

METODA TDOA-RADAR SEKUNDER ROKET LAPAN MENGUNAKAN LINEAR FM CHIRP SIGNAL

Wahyu Widada¹⁾, Sri Kliwati²⁾

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Raya LAPAN Rumpin, Bogor Indonesia

e-mail : ¹⁾w_widada@yahoo.com, ²⁾sri_kliwati@yahoo.com

Abstrak

LAPAN sedang mengembangkan RADAR tipe sekunder untuk sistem navigasi dan tracking roket. Tulisan ini membahas aplikasi linier FM chirp signal sebagai sub-carrier untuk deteksi perbedaan waktu antara signal yang dikirim dengan signal yang dipantulkan oleh transponder (TDOA Time-Different of Arrival). Frekuensi awal dan akhir signal FM disesuaikan dengan jarak maksimum roket yang akan dideteksi. Pemrosesan signal RADAR ini berbasis FFT (Fast Fourier Transform) dan peak detektor untuk menentukan delaynya. Hasil simulasi menunjukkan penggunaan signal sub-carrier ini dapat digunakan untuk deteksi delay waktu dengan akurat dan pemrosesan signalnya relatif mudah.

Kata kunci: Chirp signal, Fast Fourier Transform, TDOA, RADAR Sekunder.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan RADAR sekunder dilakukan untuk deteksi jarak (*slant-range*) roket saat meluncur dengan stasiun penerima. Jika ada tiga koordinat stasiun penerima, maka koordinat roket tersebut dapat dihitung perubahannya dalam 3 dimensi. Prinsip ini sama dengan GPS (*Global Position System*), hanya terbalik pada perhitungannya. Pada pengembangan sebelumnya telah menggunakan signal pulsa dengan frekuensi repetition tertentu. Metoda lain yang dapat digunakan adalah dengan memodifikasi signal yang dikirim untuk proses TDOA (*Time-Different of Arrival*). Signal yang memungkinkan untuk digunakan sebagai sub-carrier adalah signal dengan modulasi frekuensi secara linier. Pada waktu yang sama, maka antara signal yang dikirim dan yang diterima akan berbeda frekuensinya. Perbedaan tersebut dapat digunakan untuk deteksi delay waktu.

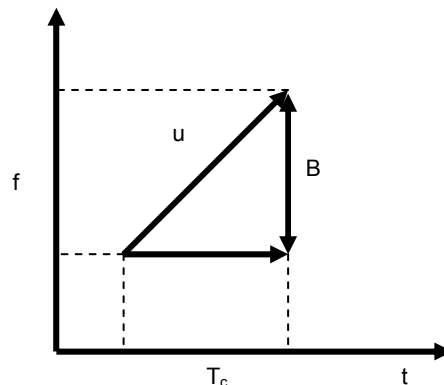
Tulisan ini membahas RADAR sekunder untuk navigasi roket dengan menggunakan metode baru yaitu *Linear Frequency Modulated* (LFM) untuk penentuan delay waktu (TDOA). Signal LFM adalah chirp signal dengan perubahan frekuensi yang dikontrol secara linier. Perubahan frekuensi dihitung dengan algoritma FFT kemudian dengan perbandingan kecepatan perubahan frekuensi, jarak antara roket dengan stasiun penerima dapat dihitung secara akurat. Metoda ini sangat handal terhadap random noise, karena dihitung pada domain frekuensi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TDOA Berbasis LFM Signal

Jika kita menggunakan signal LFM dengan frekuensi f_0 dan bertambah secara linear sampai f_1 secara berulang-ulang, maka perubahan frekuensi ini dapat digunakan untuk menghitung delay waktu tibanya. Perubahan frekuensi berdasarkan waktu (LMF) ditulis sebagai berikut:

$$f_t = f_0 + \mu t \quad (1) \text{ Disini } \mu \text{ adalah chirp rate atau kecepatan perubahan frekuensi.}$$



Gambar1. Time-frequency feature of an LFM.

Kecepatan perubahan frekuensi ini dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\mu = \frac{B}{T_c}$$

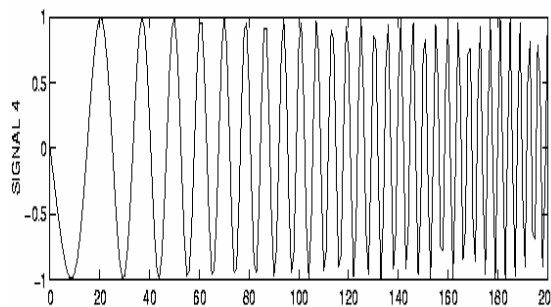
(2) Disini B adalah range frekuensi signal dan T_c adalah waktu yang

digunakan untuk merubah frekuensi tersebut. Oleh karena itu dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), signal yang dikirim dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(t) = \cos 2\pi \left\{ f_0 t + \frac{B}{T_c} t^2 \right\}$$

(3) Gambar 1 menunjukkan ilustrasi signal LFM dan gambar 2

adalah contoh signal LFM. Pada durasi T_c , signal akan bertambah frekuensinya secara linear. Ilustrasi pertambahannya seperti pada gambar 1 tersebut. Dengan menggunakan mixer, maka signal ini dapat dikombinasikan dengan signal carrier radio frekuensi. Desain dan prototipe hardware chirp signal generator ini kan ditulis secara lebih detail pada paper tersendiri.



Gambar 2. Contoh signal chirp dalam domain waktu.

Untuk menentukan TDOA, maka masing-masing signal perlu dilakukan perhitungan spektrum pada waktu tertentu yang sama. Ilustrasi hasil perhitungannya adalah seperti pada gambar 3 dibawah. Dari gambar di atas ΔT adalah delay waktu yang dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\Delta T = \frac{2R}{C}$$

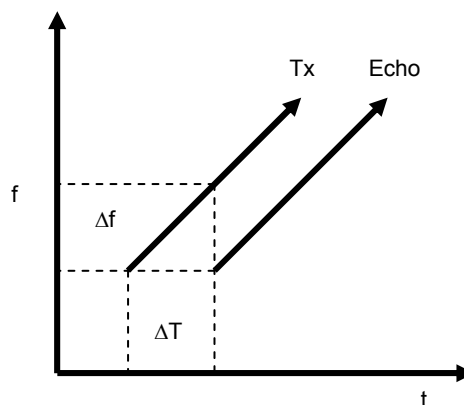
(4) Disini C adalah kecepatan radio, dan R adalah jarak target

(transponder roket). Hubungan perbedaan frekuensi dan delay waktu dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta f = \mu \Delta T$$

(5) Dengan menggunakan persamaan (1) sampai dengan (5)

maka dapat kita hitung jarak antara transponder dan stasiun penerima. Untuk memperoleh perbedaan frekuensi pada waktu tertentu perlu diaplikasikan algoritma FFT dengan *windowing* (short time FFT).



Gambar3. Ilustrasi frekuensi signal yang dikirim dan yang diterima.

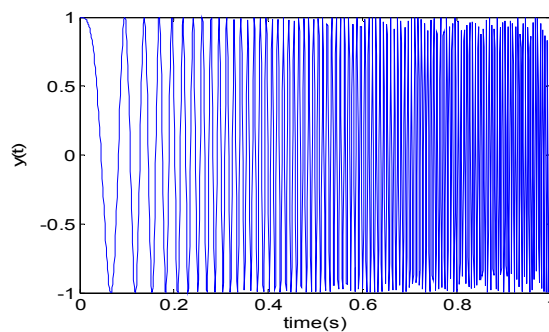
2.2. Simulasi dan Analisa TDOA

Simulasi berikut ini untuk menghitung TDOA berbasis LMF yang digunakan sebagai sub-carrier pada RADAR sekunder. Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ini dapat dirangkum pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter simulasi TDOA-RADAR.

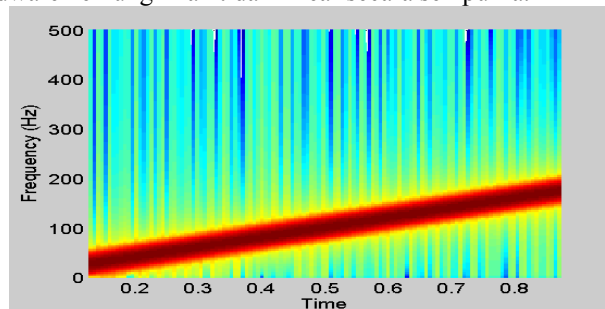
Parameter	Value
f_0	1 Hz
f_c	200 Hz
B	200 Hz
T_c	0.1 sec
Amplitudo	1 Volt

Lebar frekuensi adalah 200 Hz dan waktu perubahan adalah 0.1 detik, sehingga dari parameter tersebut kecepatan perubahan frekuensi adalah 2000 Hz/sec. Dengan menggunakan persamaan (3) maka signal chirp yang dihasilkan adalah seperti pada gambar 4 di bawah. Terlihat signal sinusoidal dengan perubahan frekuensi hingga 200 Hz dengan kecepatan 2 kHz per detik. Signal ini dikombinasikan dengan carrier signal pada transmitter RADAR secara periodik dan berulang-ulang secara kontinu. Amplitudo signal ini adalah 1 Volt *peak-to-peak* sesuai dengan maksimum signal video agar juga dapat diaplikasikan pada TV transmitter. Percobaan TDOA chirp signal ini juga dapat menggunakan TV transmitter dan receiver.



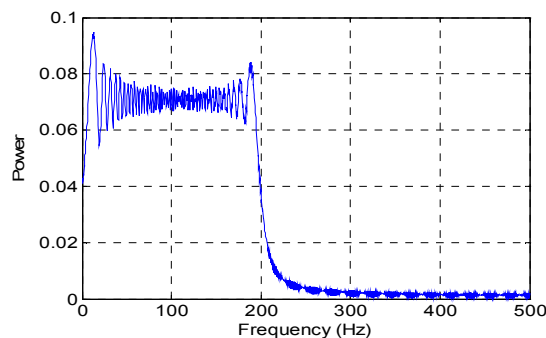
Gambar 4 Signal LFM chirp.

Berbasis SFFT (Short Fast Fourier Transform), maka spektrogram signal pada gambar 4 dapat digambar seperti pada gambar 5. Terlihat adanya perubahan frekuensi dari sekitar nol hingga 200 Hz. Perubahan tersebut sesuai dengan persamaan (1) secara linear. Pada gambar tersebut perubahan frekuensi secara ideal berubah linear, akan tetapi implementasi pada hardware kemungkinan tidak linear secara sempurna.



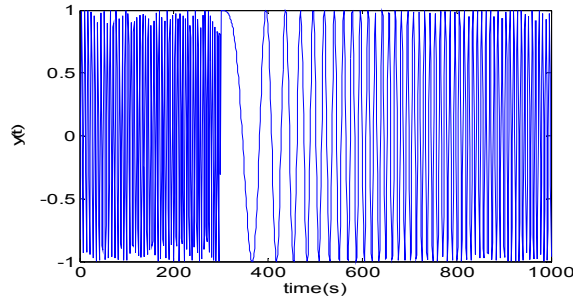
Gambar 5. Spektrogram signal chirp.

Perubahan yang kurang sempurna dan adanya tambahan noise dapat dikurangi dengan bandpass filter. Lookup table antara frekuensi dan kecepatan perubahan juga dapat digunakan untuk menambah akurasi perhitungan TDOA dengan interpolasi kedua parameter tersebut.



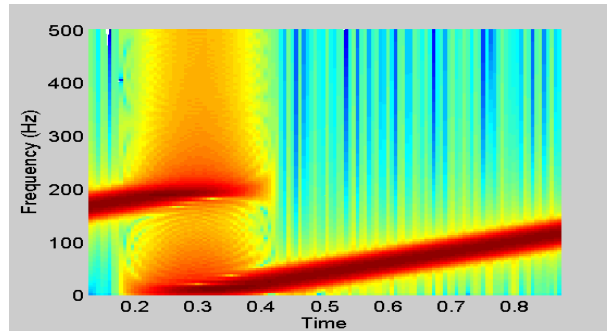
Gambar 6 Frekuensi spektrum signal chirp.

Spektrum frekuensi signal pada gambar 4 secara detail dapat dilihat pada gambar 6. Power spektrum sedikit mengalami osilasi dari 0 sampai dengan 200 Hz. Kemudian, jika mengalami delay waktu tertentu, maka signal yang dipantulkan bergeser ke sebelah kanan. Gambar 7 menunjukkan signal yang telah bergeser sebesar 0-3 detik.



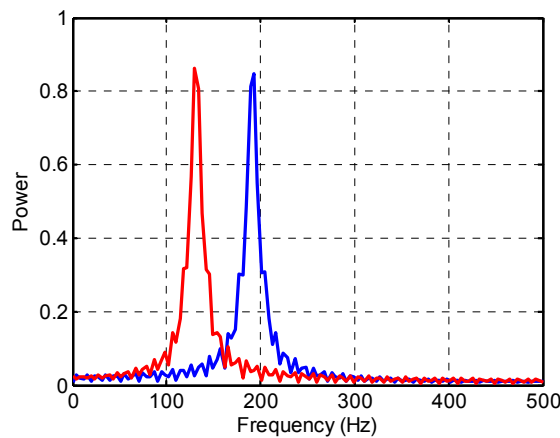
Gambar 7 Signal RADAR dengan delay waktu 0.03 detik.

Jika diubah menjadi jarak, maka pegerasan signal tersebut telah menempuh jarak bolak-balik sebesar $0.03 \times 3 \times 10^8$ meter. Spectrogram signal tersebut dapat dilihat pada gambar 8. Pada bagian kanan, frekuensi sedikit bergeser ke bawah, sebaliknya pada bagian kiri bergeser ke atas.



Gambar 8 Gambar spektrogram signal yang dipantulkan.

Untuk menghitung delay waktu, maka dapat dipilih pada bagian paling kanan signal untuk dihitung perbedaan frekuensi antara signal yang dikirim dan yang dipantulkan. Dengan menggunakan algoritma FFT, maka kedua signal tersebut dapat digambar seperti pada gambar 9. Terlihat ada 2 buah peak signal yang lokasinya berbeda. Dengan menggunakan peak detektor maka perbedaan frekuensi tersebut dapat dihitung dengan akurat.



Gambar 9 Gambar spektrum frekuensi signal yang dikirim dan yang dipantulkan pada saat 0.03 detik terakhir.

Hasil perhitungan menunjukkan perbedaan frekuensi sekitar 70 Hz. Sehingga, dengan menggunakan persamaan (5) delay waktu adalah $70/200$ detik. Dari hasil simulasi di atas maka signal chirp yang dimodulasi secara linear ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan TDOA pada sistem RADAR sekunder. Signal dapat ditransmit secara kontinyu dan akan tahan terhadap gangguan noise karena dihitung pada domain frekuensi.

4. KESIMPULAN

Signal linier FM chirp telah dibahas untuk aplikasi perhitungan TDOA pada sistem RADAR sekunder. Dengan algoritma *short* FFT pada tempat/waktu yang sama, maka perbedaan frekuensi antara signal terkirim dan signal yang dipantulkan dapat dihitung untuk menentukan delay waktu dan jarak roket. Lokasi peak ditentukan dengan algoritma peak detektor. Hasil analisa menunjukkan signal LFM chirp dapat diaplikasikan untuk sistem RADAR sekunder sebagai sistem tracking peluncuran roket LAPAN.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Donald F. Breslin, "*ADAPTIVE ANTENNA ARRAYS APPLIED TO POSITION LOCATION*", Master Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University.
2. Robert J. Purdy *etal*, 2000 "*Radar Signal Processing*", LINCOLN LABORATORY JOURNAL VOLUME 12, NUMBER 2
3. Wahyu Widada dan Sri Kliwati, 2008, "*Desain Sistem Passive RADAR Radio UHF Untuk Aplikasi Uji Terbang Raket*", Posiding SITIA ITS-Surabaya.
4. Wahyu Widada dkk, "*Metoda Kalibrasi TDOA Untuk Sistem Passive RADAR Trayektori Raket*", IES ITS 2008 Surabaya.
5. Wahyu Widada, Sri Kliwati, 2008, "*Frequency-Domain TDOA Estimation Of Passive RADAR For Rocket Flight Test*", Prosiding Seminar Nasional Fisika ITB Bandung.
6. Wahyu Widada, 1994, "*Rancangbangun Robot Pencari Asal Arah Suara Berbasis Jaringan Saraf Tiruan*", Thesis Sarjana Engineering Waseda University, Tokyo JAPAN