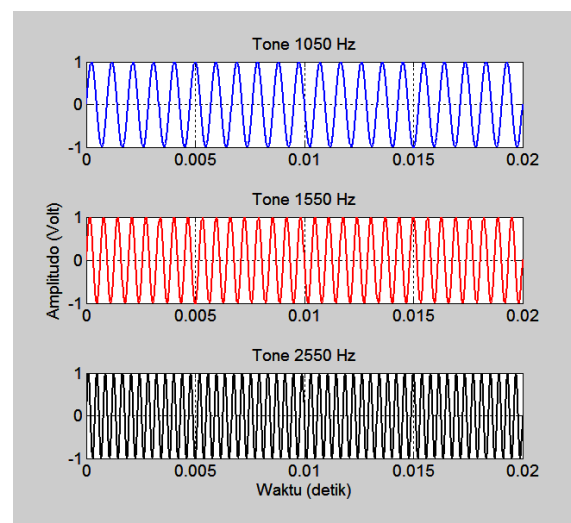
Tabel 3-1: LOGIKA CMOS UNTUK SISTEM AKTIVASI FTS

T1	T2	T3	Carrier	FTS
O	O	O	O	O
X	O	O	O	X
X	X	O	O	X
...	...	...	...	X
X	X	X	X	X

Pemancar radio untuk sistem FTS ini menggunakan *power* minimal 500 Watt, bahkan hingga 1000 Watt agar tidak terpengaruh oleh gangguan spektrum radio yang ada. Jika kita

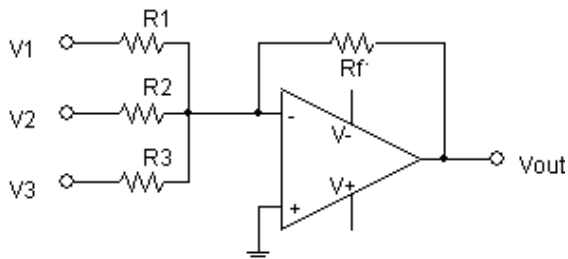
hitung dengan menggunakan 500 Watt/ 57 dBm pemancar radio dengan penguat antena pemancar dan penerima masing-masing 5 dBi, maka kuat sinyal yang diterima adalah 67 dBm dikurangi dengan *free-space path loss* sebesar 134 dBm (jarak 300 km, frekuensi 400 MHz) menjadi -67 dBm. Kuat sinyal ini sangat cukup dengan sensitivitas radio yang sekitar -120 dBm, sehingga keberhasilannya sangat tinggi dan terhindar dari gangguan frekuensi lainnya ([http:// www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo\\_Link\\_Budget\\_Whitepaper.pdf](http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_Link_Budget_Whitepaper.pdf), 2014).

Ujicoba juga telah dilakukan dengan menggunakan sebuah *prototipe*. Simulasi dilakukan dengan membuat sinyal *tone* dan analisa pemrosesan sinyal tersebut. Pada Gambar 3-1 dibuat tiga buah sinyal *tone* dengan frekuensi masing-masing 1050, 1550, dan 2550 Hz. Sinyal gabungan terlihat pada Gambar 3-1 dengan *amplitudo peak-to-peak* +2 Volt.



Gambar 3-1: Simulasi sinyal *tone* dengan frekuensi 1550, 2050, dan 2550 Hz

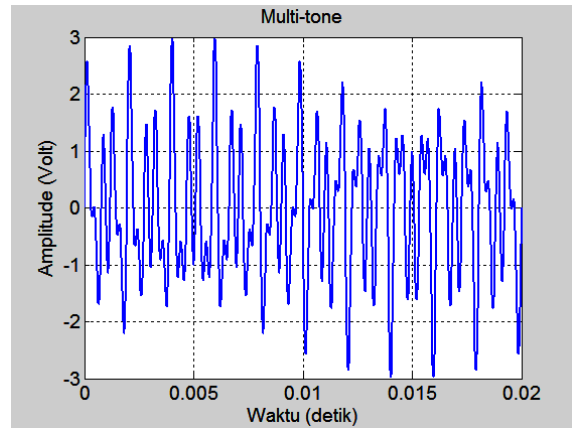
Sinyal gabungan ini akan dikirim via radio sebagai sinyal aktivasi, makin banyak jumlah sinyal *tone* yang digabungkan akan semakin aman. Untuk menentukan seberapa banyak *tone* yang digunakan pada radio dengan lebar pita 300-3000Hz, maka perlu uji penggunaan *bandpass filter* untuk memisahkan sinyal *tone* tersebut. Berdasarkan percobaan jarak frekuensi yang optimal adalah 500 Hz, sehingga maksimum jumlah *tone* yang digunakan pada radio amatir adalah 5 buah, sebagai contoh 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 Hz. Untuk menggabungkan sinyal *tone* tersebut, maka digunakan rangkaian penjumlah dengan menggunakan *operational amplifier*. Gambar 3-2 adalah rangkaian penjumlah untuk tiga buah sinyal *tone*. *Input* sinyal adalah masing-masing V1, V2, dan V3, dengan maksimum total sinyal yang keluar adalah 2 Volt. Masing-masing sinyal diatur supaya mempunyai nilai 2/3 Volt. Jika masing-masing sinyal mempunyai tegangan 5 Volt, maka penguat pada rangkaian tersebut bernilai 0.133, supaya keluaran total menjadi 2 Volt ( $R_f/R = 0.133$ ).



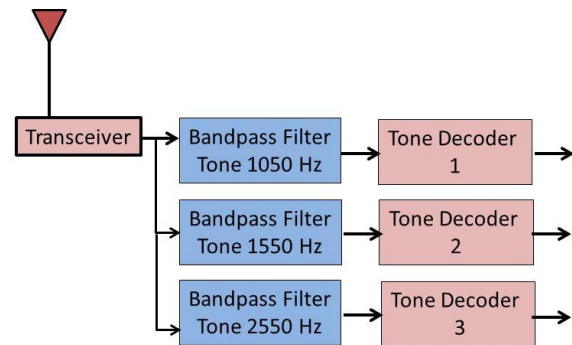
Gambar 3-2: Rangkaian penjumlah tiga buah sinyal *tone*

Hasil dari penjumlahan sinyal *tone* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-3. Terlihat sinyal seperti tidak beraturan, hal ini disebabkan adanya komponen tiga buah sinyal *tone* yang telah menyatu.

Sinyal *tone* seperti pada Gambar 3-3 tersebut akan dikirim melalui pemancar radio ke penerima radio di muatan roket. Pada muatan roket dipasang *decoder multi-tone* seperti terlihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-3: Sinyal gabungan tiga buah *tone* (*multi-tone*) untuk tele-komando FTS

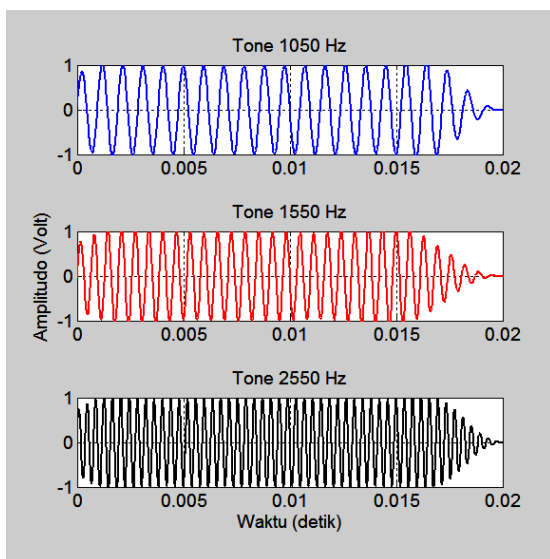


Gambar 3-4: *Bandpass filter* dengan *center frekuensi* masing-masing *tone* dan lebar pita 200 Hz

Keluaran suara atau sinyal dari penerima radio kemudian melewati tiga buah *bandpass filter* dengan lebar pita 200 Hz pada pusat frekuensi masing-masing frekuensi *tone* tersebut. Hal ini digunakan untuk membantu *decoder* dapat mendeteksi sinyal dari gangguan derau. *Bandpass filter* ini dibuat dengan mudah menggunakan *operation amplifier*. Jika dilihat sinyal setelah melewati *filter* tersebut, maka masing-masing sinyal *tone* dapat dipisah-pisah seperti terlihat pada Gambar 3-5. Selain untuk memisahkan sinyal, filter tersebut juga digunakan untuk menghilangkan pengaruh gangguan sinyal dengan frekuensi tinggi ( $f > 3200$  Hz) dan frekuensi lebih rendah ( $f < 800$  Hz). Kemudian sinyal-sinyal tersebut dideteksi dengan menggunakan IC *decoder tone*. IC yang dapat dipakai dalam hal ini adalah LM567, yaitu IC yang dibuat secara khusus untuk deteksi sinyal dengan frekuensi tertentu. Akan tetapi juga dapat membuat

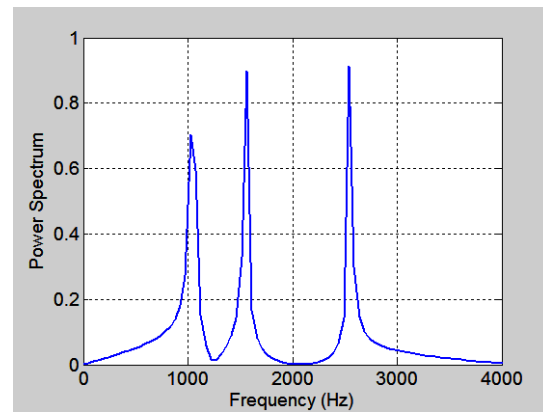
rangkaian deteksi sendiri dengan menggunakan komponen dasar elektronika, seperti kombinasi rangkaian *bandpass filter*, *peak-detector*, dan *comparator* sinyal.

Yang perlu diperhatikan dalam penentuan frekuensi sinyal-sinyal *tone* tersebut adalah 1) harus masuk pada lebar pita radio yang digunakan 2) masing-masing sinyal *tone* mudah dipisah-pisah dengan menggunakan *bandpass filter*, 3) frekuensi terkumpul pada bagian tertentu agar alokasi frekuensi yang lain dapat digunakan untuk komunikasi yang lain. Jika menggunakan radio komersial yang sudah ada, maka langkah-langkah di atas mengikuti kemampuan radio tersebut. Jika dapat merancang dan membuat radio sendiri, maka rancangan komunikasi FTS ini dapat diubah-ubah sesuai dengan spesifikasi radio.



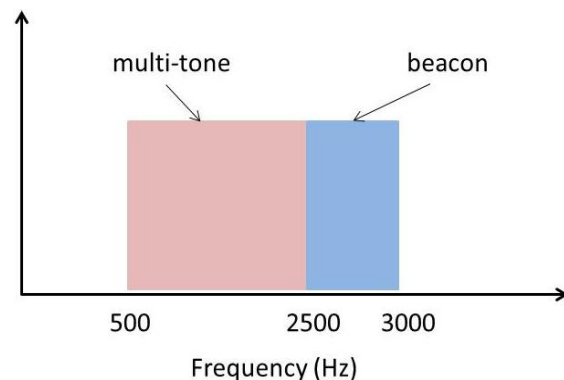
Gambar 3-5: Sinyal rekonstruksi tiga buah *tone* dengan menggunakan *bandpass filter*

Jika hitung spektrum frekuensi sinyal *multi-tone* di atas, maka dapat dilihat pada Gambar 3-6. Terlihat ada tiga buah komponen frekuensi yang menonjol sebanyak tiga buah. Masih ada ruang frekuensi pada nilai 3000 Hz untuk dimanfaatkan sebagai *beacon transponder* radar. Dalam hal ini radio dapat dimanfaatkan sebagai komunikasi FTS maupun untuk *transponder* radar secara bersama-sama.



Gambar 3-6: Spektrum sinyal *multi tone* untuk sistem telekomando FTS

Gambar 3-7 adalah gambar yang menunjukkan alokasi frekuensi bagian rendah untuk *multi-tone*, sedangkan frekuensi bagian tinggi untuk aplikasi *beacon tracking*. Jika lebar pita *sub-carrier* radio yang digunakan untuk aplikasi ini lebar, maka akan lebih mudah mengatur dan lebih banyak aplikasi yang dapat digunakan dengan hanya menggunakan satu buah radio saja. Dalam hal ini, rancangan *bandpass filter* memegang peranan yang penting untuk dapat membagi-bagi alokasi frekuensi yang digunakan agar sinyal-sinyal yang diterima dapat dipisah-pisah dengan baik dan dapat direkonstruksi kembali.

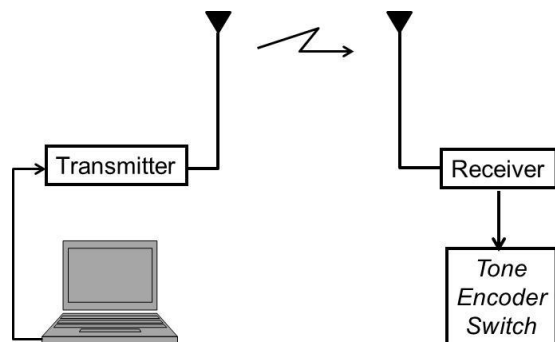


Gambar 3-7: Alokasi frekuensi untuk *multi-tone* dan untuk *beacon tracking*

### 3.2 Hasil Percobaan

Blok diagram percobaan adalah seperti pada Gambar 3-8, terdiri dari bagian pemancar dan bagian penerima. Prototipe ini hanya digunakan untuk percobaan komunikasi di laboratorium, bentuk dan kemasan akan sangat berbeda jika sudah harus dipasang di

muatan roket, karena harus mengikuti standar getaran dan hentakan yang akan terjadi di roket tersebut pada saat uji terbang.



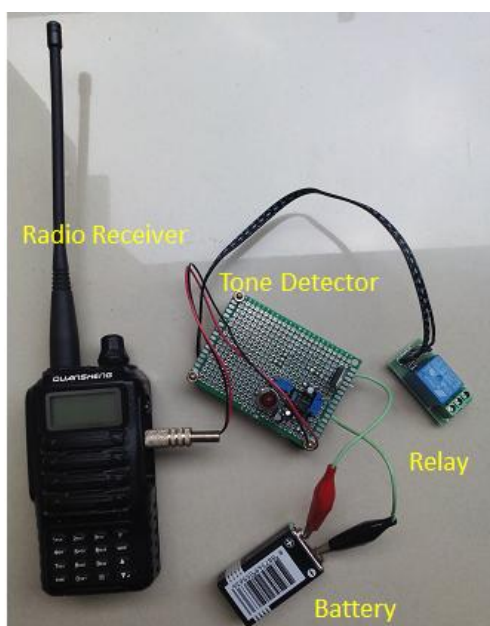
Gambar 3-8: Blok diagram percobaan *multi-tone detector* untuk sistem telekomando FTS

Percobaan ini masih dilakukan di laboratorium, akan tetapi juga dengan melakukan gangguan dengan sebuah radio dengan frekuensi yang agak berbeda serta dengan frekuensi yang sama, tetapi *power* radio untuk mengganggu lebih kecil (5 Watt). Hasil

percobaan menunjukkan sistem tidak terpengaruh karena *power* pemancar radio lebih tinggi hingga 10 kali lipat (50 Watt). Percobaan ini dimaksudkan untuk kondisi riil jika ada pemancar lain yang frekuensinya sama atau berdekatan. Pemancar sistem FTS harus sangat kuat (min 100 Watt) agar tidak terpengaruh gangguan spektrum disekelilingnya (Paul cook, 2014). Prototipe yang digunakan pada percobaan kali ini seperti terlihat pada Gambar 3-9. Prototipe ini terdiri dari pemancar radio, penerima radio, *multi-tone encoder*, *multi-tone decoder*, dan saklar analog. Sebagai pemancar menggunakan radio HT dan *multi-tone* dibangkitkan dengan menggunakan PC pada keluaran suara menggunakan *software* MATLAB. Disain parameter yang digunakan dapat dilihat lebih rinci pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: PARAMETER SISTEM CONTROL JARAK JAUH FTS

Parameter	Nilai
Frekuensi radio	400 – 470 MHz
Power Pemancar radio	50 Watt
<i>Bandwidth receiver</i> radio	12 KHz
<i>Bandwidth sub-carrier</i>	500 – 3000 Hz
Jumlah sinyal <i>tone</i>	3
Frekuensi <i>tone</i>	1050, 1550, dan 2550 Hz
Beda minimum frekuensi <i>tone</i>	500 Hz
<i>Bandwidth filter</i>	200 Hz
Detektor <i>tone</i>	LM567 ( <i>single tone</i> )



Gambar 3-9: Prototipe penerima *multi-tone detector* untuk sistem telekomando FTS roket

Realisasi algoritma MATLAB untuk membuat sinyal *multi-tone* sangat mudah dilakukan, dan dapat dilihat pada Gambar 3-10. Sampling frekuensi yang digunakan adalah 10 KHz, sehingga cukup baik kualitas sinyal yang diproduksi.

```

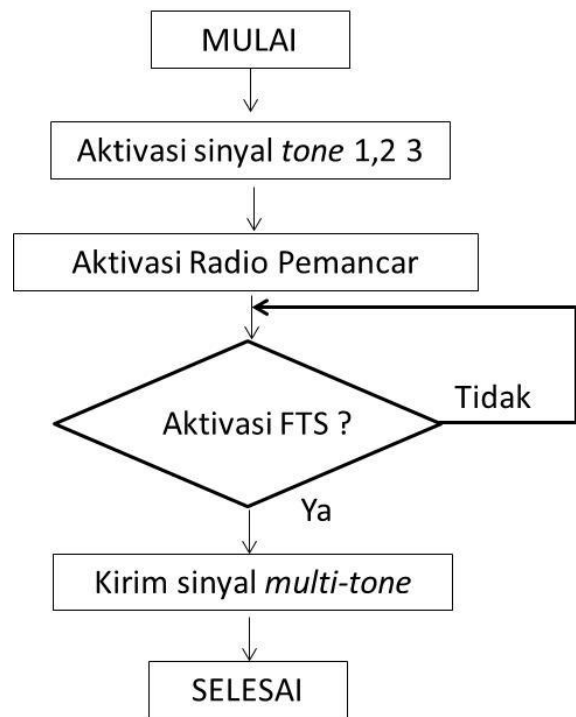
Fs = 10000; % sampling frekuensi
T = 0 : 1/Fs : 1; %Waktu
Tone1 = sin(2*pi*1050*T); % Tone1
Tone2 = sin(2*pi*1550*T); % Tone2
Tone3 = sin(2*pi*2550*T); % Tone3
Mtone = Tone1 + Tone2 + Tone 3; % Multi-Tone
for a = 1 : 100
sound(Mtone, Fs); 5 Sound
end

```

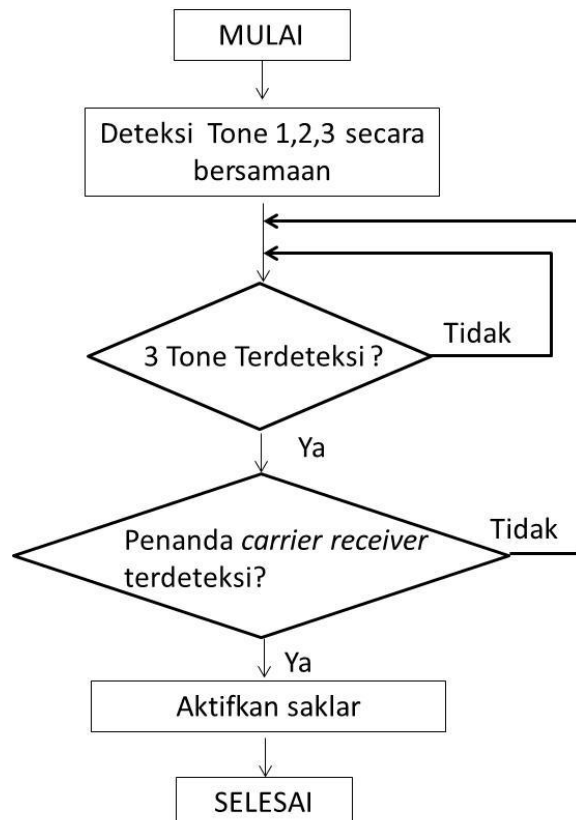
Gambar 3-10: Algoritma MATLAB untuk membuat sinyal *multi-tone* yang digunakan untuk percobaan

Sinyal yang dibuat dengan waktu 1 detik, kemudian sinyal tersebut dibunyikan selama 100 detik melalui *sound-card* pada PC dan dikoneksikan ke saluran suara pada radio untuk dipancarkan. Pada radio yang digunakan terdapat fungsi pengatifan secara otomatis, pada saat sinyal suara masuk melalui jalur *microphone* yang disebut *Voice Operated eXchange (VOX)*. Pancaran sinyal tersebut diterima dengan menggunakan radio dan disalurkan ke *tone detector* untuk mengaktifkan saklar.

Secara umum algoritma yang digunakan adalah seperti pada Gambar 3-11, mula-mula semua *power supply* untuk sistem diaktifkan, baik pada bagian pemancar maupun pada bagian penerima. Kemudian melakukan aktivasi pembangkit sinyal *tone* dan pemancar radio. Jika sudah siap, maka langkah berikutnya adalah penyalaan control jarak jauh dengan menggunakan tombol ON/OFF, jika akan melakukan aktivasi FTS, maka tombol ON diaktifkan, sehingga sinyal *tone* dipancarkan melalui radio. Sedangkan, algoritma untuk penerima adalah seperti terlihat pada Gambar 3-12.



Gambar 3-11: Algoritma aktivasi sistem FTS untuk wahana terbang



Gambar 3-12: Algoritma aktivasi sistem FTS untuk wahana terbang

Mula-mula mendeteksi ke tiga sinyal *tone*, jika ketinya dapat dideteksi, maka langkah berikutnya adalah



mendeteksi penanda pada *carrier* penerima radio, pada saat itu juga ada sinyal penanda, maka langkah berikutnya adalah mengaktifkan saklar untuk memicu sistem FTS pada wahana terbang tersebut. Penentuan logika tersebut dengan menggunakan IC CMOS dan dilakukan secara bersamaan untuk keempat *input* logika tersebut. Penanda radio ini digunakan untuk memastikan sinyal *tone* yang terdeteksi bermasalah dari penerima radio, bukan dari akibat derau sinyal yang terjadi, sehingga akan lebih handal.

Hasil percobaan masing-masing sinyal *tone* dapat berhasil dideteksi dengan menggunakan IC LM567. Percobaan ini telah dilakukan berulang-ulang (>100x) lebih dari untuk memastikan aktivasi berhasil. Dekoder ini dapat mendeteksi sinyal dengan frekuensi dari 0.01 Hz hingga 500 KHz, sehingga sangat cukup untuk digunakan pada aplikasi sistem ini. Pengaturan pusat frekuensi sinyal yang akan dideteksi dengan menggunakan *variable resistor* yang terbungkus pada IC tersebut. Saat berhasil mendeteksi sinyal *tone* tersebut, selain menghidupkan saklar juag ditandai dengan menghidupkan lampu LED. Selain deteksi *tone* tersebut, logika gerbang CMOS yang digunakan juga dihubungkan dengan penanda sinyal penerima dari radio, saklar akan hidup saat ada sinyal *tone* dan sinyal penanda penerima radio. Detail rangkaian elektronik untuk *detector tone* di atas dapat dilihat pada manual data yang dapat diunduh dari *website* produsen ([www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm567.pdf](http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm567.pdf), 2015).

Komunikasi sistem ini merupakan langkah awal untuk membangun sistem keamanan pada uji terbang roket yang semakin jauh jangkauannya. Sistem ini akan terintegrasi dengan sistem pemantau posisi roket secara *realtime* baik berbasis GPS telemetri maupun berbasis RADAR dan pelacak antenna (Wahyu Widada dkk, 2014). Penelitian lebih lanjut untuk kombinasi sistem

FTS dan sistem pelacak posisi tersebut perlu dilakukan baik dilaboratorium maupun pada uji peluncuran roket, agar diperoleh sistem yang handal.

Kecepatan roket dapat mencapai sekitar 3.5 Mach (1190 m/sec), pada saat itu radio dengan frekuensi 470 MHz akan mengalami efek Doppler sekitar 1.8 KHz (Wahyu Widada, 2013). Radio yang digunakan untuk *prototipe* percobaan mempunyai lebar pita 12 KHz untuk pilihan FM dan lebar pita 130 KHz untuk pilihan *Wide Frequency Modulation* (WFM). Jika frekuensi alokasi *sub-carrier* adalah 3 KHz ditambah dengan frekuensi Doppler 1.8 KHz, maka total frekuensi menjadi 4.8 KHz, hal ini masih cukup masuk pada lebar pita yang minimal 12 KHz, sehingga efek *Doppler* masih belum berpengaruh. Jika kita memilih frekuensi radio yang lebih tinggi, maka efek Doppler harus diperhatikan untuk kehandalan komunikasi FTS ini.

#### 4 KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dikembangkan sistem komunikasi untuk aktivasi sistem FTS dengan menggunakan aktivasi tiga buah sinyal *tone* dan sinyal penanda *carrier* radio. Aktivasi saklar dengan menggunakan logika CMOS yang menggunakan tiga buah *tone* dan sinyal *carrier* tersebut. Hasil simulasi menunjukkan beda frekuensi antara sinyal *tone* yang optimal adalah 500 KHz, pada lebar pita radio 3000 Hz. Prototipe telah dibuat dengan menggunakan IC LM567 untuk deteksi *tone* dengan menggunakan radio pada pita VHF. Hasil yang diperoleh menunjukkan rancangan sistem komunikasi ini telah berhasil diujicoba dengan baik untuk menghidupkan saklar analog yang digunakan untuk mengaktifasi sistem FTS. Sistem ini juga dapat digunakan untuk mengontrol saklar dengan jumlah lebih dari satu dengan menggunakan kombinasi sinyal pada frekuensi *tone* untuk telekomando wahana terbang. Kelanjutan dari penelitian dapat dilanjutkan dengan merancang desain

*Printed Circuit Board* (PCB), dan melakukan pengujian untuk aplikasi roket atau wahana terbang lainnya.

Pada percobaan pada sistem ini menggunakan spektrum frekuensi yang digunakan adalah pita radio amateur, maka hal tersebut sangat riskan gangguan. Mengingat sifat strategisnya masalah FTS maka disarankan agar pemerintah kedepan dapat disediakan frekuensi khusus serta *power* pemancar harus sangat kuat (> 100 Watt) dan antena tipe pengarah agar tidak terpengaruh gangguan frekuensi. Untuk hal tersebut diharapkan pihak Lapan dapat mendaftarkan ke ITU untuk mendapatkan frekuensi khusus tersebut, serta membuat radio dengan frekuensi khusus yang tidak pada frekuensi radio komersial.

#### **Ucapan Terimakasih**

Saya ucapkan terimakasih kepada Pustekroket yang telah memfasilitasi, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

#### **DAFTAR RUJUKAN**

- Anthony Cirineo, 1997. *Tone Generator and Transmitter Card for use in a Flight Line Test Set*, US5982167A 22 December.
- Anthony Cirineo, 1999. *Tone Generator and Transmitter Card for use in a Flight Line Test Set*, US 5982167 A, Nov 9.
- David Bruce Franz, 1977. *Timed Missile Flight Termination System*, US Patent 4007688 A, 15 Feb.
- Garret Mccabe, 2012. *Improving the Wireless Link Reliability of a Flight*

*Termination System*, Master Thesis Florida State University.

<http://www.kratosepd.com/~media/ep/datasheets/kratos-lancaster%20flight%20termination%20systems/hftr120-2.pdf> (16 November 2014).

<http://www.mtcr.info/english/> (20 Oktober 2014).

[http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo\\_Link\\_Budget\\_Whitepaper.pdf](http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_Link_Budget_Whitepaper.pdf). (16 November 2014).

Javier Velez, 2012. *Aerodynamic flight Termination System and Method*, US Patent 20120048993 A1, Mar 1.

Paul cook, 2014. *Telemetry Re-Radiation System*", Lockheed Martin Aeronautics Co, Marietta, GA USA.

Wahyu Widada dkk, 2014. *Integrasi Komunikasi Sistem Terminasi Penerbangan dan Pengukuran Jarak Wahana Terbang Menggunakan Transponder Radio*, Paten Indonesia dalam proses.

Wahyu Widada, 2013. *Metode Doppler Radio untuk Mengukur Kecepatan Roket RX200*, Jurnal Teknologi Dirgantara.

Weber, William L., *Dual Shaped Charge Separation System*, United States Patent 3185090.

[www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm567.pdf](http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm567.pdf) (25 Oktober 2015).

Yukinaga Koike, *Difference Between Wide Band and Narrow Band Radio Module*, TECHNICAL INFORMATION, Circuit Design Inc 7557-1 Hotaka Hotakamachi Minamiazumi Nagano 399-8303 Japan.