

# **METODE DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING UNTUK ESTIMASI POSISI ROKET MENGGUNAKAN RADAR TRANSPONDER (DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHODS FOR ESTIMATING POSITION ROCKET USING RADAR TRANSPONDER)**

**Wahyu Widada**

Pusat Teknologi Roket

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Raya LAPAN No. 2, Mekarsari, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia

e-mail: wahyu.widada@lapan.go.id

Diterima 5 Mei 2015; Direvisi 15 September 2015; Disetujui 18 September 2015

## **ABSTRACT**

Data position from radar transponder system still contains a noise signal, therefore it is necessary to process estimation algorithm and used to determine the next position. This paper discusses the estimated position of the rocket from radar transponder measurement results using *double exponential smoothing* method. This method is implemented on the measurement results of radar transponder rocket flight test RX122 . The experimental results showed that the position of the rocket can be more accurately estimated by analysis of the value of RMSE (*root mean square error* ) of 0,67 and the value is about 2.2 times smaller.

**Keywords:** *Estimated position, Rockets, Radar transponders, Double exponential smoothing.*

## ABSTRAK

Data posisi sistem radar transponder masih mengandung derau signal, oleh karena itu perlu memproses algoritma estimasi dan digunakan untuk mengetahui posisi waktu berikutnya. Tulisan ini membahas estimasi posisi roket dari hasil pengukuran radar transponder dengan menggunakan metode *double exponential smoothing*. Metode ini diimplementasikan pada hasil pengukuran radar transponder uji terbang roket RX122. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa posisi roket dapat diestimasi menjadi lebih akurat dengan analisa nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,67 dan nilai tersebut sekitar 2,2 kali lebih kecil.

Kata kunci: *Estimasi posisi, Roket, Radar transponder, Double exponential smoothing*

## 1 PENDAHULUAN

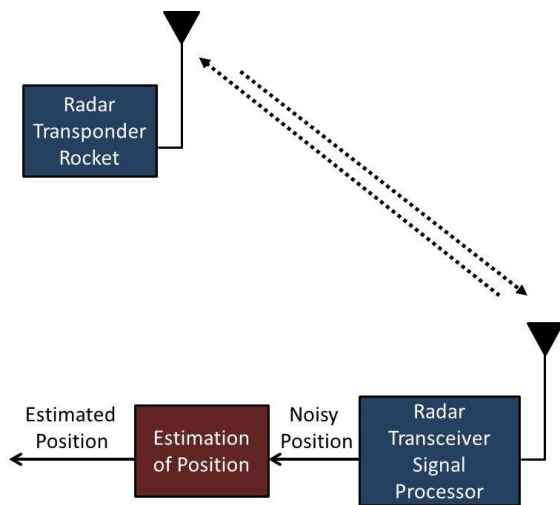
Teknologi radar *transponder* terus dikembangkan untuk diaplikasikan pada uji terbang roket. Beberapa uji terbang yang telah dilaksanakan dengan radar *transponder* adalah roket balistik dengan tipe RX100 dan RX200. Hasil pengukuran menunjukkan jarak yang terukur masing-masing mengandung derau sinyal yang cukup besar, hal ini disebabkan oleh beberapa hal, seperti kestabilan komponen elektronik, pengaruh panas, dan vibrasi roket yang sangat tinggi. Untuk melakukan estimasi posisi dengan lebih baik memerlukan algoritma estimasi, seperti menggunakan Kalman *filter* dan *exponential filter* [Nur Adilah A. J., 2013]. Kalman *filter* banyak digunakan untuk prediksi trayektori pada bidang navigasi, sedangkan *exponential filter* lebih belakangan muncul dan relatif baru diaplikasikan dan belum digunakan pada sistem radar *transponder* untuk aplikasi roket. Algoritma *exponential filter* telah dikembangkan sejak 1961, secara umum *exponential filter* ini lebih sederhana, sehingga prosesnya lebih cepat dan cocok untuk aplikasi kecepatan tinggi [Giacomo S., 2012; Eva O., 2012]. *Filter* ini telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti pada stastistik [Mahama I., 2013], pada sensor muatan roket [Wahyu, 2005], pada bidang manufaktur, statistik serta sensor [Muhammad A., 2015; Aleksey S.P, 2014; Zhiyong Yang 2014]. Selain itu juga telah dipalिकासikan bidang *aerospace* [Hu Shaolin, 2011] dan radar multi target [Zhang L., 2013]. Metode ini telah

berkembang dalam perhitungan *nonlinier* untuk *filter* sinyal derau, sehingga dapat menyesuaikan keadaan [Handanhal V.R., 2013]. Prediksi data yang tidak punya karakter juga cocok diterapkan dengan metode filter ini [Eva Ostertagová, 2011]. Dalam beberapa tahun terakhir, algoritma adaptif algoritma dan seleksi kriteria seleksi telah dikembangkan, sehingga dapat melakukan seleksi parameter untuk melakukan *smoothing* [Ping Jiang, 2015]. Baru-baru ini paten mengenai metode ini yang berbasis skala parameter juga telah didaftarkan pada di Amerika [Stephen James Todd, 2014]. Oleh karena itu, metode ini sangat penting untuk dicoba pada sistem radar *transponder* agar mendapatkan data pengukuran yang lebih akurat.

Tulisan ini membahas estimasi posisi roket dengan menggunakan *double exponential smoothing*. Metode ini dikembangkan dan diaplikasikan pada sistem radar yang telah dibuat. Hasil simulasi juga menjadi pertimbangan untuk menentukan parameter data posisi pengukuran roket dari uji terbang RX122 pada tahun 2012. Perbandingan tanpa algoritma dan dengan algoritma estimasi menunjukkan hasil yang signifikan peningkatan akurasi. Akurasi ini dibandingkan dengan menggunakan RMSE terhadap data mentah dan data setelah algoritma estimasi digunakan, semakin kecil nilainya maka akurasi data juga menjadi semakin akurat, sebaliknya akan semakin tidak akurat.

## 2 ESTIMASI BERBASIS DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING

Secara umum sistem pelacak posisi roket berbasis radar *transponder* adalah seperti terlihat pada Gambar 2-1 berikut. Sistem *tracking* ini terdiri dari *transponder* radar yang dipasang pada roket, radar *transceiver* pada *ground station*, dan pemroses radar. Data yang dihasilkan oleh sistem radar ini sangat mengandung signal derau/*noise*, oleh karena itu algoritma estimasi ini digunakan untuk memperhalus hasil pengukuran. *Transponder* pada *payload* roket digunakan untuk menerima signal radio dan memancarkan kembali, sedangkan *transceiver* digunakan untuk mengirim signal *beacon* dan menerima kembali. Signal prosesor digunakan untuk mengatur signal *beacon* dan memproses signal yang diterima kembali menjadi informasi posisi.



Gambar 2-1: Sistem radar *transponder* untuk *tracking* roket menggunakan aplikasi *exponential smoothing* [Wahyu, 2014]

Metode ini menggunakan algoritma estimasi berbasis *exponential smoothing* untuk memproses data posisi roket menjadi lebih akurat. Data hasil dari pengukuran radar *transponder* diproses pada algoritma, sehingga proses ini tidak memerlukan penambahan perangkat keras, hanya implementasi algoritma pada perangkat lunak di PC.

*Double exponential smoothing* (DES) adalah model persamaan regresi linier

yang sederhana [Wahyu, 2005]. Untuk memprediksi posisi, maka dapat diasumsikan waktu  $t-1$ , dan parameter yang digunakan adalah  $\bar{b}_0(t-1)$  dan  $\bar{b}_1(t-1)$  untuk masing-masing parameter. Pembobot persamaan regresi adalah  $\bar{\beta}_0(t-1)$  dan  $\bar{\beta}_1(t-1)$ . Posisi hasil pengukuran adalah  $\bar{p}_t$  pada waktu  $t$ . Untuk memperbaharui pembobot dapat ditulis dengan persamaan *smoothing* berikut:

$$\bar{S}p_t = \alpha \bar{p}_t + (1 - \alpha) \bar{S}p_{t-1} \tag{2-1}$$

Dan juga persamaan *smoothing* tingkat kedua sebagai berikut.

$$\bar{S}p_t^{[2]} = \alpha \bar{S}p_t + (1 - \alpha) \bar{S}p_{t-1}^{[2]} \tag{2-2}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, maka parameter bobot pertama dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{b}_1(t) = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (\bar{S}p_t - \bar{S}p_t^{[2]}) \tag{2-3}$$

Sedangkan fungsi bobot kedua dapat ditulis sebagai berikut.

$$\bar{b}_0(t) = 2\bar{S}p_t - \bar{S}p_t^{[2]} - \bar{b}_1(t) \tag{2-4}$$

Prediksi posisi pada waktu lebih maju depan  $\tau$  (100 msec) dapat kita tulis berdasarkan persamaan (1) hingga (4) dengan persamaan berikut.

$$\bar{p}_{t+\tau} = \bar{b}_0(t) + \bar{b}_1(t + \tau) \tag{2-5}$$

Dengan menggunakan persamaan (1) sampai (5) serta manipulasi rumus aljabar, maka prediksi posisi dapat ditulis ulang dengan persamaan berikut.

$$\bar{p}_{t+\tau} = \left(2 + \frac{\alpha\tau}{(1-\alpha)}\right) \bar{S}p_t - \left(1 + \frac{\alpha\tau}{(1-\alpha)}\right) \bar{S}p_t^{[2]} \tag{2-6}$$

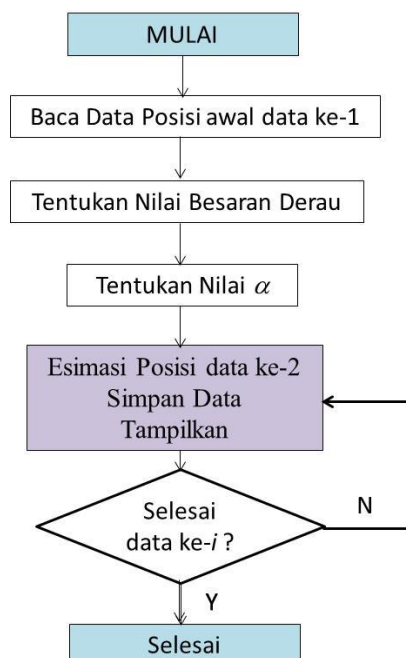
Persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi data-data sensor dinamik roket dan sekaligus untuk mengurangi pengaruh signal derau sehingga menjadi lebih akurat.

Algoritma tersebut di atas dapat diimplementasikan pada perangkat lunak dengan alur seperti pada Gambar 2-2. Mula-mula memberikan nilai inisialisasi pada masing-masing parameter dengan data awal yang diterima, kemudian nilai deviasi derau data pengukuran digunakan untuk menentukan nilai  $\alpha$  yang paling optimal. Nilai  $\alpha$  ini akan

diuraikan lebih detail pada bab berikutnya. Kemudian perhitungan estimasi sudah dapat dilakukan pada data berikutnya hingga data terakhir. Estimasi ini dapat menentukan nilai posisi selangkah lebih maju sebesar sampling waktu (100 msec), selain itu data-data juga dapat diproses menjadi lebih akurat dan derau data menjadi berkurang. Algoritma ini diimplementasikan dengan menggunakan *software* Matlab [Tao Zhang, 2013], sehingga lebih mudah, cepat, dan terintegrasi pada *software* radar *transponder*. Disini diperlukan perhitungan untuk mengetahui seberapa penyimpangan antara model yang hasil pengukuran, sehingga akan diperoleh nilai akurasi. Rumus RMSE yang digunakan pada tulisan ini adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (2-7)$$

Disini  $X_{obs}$  adalah nilai estimasi dan  $X_{model}$  adalah nilai model. RMSE ini merupakan perbedaan antara nilai-nilai model atau estimator dengan nilai sebenarnya yang diamati.



Gambar 2-2: Alur implementasi algoritma estimasi posisi roket

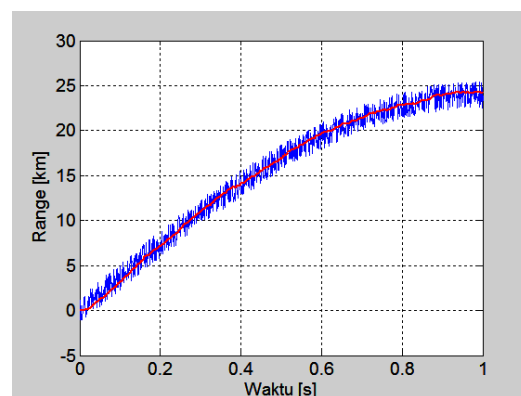
### 3 HASIL SIMULASI DAN PERCOBAAN

Simulasi dan percobaan telah dilakukan untuk menentukan parameter

yang tepat dan membuktikan pada data uji terbang roket. Data roket yang digunakan untuk percobaan adalah data uji terbang roket tipe RX-100 yang telah dilakukan pada Oktober 2012 di Pamengpeuk Garut Jawa Barat. Jarak jangkauan maksimum adalah sekitar 24 km dengan waktu terbang sekitar 90 detik.

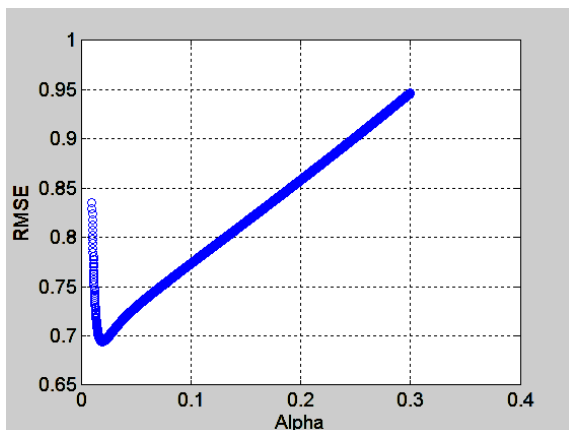
#### 3.1 Simulasi Signal Parabolik

Simulasi ini menggunakan signal parabolik (seperempat gelombang sinus) yang mendekati bentuk data jarak langsung (*line of sight*) stasiun pemantau dan posisi roket. Deviasi derau signal disimulasikan dari  $\pm 1.5$  hingga  $\pm 5$  km, sesuai dengan kemampuan radar *transponder* pada saat pengukuran uji terbang. Gambar 3-1 adalah posisi roket dengan jarak maksimum 24 km dengan deviasi derau signal  $\pm 1.5$  km. Dengan menggunakan algoritma di atas, maka dilakukan perhitungan estimasi posisi dengan memvariasikan nilai  $\alpha$  dari 0.01 hingga 0.03. Nilai RMSE dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (2-7). Data model dan data pengukuran dengan derau telah didefinisikan sebelumnya, sehingga nilai RMSE dapat dihitung dengan akurat. Dengan menggunakan parameter tersebut, maka nilai  $\alpha$  paling optimal dapat kita tentukan dengan benar. Nilai ini sangat penting dalam algoritma estimasi supaya hasilnya juga menjadi sesuai dengan besaran deviasi kesalahan pada data mentah yang terukur langsung dari instrumentasi radar.



Gambar 3-1: Hasil simulasi estimasi posisi dengan deviasi derau  $\pm 1.5$  km dengan nilai  $\alpha = 0.019$

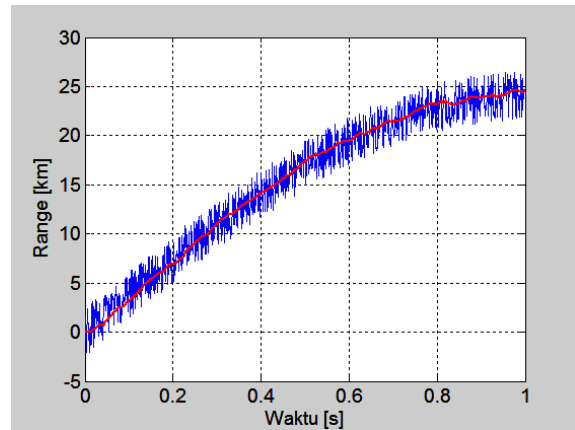
Dari rentang nilai tersebut, nilai  $\alpha$  yang paling optimal dilihat dari sisi nilai RSME yang terkecil adalah 0.019. Perubahan nilai RSME seperti terlihat pada Gambar 3-2, nilai terkecil terjadi pada saat nilai  $\alpha = 0.019$ . Nilai tersebut akan membesar jika kurang atau melebihi dari nilai tersebut. Hal itu terjadi disebabkan delay yang terlalu besar jika nilai  $\alpha$  sangat kecil atau derau signal masih besar jika nilai  $\alpha$  bernilai besar. Secara umum deviasi ini tergantung oleh beberapa faktor yang dapat mempengaruhi, seperti kestabilan komponen radio, vibrasi roket saat terbang, dan kualitas sinyal radio. Nilai  $\alpha$  untuk memproses data eksperimen dapat dilakukan dengan melihat deviasi data tersebut atau dengan menggunakan beberapa nilai jika dilakukan secara *realtime* saat uji terbang.



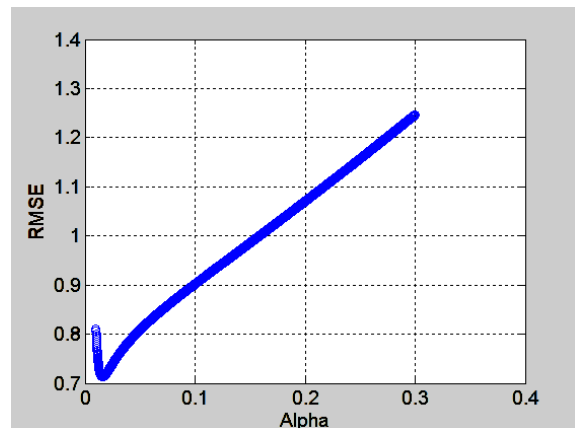
Gambar 3-2: Hasil simulasi perubahan RSME dan nilai  $\alpha$

Langkah berikutnya adalah dengan mencoba nilai deviasi posisi sebesar  $\pm 2.5$  km. Gambar hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3-3, dengan nilai optimal  $\alpha = 0.0165$  yang telah dihitung berdasarkan nilai RSME terkecil.

Gambar 3-4 menunjukkan grafik nilai RSME terhadap perubahan nilai  $\alpha$  hingga 0.3. Sama seperti grafik pada Gambar 3-2, mula-mula dari besar mengecil kemudian berbalik arah menjadi semakin membesar. Grafik RMSE ini sepertinya akan mempunyai bentuk yang sama terhadap variasi nilai deviasi derau.



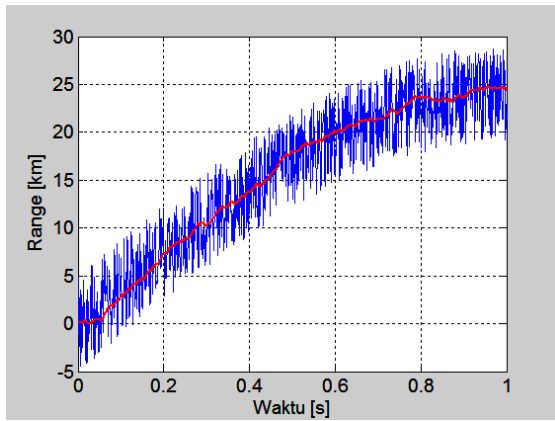
Gambar 3-3: Hasil simulasi estimasi posisi dengan deviasi derau  $\pm 2.5$  km, nilai  $\alpha = 0.0165$



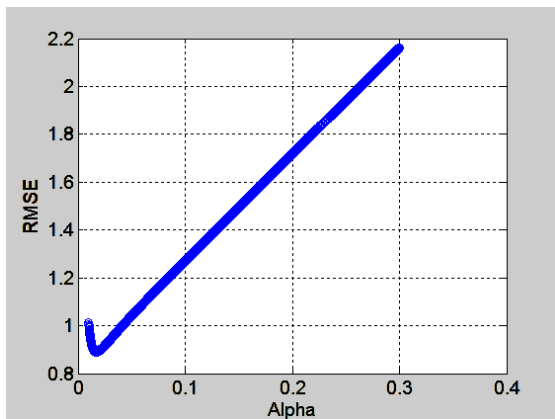
Gambar 3-4: Hasil simulasi perubahan RSME dan nilai  $\alpha$

Selanjutnya perlu dicek juga pada nilai deviasi derau sebesar  $\pm 5$  km yang juga merupakan nilai derau berdasarkan pengalaman saat uji terbang. Derau ini memang berubah-ubah sesuai dengan tipe radio yang digunakan dan adanya perbedaan kondisi lingkungan yang berbeda.

Gambar 3-5 menunjukkan sinyal posisi saat data mentah dan setelah dilakukan estimasi. Nilai  $\alpha = 0.015$  merupakan nilai yang optimal dengan grafik seperti terlihat pada Gambar 3-6. Hasil estimasi posisi menunjukkan kurva yang mendekati kurva ideal yang diukur.



Gambar 3-5: Hasil simulasi estimasi posisi dengan deviasi derau  $\pm 5$ km dengan nilai  $\alpha = 0.015$



Gambar 3-6: Hasil simulasi perubahan RSME dan nilai  $\alpha$

Tabel 3-1 menunjukkan hubungan nilai  $\alpha$  dengan RSME pada data mentah dan data yang telah diestimasi. Hal tersebut menunjukkan data estimasi menjadi lebih akurat dengan melihat nilai RSME yang menjadi lebih kecil.

### 3.2 Estimasi Posisi Uji Terbang Roket RX122

Percobaan dilakukan dengan menggunakan data radar *transponder* yang telah dikembangkan beberapa tahun terakhir. Data ini diperoleh pada saat uji terbang roket tipe kecil yaitu RX122 dengan diameter 122 mm dengan jangkauan hingga sekitar 24 km. Gambar suasana saat roket meluncur adalah seperti pada Gambar 3-7 yang dilakukan pada Oktober 2012. Posisi radar *transponder* terletak disisi belakang titik peluncuran beberapa puluh meter. Roket diluncurkan diatas kendaraan pengangkut seperti terlihat pada Gambar 3-7.

Tabel 3-1: PARAMETER HASIL SIMULASI BESARAN DERAU DAN NILAI OPTIMAL  $\alpha$

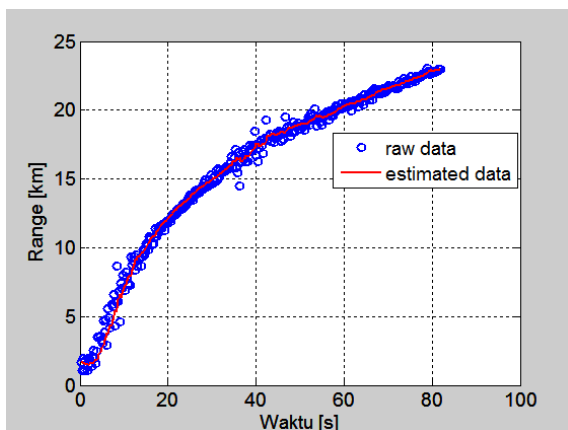
Besaran Derau ( $\pm$ km)	Nilai Optimal $\alpha$	RMSE Raw Data	RMSE Estimated
1.5	0.0194	0.8481	0.6215
2.5	0.0165	1.4530	0.6705
5	0.0150	2.8793	0.8665



Gambar 3-7: Suasana saat uji terbang roket tipe RX122 di Pameungpeuk Garut Jawa Barat

Hasil uji terbang dan data yang telah diolah dengan menggunakan metode estimasi ini dapat dilihat pada Gambar 3-8. Deviasi derau signal terlihat pada data mentah sebesar sekitar  $\pm 2.5$  km (kurva titik-titik). Dengan menggunakan parameter yang telah diperoleh dari hasil simulasi, maka pada gambar yang sama data estimasi terlihat lebih akurat dengan derau yang lebih kecil (kurva garis lurus). Pada algoritma ini hasil estimasi posisi adalah pada waktu 100 mili detik kedepan. Hal ini disebabkan jumlah data dari sistem radar ini adalah sekitar 10 data tiap detik.

Maksimum jarak yang terekam pada radar adalah sekitar 24 km. Nilai RMSE antara signal data mentah dengan signal hasil estimasi adalah sekitar 0.4915 Km. Dengan menggunakan *double exponential smooting* ini maka akurasi pengukuran jarak roket meningkat beberapa kali, jika digunakan untuk estimasi pada koordinat 3 dimensi maka hasilnya juga akan lebih baik. Derau signal radar yang ekstrim pada kondisi tertentu (pantulan, posisi antena, vibrasi berlebih) dapat diredam dengan baik dengan menggunakan algoritma ini.



Gambar 3-8: Implementasi algoritma estimasi untuk data radar *transponder* roket RX-122 Oktober 2012

Algoritma ini juga mempunyai proses dengan langkah perhitungan yang sederhana, sehingga dapat diimplementasikan secara *realtime* dengan cepat pada perangkat lunak di PC.

#### 4 KESIMPULAN

Data uji terbang roket berbasis radar *transponder* dapat diprediksi dan direduksi derau sinyal yang mengganggu dengan menggunakan *double exponential smoothing*. Telah diaplikasikan metode *double exponential smoothing* untuk estimasi posisi uji terbang roket tipe RX122 dengan menggunakan data radar *transponder*. Dari hasil simulasi dengan deviasi derau posisi  $\pm 1.5-5$  km menunjukkan nilai  $\alpha$  berubah dari 0.0150 hingga 0.0194. Kemampuan radar *transponder* dengan kondisi saat uji terbang roket RX122 adalah sekitar  $\pm 2.5$  km, sehingga nilai parameter yang digunakan adalah sama dengan dari simulasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan hasil estimasi posisi menjadi lebih akurat dengan penurunan nilai RMSE sekitar 2,2 kali lebih baik. Metode estimasi posisi ini dapat diaplikasikan pada berbagai sensor wahana terbang, baik single sensor atau multiple sensor seperti *Inertial Measurement Units (IMU)* dan *Global Positioning System (GPS)*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Pustekroket LAPAN yang telah mendukung sistem radar yang telah dikembangkan serta fasilitas komputer, sehingga percobaan pada penelitian ini dapat dilakukan dengan baik.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Aleksey S. Polunchenko, Grigory Sokolov and Alexander G. Tartakovsky, 2014. *Optimal Design and Analysis of the Exponentially Weighted Moving Average Chart for Exponential Data*, Sri Lankan Journal of Applied Statistics Vol (15-2) 6 Nov 2014.
- Azam, Muhammad, Aslam, Muhammad, Chi-Hyuck Jun, 2015. *Designing of a Hybrid Exponentially Weighted Moving Average Control Chart using Repetitive Sampling*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology April, Volume 77, Issue 9-12, 1927-1933.

- Eva Ostertagová, Oskar Ostertag, 2011. *The Simple Exponential Smoothing Model*, The 4th International Conference Modelling of Mechanical And Mechatronic Systems.
- Eva Ostertagová, Oskar Ostertag, 2012. *Forecasting using Simple Exponential Smoothing Method*, Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 12, No. 3, 2012, 62–66.
- Giacomo Sbrana, 2012. *Damped Trend Exponential Smoothing: Prediction and Control*, Journal of Quantitative Economics, Vol. 10 No.2, July.
- Handanhal V. Ravinder, 2013. *Determining The Optimal Values Of Exponential Smoothing Constants–Does Solver Really Work?*, American Journal Of Business Education–May/June 2013 Vol 6 Number 3 347-360.
- Hu Shaolin, et al., 2011. *Adaptive Outlier-Tolerant Exponential Smoothing Prediction Algorithms with Applications to Predict the Temperature in Spacecraft*, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 2, No. 11, 2011.
- Mahama Ishaque, 2013. *Use of Some Exponential Smoothing Models in Forecasting Some Food Crop Prices in the Upper East Region of Ghana*, Mathematical Theory and Modeling ISSN 2224-5804 (Paper) ISSN 2225-0522 (Online) Vol. 3, No.7, 2013.
- Nur Adilah Abd Jalil, Maizah Hura Ahmad and Norizan Mohamed, 2013. *Electricity Load Demand Forecasting Using Exponential Smoothing Methods*, World Applied Sciences Journal 22 (11): 1540-1543.
- Ping Jiang, Xiaofei Li, and Yao Dong, 2015. *Research and Application of a New Hybrid Forecasting Model Based on Genetic Algorithm Optimization: A Case Study of Shandong Wind Farm in China*, Mathematical Problems in Engineering Volume (2015), Article ID 740490, 14 pages.
- Stephen James Todd, 2014. *Scaled Exponential Smoothing*, US Patent US8631054 B2, 14 Jan 2014.
- Tao Zhang, 2013. *Research on Design Fir Digital Filter using Matlab and Window Function Method*, Journal of Theoretical and Applied Information Technology 10th February, Vol. 48 No.1.
- Widada, Wahyu, 2005. *Aplikasi Digital Exponential Filtering untuk Embedded Sensor Payload Roket*, Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi, 146-150.
- Widada, Wahyu, 2013. *Tracking Roket RX122 Menggunakan Stasiun Tunggal RADAR Transponder*, The 5th National Conference on Information Technology and Electrical Engineering.
- Zhang, L., 2013. *Exponential Filter-based Delay Estimation Algorithm for Active Systems in the Presence of Multi-targets*, Radar, Sonar & Navigation, IET Vol.7, Issue: 3. 287-294. July 2013.
- Zhiyong Yang et al., 2014. *An Exponential Smoothing Adaptive Failure Detector in the Dual Model of Heartbeat and Interaction*, Journal of Computing Science and Engineering, Vol. 8, No. 1, March 2014, 17-24.