

METODE KALIBRASI *TIME DIFFERENT OF ARRIVAL* TDOA UNTUK SISTEM *PASSIVE* RADAR TRAYEKTORI ROKET

Wahyu Widada, Sri Kliwati
Peneliti Bidang Telekomunikasi dan Muatan Roket. LAPAN
E-mail: w_widada@yahoo.com, srikliwati@plasa.com

ABSTRACT

Design passive ranging based on radio with *Time Different of Arrival* TDOA (passive RADAR) have been developed for the application of tracking rocket trajectory. Calibration of the passive RADAR can be done in launching site for obtaining optimal position, however it is also required to be done in laboratory for testing the system algorithm. This article describes the calibration method of time delay calculation in laboratory using antenna cable with various lengths. We obtain accurate correlation results between time delay from measurement of oscilloscope and calculation TDOA with *cross-correlation* method. This method is practical and effective for calibration system in the development of passive RADAR.

Keywords : *TDOA, Passive RADAR, Trajectory rocket, Calibration method, Cross-correlation*

ABSTRAK

Disain *passive ranging* berbasis radio dengan metode *Time Different of Arrival* (TDOA) telah dikembangkan untuk aplikasi *tracking* trayektori roket. Untuk melakukan kalibrasi *passive* RADAR ini dapat dilakukan di tempat peluncuran untuk memperoleh posisi yang optimal, akan tetapi sebelumnya sangat perlu dilakukan di laboratorium untuk menguji algoritma sistem tersebut. Tulisan ini membahas metode kalibrasi *time delay* tersebut di laboratorium menggunakan kabel antena dengan berbagai ukuran panjang. Diperoleh hasil korelasi akurat antara panjang kabel dan *time delay* baik dari pengukuran osiloskop dan TDOA dengan *cross-correlation*. Metode ini terbukti efektif dan praktis digunakan untuk sistem kalibrasi dalam pengembangan *passive* RADAR.

Kata kunci: *TDOA, Radio pasif, Lintasan terbang roket, Metode kalibrasi, Koreksi silang*

1 PENDAHULUAN

LAPAN telah mengembangkan berbagai jenis roket untuk keperluan penelitian dan sistem pertahanan. Untuk keperluan deteksi performa, maka sangat diperlukan sistem *tracking*. Sistem RADAR telah digunakan dalam uji peluncuran, akan tetapi teknologi tersebut relatif mahal jika dibeli secara utuh, sehingga perlu adanya pengembangan sistem *tracking* sejak awal. *Passive* RADAR untuk keperluan *tracking* roket, telah mulai didisain dan disimulasikan [Wahyu W., Sri Kliwati, dkk, 2008]. Salah satu proses yang sangat penting adalah pengujian di laboratorium

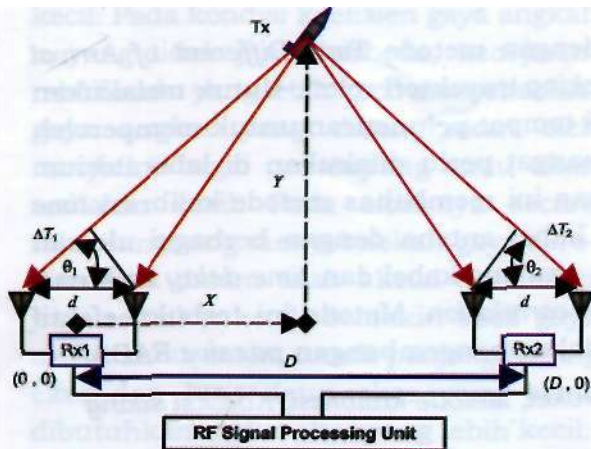
untuk mendapatkan algoritma yang optimal. *Passive* RADAR dapat dirancang-bangun dengan menggunakan *array antenna* dengan posisi yang berbeda dan *hardware* untuk pemrosesan signal tersebut (DSP). Beda waktu dari posisi antena yang berbeda ini digunakan untuk estimasi sudut azimuth dan elevasi. Mulai tahun 2008 dikembangkan sistem RADAR tipe *passive* untuk keperluan pengembangan roket-roket jarak jauh. Dimulai dengan analisa dan simulasi sistem, selanjutnya akan dibuat *prototype hardware* baik *transmitter* maupun *receiver* untuk uji performanya. Kelanjutan penelitian ini sangat penting, karena dimulai dari hal yang dasar dan

akan terus dilanjutkan untuk memperoleh sistem yang handal dan sesuai dengan kebutuhan.

Tulisan ini membahas metode pengujian TDOA di laboratorium dengan menggunakan radio transmitter, digital oscilloscope, dan beberapa kabel coaxial dengan panjang yang berbeda-beda. Panjang kabel yang digunakan adalah dari 1,5 sampai 3,3 meter. Faktor propagasi kecepatan gelombang elektromagnetik di atmosfer dan kabel coaxial sedikit berbeda, sehingga selain kalibrasi TDOA secara keseluruhan, propagasi signal di kabel juga dapat diketahui dengan akurat.

2 SISTEM PASSIVE RADAR

Sistem *passive* radar yang telah didisain untuk trayektori roket adalah seperti pada gambar di bawah yang terdiri dari transmitter dan receiver



Gambar 2-1: AOA Localization in 2-D Space

Jika masing-masing TDOA diketahui, maka perubahan sudut azimuth pada kedua pasangan antenna adalah sebesar

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{\Delta T_1 C}{d}\right) \quad (2-1)$$

Keterangan:

d = jarak antara dua antenna
 C = kecepatan cahaya

Kemudian untuk sudut azimuth pada tempat pengukuran ke dua adalah sebagai berikut.

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\Delta T_2 C}{d}\right) \quad (2-2)$$

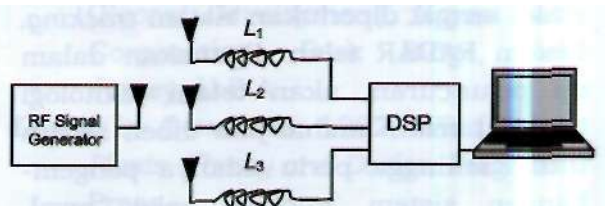
Masing-masing *delay* waktu AT tersebut diestimasi dengan menggunakan algoritma *cross-correlation* [Robert et al., 2000]. Jika koordinat tempat pengukuran yang satu adalah (0, 0) dan pengukuran yang lain adalah (0, D), maka koordinat roket dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$(x, y) = \left(\frac{D \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\pi - (\theta_1 + \theta_2))}, \frac{D \sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\pi - (\theta_1 + \theta_2))} \right) \quad (2-3)$$

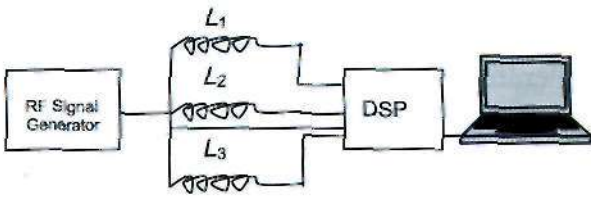
Dari persamaan (2-1) sampai (2-3), maka koordinat trayektori roket dapat diestimasi dari perubahan *delay* waktu pada masing-masing pasangan antenna.

3 METODE KALIBRASI TDOA PASSIVE RADAR

Seperti pada Gambar 3-1, sistem kalibrasi ini terdiri dari transmitter (RF generator), antenna, kabel coaxial, digital oscilloscope, dan PC. Sinyal dari generator diterima dengan beberapa antenna dengan panjang kabel yang berbeda-beda. Seperti pada Gambar 2-1 jika menggunakan osiloskop, maka pengukuran dapat dilakukan secara bersamaan. Skema Gambar 3-1 juga dapat digunakan untuk kalibrasi jarak propagasi udara dengan menggunakan jarak antar antenna dan panjang kabel yang sama. Akan tetapi mungkin akan dipengaruhi oleh pantulan signal dari sekeliling, sehingga dapat juga dilakukan secara langsung dengan menggunakan kabel, seperti pada skema Gambar 3-2.



Gambar 3-1: Sistem kalibrasi TDOA dengan panjang kabel (L_1, L_2, L_3) secara simultan dengan digital oscilloscope dan PC



Gambar 3-2: Sistem kalibrasi TDOA dengan panjang kabel (L_1 , L_2 , L_3) secara simultan dengan *digital oscilloscope* dan PC

Metode kalibrasi dengan panjang kabel lebih presisi, karena pantulan sinyal radio tidak ada. Panjang kabel ini akan disesuaikan dengan frekuensi sinyal yang dipancarkan dan sampling data dari osiloskop. Alat-alat yang digunakan adalah seperti pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: ALAT UJI KALIBRASI YANG DIGUNAKAN

Instrument	Type
RF Generator	Rhode 8& Schwarz
Osiloskop	Textronik TDS2024
Coaxial	RG58

Generator sinyal mempunyai kemampuan hingga 3,3 MHz, sedangkan osiloskop hanya sampai 200 MHz dengan sampling data 2G/s. Kabel *coaxial* yang digunakan mempunyai faktor rambatan kira-kira 0.6-0.8 (tergantung tipenya) dibandingkan dengan rambatan di udara.

4 TIME DELAY ESTIMATION

Metode *time delay* ini telah sukses digunakan dalam aplikasi RADAR, sistem sonar dan lain-lain. Jika sinyal yang diterima pada antenna ke 1 adalah $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ adalah pada antenna ke 2, maka dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$x_1(t) = a_1 s(t) + n_1(t) \quad (4-1)$$

$$x_2(t) = a_2 s(t) + n_2(t) \quad (4-2)$$

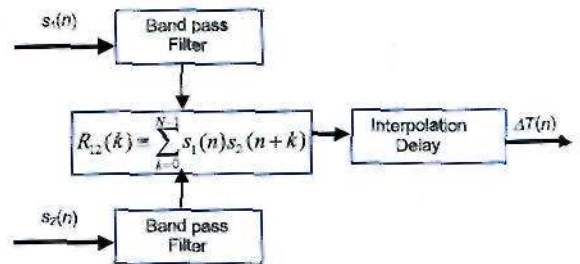
Disini a adalah atenuasi sinyal di atmosfer, $s(t)$ adalah sinyal dari *transmitter*, $n(t)$ adalah sinyal *noise* pada masing-masing antenna, dan T adalah *delay* masing-masing sinyal. *Cross-correlation* antara kedua sinyal di atas adalah

$$R_{12}(t) = \int_{-T/2}^{+T/2} x_1(t)x_2(t+\tau)dt \quad (4-3)$$

Algoritma *correlation* ini lebih lama, waktu prosesnya, sehingga dapat pula dilakukan pada domain frekuensi menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). Langkah berikutnya adalah menghitung *peak* pada persamaan (4-3), yang dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\Delta T_{12} = \arg \max_{\tau} \int_{-T/2}^{+T/2} x_1(t)x_2(t+\tau)dt \quad (4-4)$$

Disini ΔT_{12} adalah nilai estimasi beda waktu kedua sinyal tersebut di atas. Gambar 4-1 menunjukkan ilustrasi algoritma dari persamaan (4-1) sampai dengan persamaan (4-4).



Gambar 4-1: Ilustrasi algoritma persamaan (4-1) sampai (4-4)

Pemrosesan TDOA ini sepenuhnya dilakukan pada PC, selain MATLAB yang mudah digunakan dapat pula dengan program aplikasi Visual Basic.

Komunikasi data antara osiloskop dan PC dilakukan dengan kabel serial RS232. Kontrol perintah dan akuisisi dilakukan secara mudah dan cepat, serta langsung dapat memproses data-data tersebut secara *realtime*.



Gambar 4-2: Setup kalibrasi TDOA dengan RF sinyal generator dan *digital* osiloskop 2Gs/s

5 KALIBRASI TDOA DENGAN KABEL COAXIAL

Setup kalibrasi adalah seperti pada Gambar 3-2, sedangkan foto setup sinyal generator dan digital osiloskop terlihat seperti Gambar 4-2. Panjang kabel L_1 dan L_2 dipotong sama panjang 0,5 meter untuk referensi sinyal. Sedangkan panjang kabel L_3 diganti-ganti dengan panjang yang berbeda-beda (1,5 meter sampai 3,3 meter). Jika panjang kabel adalah L , maka *delay* waktu adalah sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{L}{C} \quad (5-1)$$

Misalnya panjang L adalah 10 Meter, maka AT adalah $10/3 \times 10^8 = 33$ nanosecond. Data dari osiloskop setelah ditransfer ke PC via kabel RS232 dengan kecepatan transfer 19200 bps, kemudian data tersebut diproses untuk menghitung *time delay* secara *realtime* dengan persamaan (4-3) dan (4-4) di atas. Dibandingkan dengan propagasi di atmosfer, maka propagasi gelombang radio di kabel tipe RG58 yang digunakan adalah 0.66 kali lebih lambat.

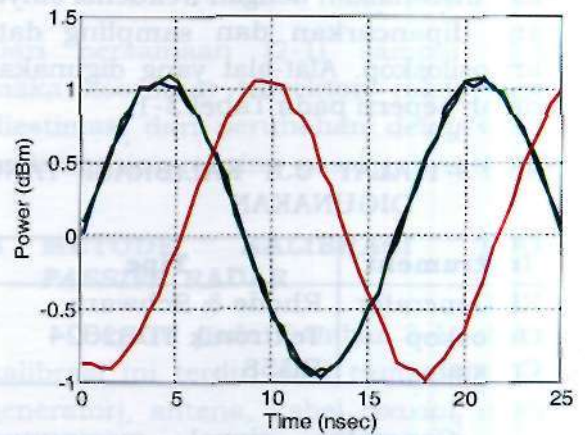
6 PERCOBAAN DAN DISKUSI

Setup percobaan adalah seperti Gambar 3-1 dan 4-2. *Digital oscilloscope* yang ada adalah 2 Giga sampling/detik, sehingga resolusi *time delay* yang dapat dideteksi adalah $0,5 \times 10^{-9}$ atau 5×10^{10} detik. Minimum jarak agar *delay* waktu dapat dideteksi adalah $5 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^8 = 0.15$ meter. Tabel 6-1 adalah tabel hasil kalibrasi antara panjang kabel, *delay* waktu dari osiloskop dan dari algoritma TDOA. Frekuensi radio dari sinyal generator adalah 60 MHz dengan panjang waktu pengukuran 25 nsec di osiloskop. Gambar 4-2 sampai 6-3 adalah *delay* waktu kira-kira 5,8, dan 11 nsec. Hasil perhitungan antara osiloskop dan algoritma TDOA ada perbedaan sekitar 0.1 nsec. Hal ini disebabkan oleh sampling osiloskop yang terbatas hanya 2 Gs/s, jika lebih banyak lagi (misal 20 Gs/s),

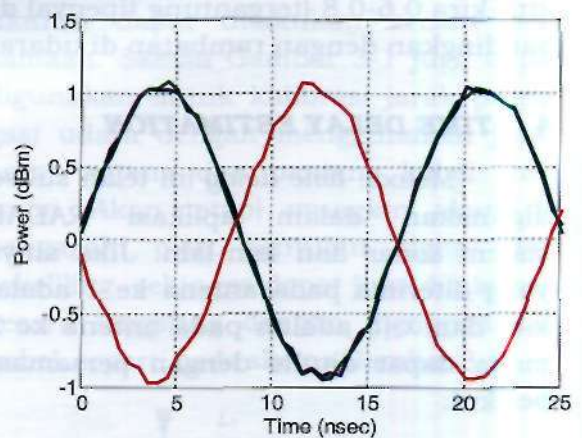
maka hasilnya akan lebih akurat. Peningkatan akurasi juga dapat dibantu dengan menggunakan teknik sinyal *processing*, seperti menggunakan algoritma interpolasi data, *digital filtering*.

Tabel 6-1: PANJANG KABEL DAN AT

Beda Panjang kabel (m)	ΔT (nsec) Osiloskup	ΔT (nsec) Cross-correlation
$\Delta L_1 = 1.5$	5.1	5.2
$\Delta L_2 = 2.4$	8.1	8.0
$\Delta L_3 = 3.3$	11.0	11.1



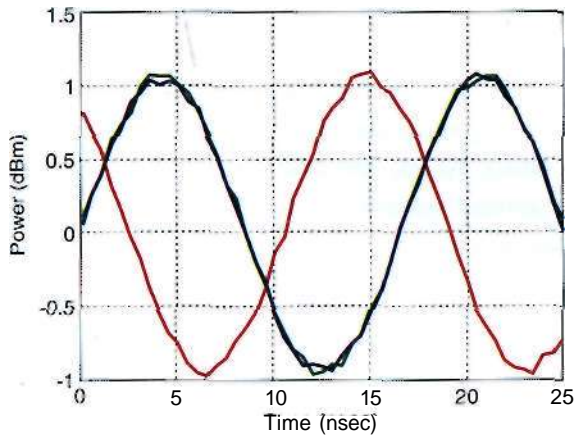
Gambar 6-1: Sinyal kalibrasi TDOA menggunakan sinyal generator dan digital osiloskop dengan panjang kabel $L_1 = 1,5$



Gambar 6-2: Sinyal kalibrasi TDOA menggunakan sinyal generator dan *digital* osiloskop dengan panjang kabel $L_i = 2,4$

Sinyal RADAR yang paling cocok adalah tidak menggunakan sinyal sinusoidal, akan tetapi sinyal yang mempunyai modulasi frekuensi, atau

gabungan dengan modulasi amplitudo. Sinyal tersebut misalnya *chirp pulse*, akan tetapi sinyal generator yang digunakan tidak dapat membuat sinyal RADAR tersebut, sehingga perlu membuat disain dan implementasi rangkaian elektronik tersendiri. Dalam kesempatan lain akan kami disain dan dibuat *prototipe* sebagai bagian dari RADAR *transmitter* dan akan kami bahas lebih detail dalam tulisan tersendiri.



Gambar 6-3: Sinyal kalibrasi TDOA menggunakan sinyal generator dan digital osiloskop dengan panjang kabel $L = 3,3$

Selain algoritma TDOA berbasis waktu (*time domain*), maka ada pula algoritma berbasis frekuensi (*frequency domain*) menggunakan *Fourier Transform*. Kehandalan masing-masing algoritma tersebut akan kami uji untuk dapat menentukan sinyal RADAR dan sistem *receiver* yang paling optimal.

7 KESIMPULAN

Telah dirancang metode kalibrasi TDOA untuk pengembangan sistem *passive* RADAR yang akan diaplikasikan untuk *tracking* trayektori roket. Jarak posisi antena dapat diwakili dengan panjang kabel, sehingga sangat praktis dan mudah dilakukan di laboratorium. Hasil kalibrasi kabel juga dapat digunakan untuk parameter sistem RADAR yang

menggunakan panjang kabel antena yang berbeda. Perbedaan *delay* waktu dari osiloskop dan algoritma sinyal prosesi adalah sekitar 0.1 nsec. Hasil ini cukup baik dan dapat ditingkatkan lagi dengan menggunakan sampling data yang lebih banyak atau dengan algoritma interpolasi dan *filtering*. Penelitian berikutnya adalah mengembangkan algoritma dan sinyal RADAR yang sesuai dengan kemampuan *hardware* agar memperoleh hasil yang optimal.

DAFTAR RUJUKAN

- Wahyu Widada; dan Sri Kliwati, 2008. *Disain Sistem Passive RADAR Radio UHF Untuk Aplikasi Uji Terbang Roket*, Posiding SITIA ITS-Surabaya.
- Robert J. Purdy *et al*, 2000. *Radar Signal Processing*, Lincoln Laboratory Journal Volume 12, Number 2.
- Wahyu Widada; Sri Kliwati, dkk, 2007. *Metode Tracking 3 Dimensi Trayektori Roket dengan Kombinasi Altimeter dan Circular Array-Antenna Crossed-Yagi*, JANAS September.
- Satria Gunawan Zain; Adi Susanto; T. Sri Widodo; Sri Kliwati; Wahyu Widada, 2008. *Prediksi Sudut Terima Antena Radio Tracking Dari Pemancar di Payload Roket*, Seminar Nasional SITIA ITS Surabaya.
- Wahyu Widada, 1994. *Rancangbangun Robot Pencari Asal Arah Suara Berbasis Jaringan Saraf Tiruan*, Thesis Sarjana Engineering Waseda University, Tokyo JAPAN.
- Donald F. Breslin, *Adaptive Antenna Arrays Applied To Position Location*, Master Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Maria Kelly, 2006. *Compact, Low-Cost Direction-Finding Using Time to Digital Converters*", 3rd EMRS DTC Technical Conference - Edinburgh.