

ALGORITMA TDOA UNTUK PENGUKUR JARAK ROKET MENGGUNAKAN TEKNOLOGI UHF

Haris Setyawan^{1*}, Wahyu Widada²

¹ Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto Kasihan Bantul DI Yogyakarta 55183
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jakarta, Indonesia

*Email: haris.setyawan@umy.ac.id

Abstrak

Penelitian ini adalah untuk mengembangkan algoritma TDOA (*Time Difference of Arrival*) untuk penentuan jarak roket berdasar pada korelasi waktu dan korelasi frekuensi. Algoritma TDOA ini dikembangkan karena penentuan jarak roket selama ini masih mengandalkan teknologi satelit (menggunakan GPS). Ketergantungan pada satelit sangat rentan dengan aspek keamanan karena teknologinya masih dikuasai negara lain. Algoritma ini dikembangkan agar pengukuran jarak roket dapat memanfaatkan teknologi radio UHF. Radio transponder diletakkan di sisi roket dan perangkat radar sekunder ada di sisi stasiun pengamat. Ada satu masalah yang harus diatasi terlebih dahulu yaitu akurasi penggunaan algoritma TDOA karena timbulnya distorsi sinyal yang diterima pada radar sekunder. Algoritma TDOA digunakan untuk menghitung jarak roket. Simulasi yang telah dilakukan untuk sinyal bersuara dan sinyal dengan gangguan acak. Simulasi dilakukan dua kali, pertama tanpa menggunakan filter dan yang kedua disimulasikan dengan bandpass filter. Percobaan menggunakan Rocket RX100 untuk memperoleh rekaman sinyal yang diterima pada radar sekunder. Sinyal yang terekam digunakan untuk simulasi guna mengetahui pengaruh frekuensi sub pembawa 2.500 Hz, 5.000 Hz, 10.000 Hz dan 12.500 Hz pada distorsi sinyal radar sekunder. Percobaan dengan gangguan acak masih menunjukkan sinyal dapat dibaca dengan kesalahan pengukuran kurang dari 5% dengan SNR = 0,1667 untuk waktu berdasarkan algoritma TDOA, dan SNR = 0,2 untuk frekuensi berdasar algoritma TDOA. Setelah melewati filter bandpass kesalahan turun hingga kurang dari 1% dengan SNR 0,25 baik untuk waktu berdasarkan algoritma TDOA, dan untuk frekuensi berdasar algoritma TDOA. Sub pembawa dengan frekuensi yang lebih tinggi menunjukkan kesalahan yang lebih rendah, kesalahan kurang dari 5% terjadi pada frekuensi sub-carrier 12.500 Hz.

Kata kunci: Band pass filter, SNR, TDOA

PENDAHULUAN

LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) telah mengembangkan tipe roket dengan daya jangkau yang jauh dengan tipe RX320, RX420, dan RX530. Untuk mengetahui performa roket tipe jarak jauh tersebut, maka diperlukan sistem RADAR untuk prediksi posisi pada saat meluncur. LAPAN telah mengembangkan sistem passive RADAR dengan menggunakan radio UHF. Simulasi dan analisa sistem serta desain telah dilakukan, sehingga menghasilkan prototype desain dan hasil optimalisasinya. Pengembangan RADAR tipe aktif memerlukan komponen elektronik yang tidak mudah didapat. Sehingga, untuk mengembangkan perangkat menggunakan tipe pasif lebih reliabel. Pada muatan roket dipasang transponder (RADAR signal) dan di stasiun pengamat dilengkapi sistem penerima (Wahyu dan Sri, 2007).

Cara ini sangat tergantung pada kualitas sinyal yang diterima di stasiun pengamat karena menggunakan jalur frekuensi UHF. Guna meningkatkan akurasi pemrosesan sinyal, maka perlu dikembangkan algoritma yang dapat meningkatkan performanya (Wahyu, 2008), salah satunya menggunakan *Time Difference of Arrival* atau TDOA (Knapp and Carter, 1976). Algoritma TDOA dapat digunakan untuk mengukur jarak roket. Dua masalah yang penting untuk diatasi adalah timbulnya distorsi sinyal pada sisi radar sekunder (Purdy, 2000) pengaruh penggunaan filter, dan pengaruh frekuensi sub carrier. Pada penelitian ini dilakukan simulasi sinyal penerimaan menggunakan algoritma TDOA untuk sinyal penerimaan tanpa noise, dengan noise, dan penggunaan filter untuk berbagai frekuensi sub carrier.

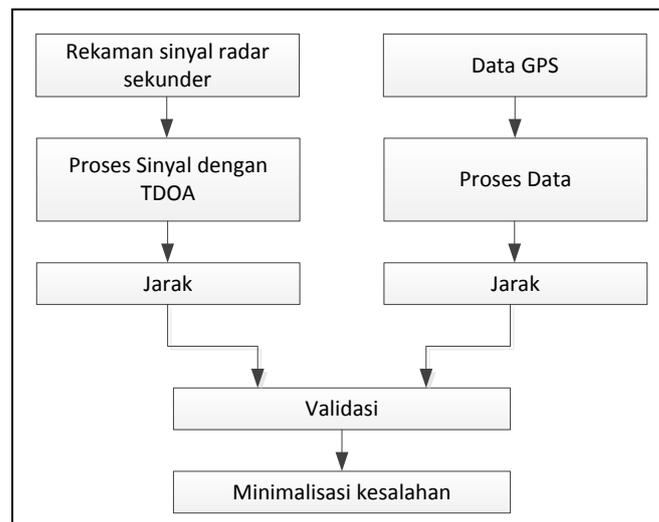
METODOLOGI

Bahan penelitian yang digunakan adalah data sinyal radar sekunder dari prototipe yang telah dikembangkan oleh LAPAN. Terdiri dari sinyal referensi dan sinyal yang diterima pada jarak tertentu. Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Roket yang dilengkapi dengan modul transponder
2. Sepuluh stasiun pengamat yang dilengkapi dengan radar sekunder berikut alat rekamnya.
3. Rekaman data *GPS* (*Global Position System*) hasil peluncuran
4. Rekaman sinyal *RADAR* sekunder hasil peluncuran
5. Satu unit *PC* yang terinstal program *MATLAB* untuk simulasi perhitungan jarak dengan algoritma *TDOA*.

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan percobaan perhitungan jarak roket dengan stasiun pengamatan. Pertama menggunakan bantuan matlab dilakukan simulasi perhitungan jarak dengan algoritma *TDOA* berbasis waktu dan berbasis frekuensi. Simulasi dilakukan dengan berbagai frekuensi sub carrier, penambahan sinyal noise, dan penggunaan Band Pass Filter. Setelah itu, dengan menggunakan prototipe radar sekunder dilakukan percobaan untuk memperoleh data sinyal dan data jarak dari alat *GPS*. Algoritma *TDOA* digunakan untuk mengolah sinyal radar tersebut menjadi informasi jarak yang kemudian divalidasi dengan data *GPS* untuk memperoleh informasi kesalahan. Kalibrasi sangat diperlukan dalam pengembangan prototype sistem radar sekunder baik menggunakan tinjauan teoritis maupun dengan memanfaatkan teknologi. Untuk sistem pengukur jarak jangkauan yang jauh, maka *GPS* sangat tepat digunakan sebagai pembanding.

Skema pengambilan data untuk perbandingan data jarak antara *GPS* dan radar sekunder adalah sebagai berikut: mula-mula ditentukan titik awal yang digunakan sebagai titik referensi. Pada saat peluncuran roket, maka titik referensi adalah titik luncur (launching point). Koordinat titik awal diambil dari data *GPS* (latitude, longitude) kemudian diambil beberapa titik saat transponder menjauh dan digunakan sebagai titik sampling atau titik ukur. Data posisi menurut *GPS* pada setiap titik sampling tersebut diambil dan dicatat pada saat yang bersamaan sinyal-sinyal yang ditangkap pada stasiun pemantau direkam. Urutan simulasi pengukuran jarak roket menggunakan *TDOA* tampak seperti pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Alur proses penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Sinyal Radar Tanpa Noise

Rancangan prototipe Radar sekunder di LAPAN menggunakan *ADC* yang memiliki frekuensi sampling 275 KHz, sehingga pada simulasi ini menggunakan frekuensi sampling tersebut. Pergeseran tiap poin sinyal dapat dihitung sama dengan satu per frekuensi sampling kali

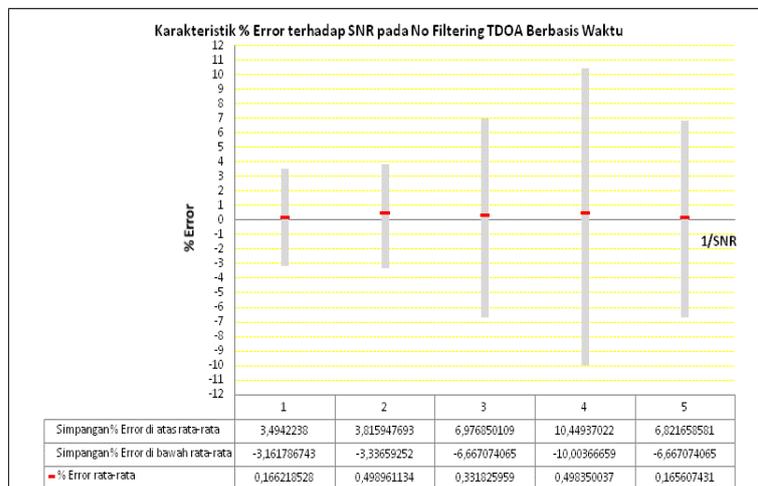
kecepatan gelombang dibagi dua = 545,4545 meter. Sinyal radar sekunder yang digunakan berupa sinusoidal dengan frekuensi 3 kHz (*continuous wave radar signal*)

Tabel 1. Hasil Perhitungan dengan TDOA berbasis waktu dan berbasis frekuensi.

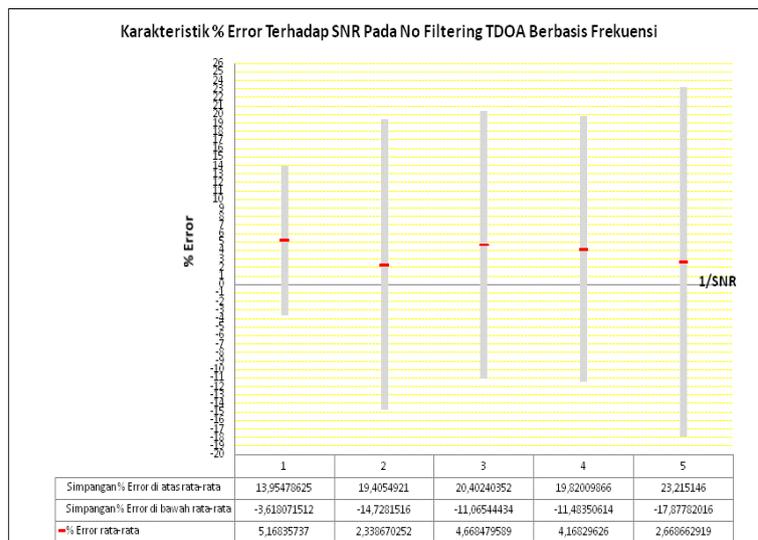
No	Jarak menurut GPS (m)	Perhitungan jarak dengan TDOA			
		berbasis waktu (m)	Pergeseran Jarak (m)	Berbasis frekuensi (m)	Pergeseran Jarak (m)
1	5.455	4.909,10	545,45	4.364,60	1.089,95
2	10.909	10.364	545,09	9.272,70	1.636,39
3	16.364	15.818	545,64	14.727	1.637
4	21.818	21.273	545,18	20.182	1.636
5	27.273	26.727	545,73	25.636	1.637

Simulasi Sinyal Radar Dengan Noise

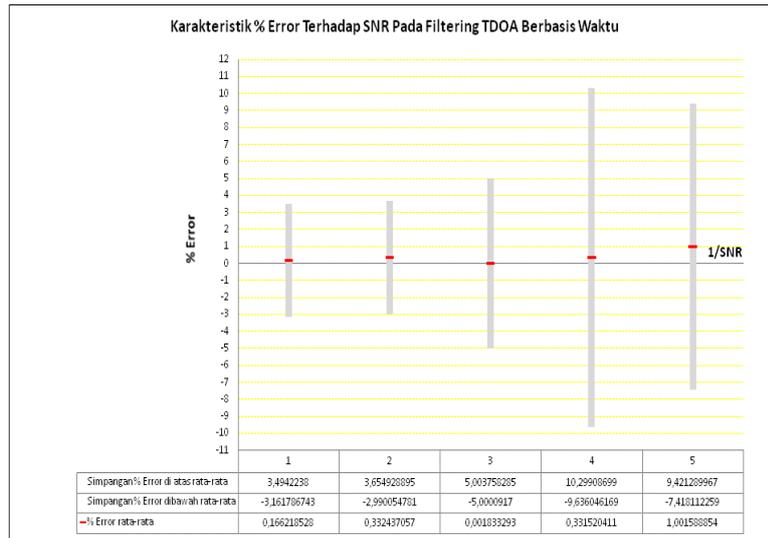
Simulasi kedua dilakukan untuk melihat pengaruh *random noise* pada sinyal yang diterima kembali (*echo*) terhadap algoritma berbasis waktu dan berbasis frekuensi. Pengujian dengan *random noise* dilakukan sebanyak 100 kali untuk berbagai nilai *SNR*.



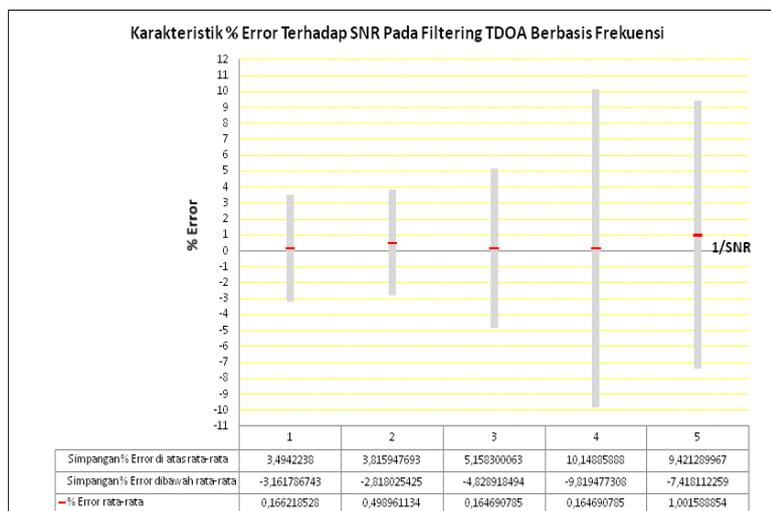
Gambar 2. Karakteristik % Error terhadap SNR pada perhitungan jarak dengan TDOA berbasis waktu.



Gambar 3. Karakteristik % Error terhadap SNR pada perhitungan jarak dengan TDOA berbasis frekuensi tanpa bandpass filter.



Gambar 4. Karakteristik % Error terhadap SNR pada perhitungan jarak dengan TDOA berbasis waktu dengan bandpass filter.



Gambar 5. Karakteristik % Error terhadap SNR pada perhitungan jarak dengan TDOA berbasis frekuensi dengan bandpass filter.

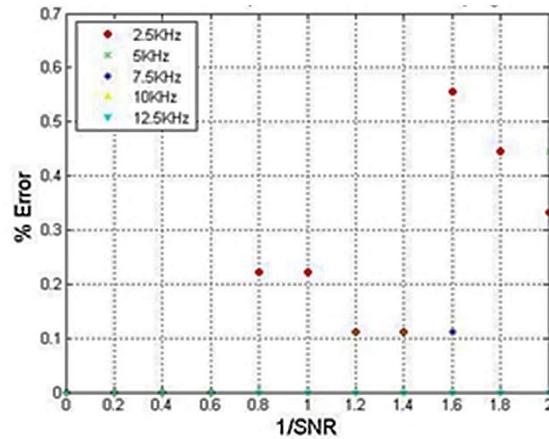
Dari simulasi terlihat bahwa perhitungan jarak dengan menggunakan algoritma berbasis waktu mempunyai akurasi yang lebih baik dibanding algoritma berbasis frekuensi. Dengan selisih kurang dari 1% sampai dengan $SNR=0,1667$ untuk algoritma berbasis waktu dan selisih kurang dari 5% dengan $SNR=0,2$ untuk algoritma berbasis frekuensi.

Setelah dilakukan *bandpass filtering* terhadap sinyal yang telah tercampur random noise, maka sampai dengan $SNR=0,25$ untuk kedua algoritma sinyal masih bisa terbaca dan pengukuran jarak hanya memiliki selisih kurang dari 1%, tetapi rata-rata kesalahan perhitungan dengan algoritma TDOA berbasis waktu lebih kecil. Sedangkan jika dilihat nilai simpangan terhadap nilai jarak sesungguhnya, maka sampai dengan $SNR=0,33$ simpangannya dibawah 5%. Sehingga pada pengembangan perangkat keras nantinya perlu ditambahkan *bandpass filter*.

Pengaruh Frekuensi Sampling dan Frekuensi Sub Carrier

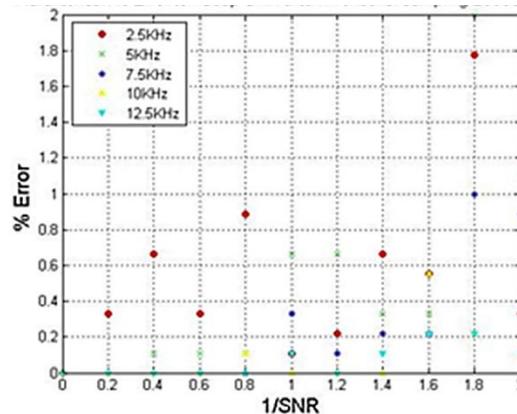
Dilakukan percobaan untuk mengamati pengaruh frekuensi sampling dan frekuensi sub carrier terhadap akurasi pengukuran jarak. Frekuensi sampling yang digunakan adalah 250 KHz, 500 KHz, 750 KHz, 1MHz, 1,25 MHz, 1,5 MHz, 1,75 MHz, dan 2 MHz. Sedangkan frekuensi

sub carrier yang digunakan adalah 2,5 KHz, 5 KHz, 7,5 KHz, 10 KHz, dan 12,5 KHz. (Gambar 6 dan Gambar 7).



Gambar 6. Karakteristik %Error terhadap SNR untuk frekuensi sampling 250 KHz dengan berbagai frekuensi sub carrier.

Terlihat bahwa jika frekuensi sub carrier semakin besar maka prosentase kesalahan menjadi cenderung lebih kecil atau pengukuran jarak semakin akurat, baik dihitung dengan algoritma *TDOA* berbasis waktu maupun algoritma *TDOA* berbasis frekuensi. Sedangkan pengaruh frekuensi sampling adalah bahwa semakin besar frekuensi sampling yang digunakan maka ketelitian pengukuran akan semakin tinggi.



Gambar 7. Karakteristik Error terhadap SNR pada frekuensi sampling 2 MHz dengan berbagai frekuensi sub carrier.

KESIMPULAN

Dari percobaan dan simulasi menggunakan MATLAB untuk mengetahui penggunaan Algoritma *TDOA* pada perhitungan jarak roket menggunakan berbagai frekuensi sub carrier dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perhitungan jarak dengan menggunakan algoritma berbasis waktu mempunyai akurasi yang lebih baik dibanding algoritma berbasis frekuensi.
2. Penggunaan band pass filter dapat memperkecil kesalahan pengukuran hingga 5% pada kondisi $SNR=0.33$.
3. Semakin besar frekuensi sub carrier yang digunakan, maka kesalahan pengukuran jarak semakin kecil hingga kurang dari 5% pada frekuensi sub carrier 12.500 Hertz.

DAFTAR PUSTAKA

- C. H. Knapp, G. C. Carter, 1976, The generalized correlation method for estimation of time delay, *IEEE Trans.ASSP*, Vol. 24 No. 4, pp. 320-327
- Wahyu W., Sri K., 2007, Metoda Kalibrasi Time Different Of Arrival TDOA Untuk Sistem Passive RADAR Trayektori Roket, *Jurnal Teknologi Dirgantara*, Edisi Desember.
- Wahyu W., 2008, Desain Sistem Passive RADAR Radio UHF Untuk Aplikasi Uji Terbang Roket, *Seminar Nasional SITIA ITS 2008*, Surabaya.
- R.J. Purdy, 2000, Radar Signal Processing, *Lincoln Laboratory Journal*, Vol. 12. No. 2