

Simulasi Deteksi Sinyal Radar Pada simulator ESM Menggunakan Metode Kalman Filter Pada ESM (Electronic Support Measured)

Norma Ningsih¹, Gamantyo Hendrantoro², Andaya Lestari³ dan Deny Yulian⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Institut Teknologi Sepuluh Nopember Sukolilo, Surabaya

Email: norma.ningsih13@mhs.ee.its.ac.id, gamantyo@ee.its.ac.id

^{3,4}PT Solusi 247, Karet Kuningan Setiabudi, Jakarta Selatan

Email: andaya@irctr-i.com, deni.yulian@solusi247.com

Abstrak

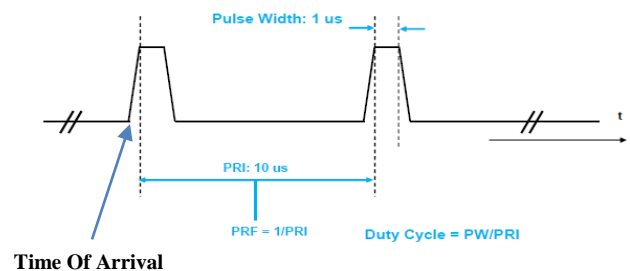
Radar adalah sistem elektromagnetik untuk mendeteksi dan menentukan lokasi suatu benda seperti pesawat terbang, kapal, pesawat ruang angkasa, kendaraan, orang, dan lingkungan alam. beroperasi dengan memancarkan energi dan mendeteksi sinyal yang dipantulkan dari obyek, atau target. Dalam peperangan elektronik banyak dikembangkan system pendeteksian sinyal radar untuk mengklasifikasikan jenis radar. Salah satu system untuk deteksi sinyal radar adalah system ESM (Elctronic Support Measured) yang berfungsi untuk deinterleaving sinyal radar yang berasal dari sumber berbeda. Sinyal yang dipancarkan oleh banyak radar akan diterima pada penerima yaitu ESM dalam keadaan yang saling tumpang tindih (interleaving) sesuai dengan nilai TOA masing-masing radar. Sehingga diperlukan proses deinterleaving untuk memisahkan kembali sinyal yang tercampur, sehingga dapat diketahui jenis radar tersebut. Salah satu Parameter yang banyak digunakan untuk proses deteksi radar adalah PRI (pulse repetition interval). PRI pada radar terdiri dari berbagai macam yaitu PRI constant, PRI jitter dan PRI Stagger. Untuk jenis PRI constant dan jitter disimulasikan menggunakan metode PRI transform dan improvement PRI transform, sedangkan untuk PRI stagger digunakan metode kalman Filter. Performa dari metode yang diusulkan dievaluasi menggunakan matlab.

Kata kunci: radar, ESM, kalman filter

1. Pendahuluan

Radar adalah sistem elektromagnetik untuk mendeteksi dan menentukan lokasi suatu benda dalam keadaan diam maupun bergerak skolnik, (2011). Dalam bidang militer terutama saat terjadi perang elektronik, penting untuk mengetahui apakah terdapat radar yang mengawasi system kerja kita. Selain itu radar detector ini diharapkan dapat mengidentifikasi parameter dari sinyal radar yang dipancarkan sehingga dapat diketahui apakah radar tersebut berada di pihak kita atau lawan.

Perangkat ESM menerima sinyal atau gelombang elektromagnetik dari banyak radar dengan berbagai macam parameter yaitu Time of Arival (TOA), Pulsa Amplitudo (PA), Frequency, Angle of Arival (AOA) dan Pulsa Width (PW) Wiley, (2000). Sistem radar terbaru dilengkapi dengan frekuensi hopping dan agility serta menggunakan modulasi Pulse repetition interval (PRI) yang lebih rumit seperti staggered, sinusoidal, dan triangular PRI, hal ini berfungsi Untuk dapat menghindari monitoring sistem ESM. Sehingga pada sistem ESM yang lebih maju perlu dikembangkan metode untuk dapat mengenali berbagai macam tipe PRI dari sinyal radar yang dipancarkan.



Gambar 1. Sinyal Radar

Kinerja radar secara signifikan sangat dipengaruhi oleh penggunaan waktu pada PRI dimana PRI adalah waktu dari leading edge (ujung tepi) dari satu pulsa radar ke leading edge dari pulsa radar berikutnya Wiley, (2000). Pada Mardia, (1989) nilai PRI diketahui menggunakan analisis histogram dari TOA yang berbeda antara deretan pulsa yang diterima. metode ini memiliki beberapa keterbatasan diantaranya adalah munculnya *histogram bins* yang akan mengakibatkan kesalahan atau kesulitan untuk mengidentifikasi jenis radar. Pada penelitian ini akan dilakukan *analysis interval* berdasarkan TOA dengan menggunakan PRI Transform untuk jenis PRI constant dan Jitter, sedangkan untuk PRI stagger digunakan metode *kalman filter*. Pada Milojevi(1992), identifikasi PRI constant dan jitter sudah dilakukan dengan PRI transform, tetapi untuk PRI dengan jenis stagger tidak dapat menerapkan metode ini.

Dalam penelitian ini data yang dikirim dari berbagai jenis radar akan diterima oleh penerima berupa data radar yang saling interleaving (bersisipan) satu sama lain sesuai dengan Actual Time dan PRI yang digunakan. Jenis PRI yang akan dibangkitkan dan dilakukan analisa dibatasi pada PRI constant, jitter dan Stagger.

2. IDENTIFIKASI SINYAL RADAR

2.1 PRI Transform

Pada PRI Transform, deretan pulsa yang diterimadengan mengamati urutan dari TOA yang dinyatakan dalam t dianalisa dalam interval waktu $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ yaitu range dari nilai PRI. Interval tersebut dibagi menjadi K interval yang sama atau disebut dengan PRI bins. Lebar PRI bin yaitu :

$$b = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{K} \tag{1}$$

Bin center τ_k yaitu

$$\tau_k = \left(k - \frac{1}{2}\right)b + \tau_{min} \quad k = 1, 2, \dots, K \tag{2}$$

Bin center (τ_k) dan lebar bin (b) digunakan untuk menentukan letak bin dari dua nilai TOA ($t_n - t_m$) yang juga merupakan nilai PRI dari radar. Perumusan PRI transform yaitu :

$$D_k = \sum_{\tau_k - \frac{b}{2} < t_n - t_m < \tau_k + \frac{b}{2}} e^{j \frac{2\pi i}{\tau_n - \tau_m}} \tag{3}$$

$$k = 1, 2, \dots, K$$

Dimana t_n merupakan TOA dari pulsa sekarang dan t_m merupakan TOA dari pulsa sebelumnya. Hasil Plot dari persamaan ini menunjukkan nilai D_k yang menunjukkan jumlah pulsa yang disimulasikan dan tau yang merupakan nilai PRI. PRI Transform sama dengan fungsi autocorrelation yaitu

$$C_k = \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=0}^{n-1} \delta(\tau - t_n + t_m) \tag{4}$$

Perbedaan dari PRI Transform dan fungsi autokorelasi adalah pembentukan fakto Phase dimana pada fungsi autokorelasi tidak terdapat factor phase yang berfungsi untuk menekan subharmonic pulsa yang muncul pada fungsi autokorelasi.

2.2 Improvement PRI Transform

PRI Transform hanya bisa diterapkan pada PRI constant, namun memiliki berbagai keterbatasan jika digunakan untuk menganalisa PRI jitter dimana nilai PRI diredam oleh noise bahkan dengan nilai jitter yang cukup rendah, sehingga dikembangkan metode improvement PRI Transform.

$$k_1 = \left\lceil \left[\left(\frac{\tau}{1+\epsilon} \right) - \tau_{min} \right] l^{\frac{(\tau_{max} - \tau_{min})}{K}} \right\rceil + 1 \tag{5}$$

$$k_2 = \left\lfloor \left[\left(\frac{\tau}{1-\epsilon} \right) - \tau_{min} \right] l^{\frac{(\tau_{max} - \tau_{min})}{K}} \right\rfloor + 1 \tag{6}$$

Persamaan diatas menunjukkan range dari bin PRI. PRI Transform di update jika index k berada diantara k_1 dan k_2 .

$$\eta_{zero} = \frac{(t_n - O_k)}{\tau_k} \tag{7}$$

$$v = \eta_{zero} + 0.4999 \tag{8}$$

$$\zeta = \frac{\eta_{zero}}{v-1} \tag{9}$$

Persamaan diatas untuk menghitung initial phase dan decomposition phase. Nilai ini kemudian untu menentuka apakah shit time origin atau tidak.

$$\eta = (t_n - O_k) / \tau_k \tag{10}$$

$$D_k = D_k + e^{(2\pi i \eta)} \tag{11}$$

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung phase dan mengupdate PRI transform. Setelah nilai PRI Transform dihitung, selanjutnya yaitu nilai PRI di tentukan dengan 3 fungsi kombinasi threshold

$$A_k = \max \left\{ a^{\frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{\tau_k}}, \beta C_k, \gamma \sqrt{(\tau_{max} - \tau_{min}) \left(\frac{N}{\tau_{max} - \tau_{min}} \right)^2} b_k \right\} \tag{12}$$

α, β, γ bernilai constant, dan b_k adalah lebar dari bin yang dijelaskan sebagai berikut :

$$b_k = 2\epsilon \tau_k$$

2.3 Kalman Filter

Filter Kalman dapat menghilangkan noise dari suatu sinyal yang mengandung informasi dan mengambil informasi tersebut untuk diproses lebih lanjut. Suatu proses yang menggunakan filter Kalman untuk mem-filter noise harus dapat disajikan dalam dua persamaan, yaitu persamaan state dan persamaan kelu-aran. Filter Kalman digunakan untuk menyelesaikan per-masalah estimasi state pada suatu proses yang dapat dinyatakan dalam persamaan deferensial linear seperti pada persamaan :

$$X_{k+1} = f(X_k, U_k, W_k) \tag{13}$$

$$X_{k+1} = A_k X_k + B_k U_k + W_k \tag{14}$$

Dengan :

- A adalah matrix nxn untuk menghubungkan state pada waktu diskrit sebelumnya (k-1) dengan state pada waktu diskrit sekarang (k).
- B adalah matriks nx1 menghubungkan input kontrol $u \in R^1$ dengan state x (u bersifat optional)
- W adalah noise pada proses

Noise pada proses diasumsikan sebagai proses random berdistribusi normal seperti pada persamaan berikut :

$$E(w)=0 \text{ dan } E(W_i W_k^T) = Q_k \text{ untuk } i=k$$

Dari persamaan 1 terlihat bahwa state x belum bisa diobservasi, sehingga untuk melakukan observasi diperlukan model pengukuran yang memetakan state ke keluaran y yang dapat diobservasi seperti pada persamaan :

$$Y_k = h(X_k, V_k) \tag{15}$$

$$Y_k = H_k X_k + V_k \tag{16}$$

Dengan :

H adalah matrix mxn menghubungkan state dengan pengukuran Y_k

V_k adalah noise pengukuran

Nilai estimasi state pada filter Kalman ditentukan dari estimasi posteriori \hat{x}_k^- serta selisih antara pengukuran sebenarnya Y_k dan estimasi pengukuran $H \hat{x}_k^-$ yaitu

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1}^- + K_k (Y_k - H \hat{x}_{k-1}^-) \tag{17}$$

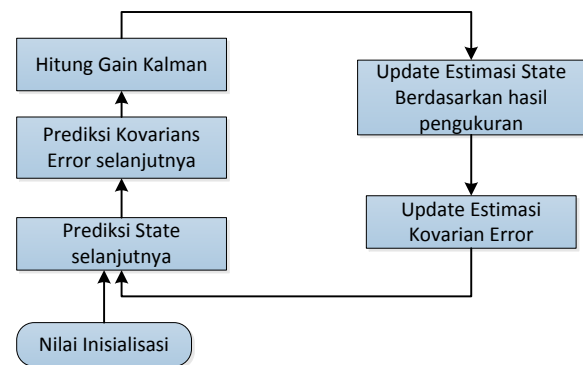
$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (H_k X_k + V_k - H \hat{x}_k^-) \tag{18}$$

Selisih nilai antara pengukuran sebenarnya Y_k dan estimasi pengukuran $H \hat{x}_k^-$ disebut sebagai residual atau pengukuran innovation. Jika nilai residual adalah nol, maka hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasi sama dengan hasil pengukuran. Nilai K_k adalah faktor gain pada filter Kalman.

Algoritma Kalman Filter Diskrit

kalman filter mengestimasi satu proses melalui mekanisme kontrol umpan balik yaitu filter mengestimasi state dari proses kemudian mendapat umpan balik berupa nilai hasil pengukuran yang bercampur noise. persamaan kalman filter :

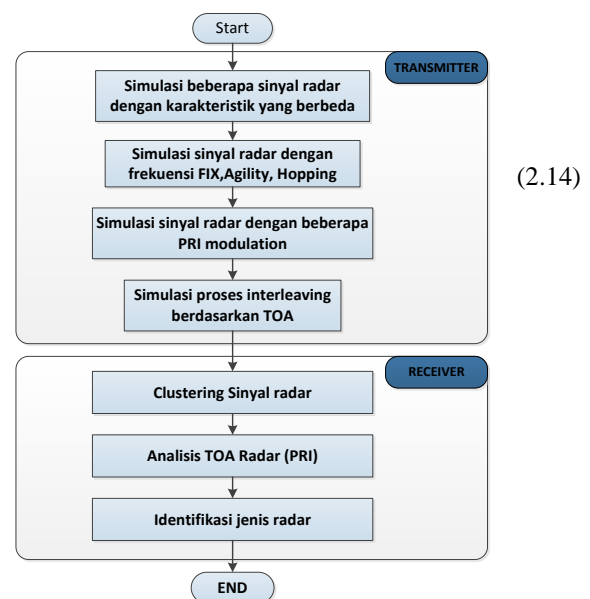
1. Update waktu (prediksi) : untuk mendapatkan nilai pra-estimasi untuk waktu step selanjutnya
2. Update pengukuran (koreksi) : untuk keperluan umpan balik seperti memadukan hasil pengukuran terbaru dengan nilai pra-estimasi untuk mendapatkan nilai pasca-estimasi yang lebih baik



Gambar 2. Kalman Filter

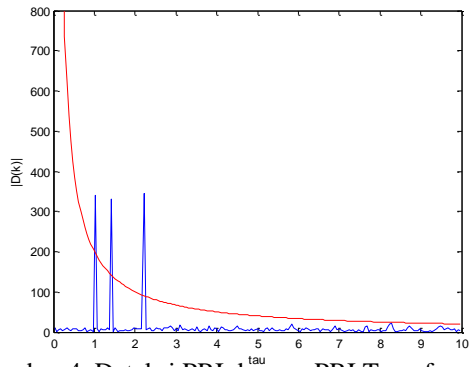
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Sinyal Radar dilakukan dengan membangkitkan berbagai jenis sinyal radar terlebih dahulu, dengan parameter yang berbeda. Kemudian dilakukan proses Deinterleaving pada sisi penerima. Deinterleaving terdiri dari dua step yaitu clustering dan Deteksi PRI melalui analisa TOA. Hanya saja pada paper ini metode yang diusulkan yaitu proses deinterleaving dengan menggunakan parameter PRI dengan tipe PRI yang berbeda-beda.



Gambar 3. Flowchart Sistem

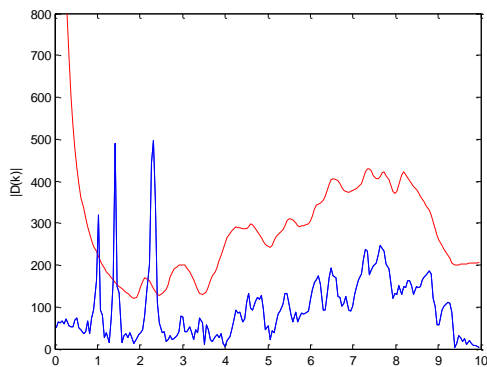
Pada Proses Deinterleaving di sisi penerima, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan clustering terhadap parameter sinyal radar. Namun pada paper ini tidak dijelaskan mengenai metode clustering. Analisa sinyal dilakukan terhadap masing-masing tipe modulasi PRI. Pada penelitian ini tipe modulasi yang coba disimulasikan adalah PRI Constant, PRI jitter, dan PRI Stagger dengan menggunakan metode yang berbeda.



Gambar 4. Deteksi PRI dengan PRI Transform

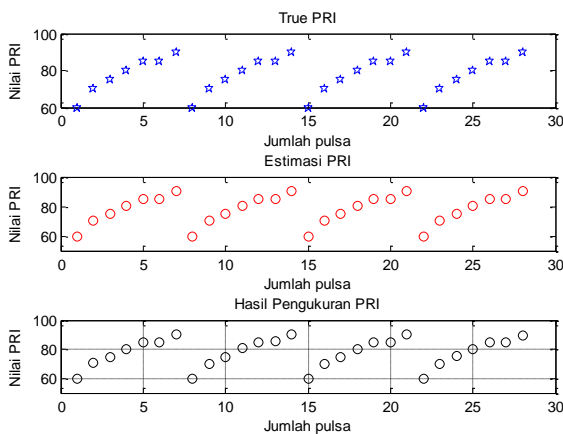
Gambar diatas merupakan hasil simulasi dari 3 radar yang memiliki tipe PRI constant namun nilai PRI yang berbeda yaitu 1us, 1.4us dan 2.25 us. Berdasarkan hasil deinterleaving dapat diketahui nilai PRI dan jumlah pulsa dari masing masing radar

Selanjutnya dilakukan simulasi PRI jitter. Gambar dibawah merupakan simulasi proses deinterleaving dari PRI jitter dengan menggunakan metode *improvement PRI transform*.



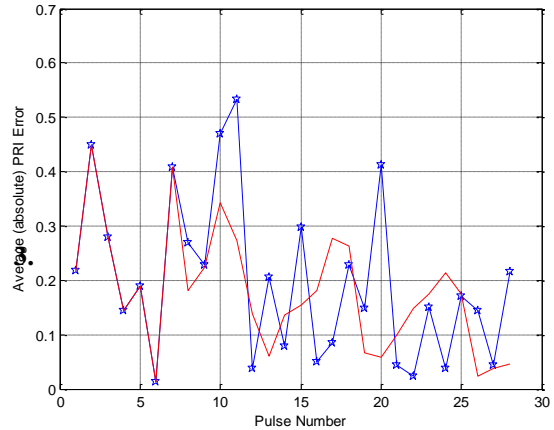
Gambar 5. Deteksi PRI dengan Improvement PRI Transform

Satu Periode PRI	60	70	75	80	85	85	90
------------------	----	----	----	----	----	----	----



Gambar 6. Deteksi PRI satgger dengan kalman Filter

Gambar diatas merupakan parameter inputan dari radar dengan PRI stagger. Metode kalman filter dilakukan untuk mendeteksi PRI stagger yang memiliki nilai PRI yang berubah terhadap waktu



Gambar 7. Estimasi Error dan Pengukuran Error dari Kalman Filter

Gambar diatas merupakan hasil perbandingan error yang dihasilkan yaitu error hasil estimasi dan pengukuran dari kalman filter.

Pengaplikasian Pada system :

$$TOA_n = TOA_0 + \sum_{i=1}^n PRI_i + \sum_{i=1}^n w_i \quad (19)$$

• Nilai pengukuran TOA ($TOA_0 = 0$)

$$\tau_n = \sum_{i=1}^n PRI_i + \sum_{i=1}^n w_i + v_n \quad (20)$$

dimana $PRI_i = PRI_{i+N}$

• Nilai Pengukuran PRI = $\tau_n - \tau_{n-1}$

$$= PRI_n + w_n + v_n + v_{n-1} \quad (21)$$

• $Var (PRI \text{ pengukuran}) = \sigma_w^2 + 2\sigma_v^2$

• State vector untuk nilai PRI dalam satu periode :

$$X_k^T = [PRI_1 \quad PRI_2 \quad \dots \quad PRI_N] \quad (22)$$

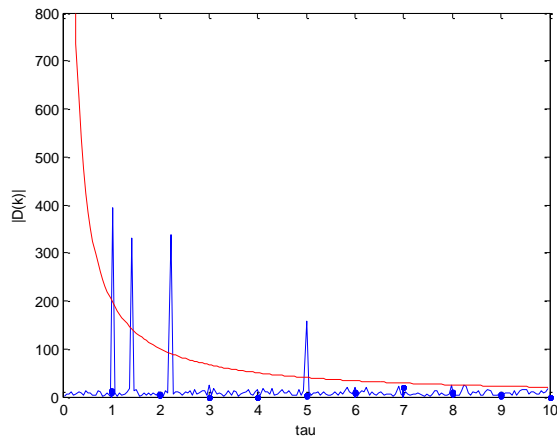
• Panjang dari vector pengukuran TOA (Y_k) tergantung dari deretan PRI :

$$K=1 \rightarrow Y_1^T = [\tau_1 \quad \tau_2 \quad \dots \quad \tau_N]$$

$$K=1 \rightarrow Y_2^T = [\tau_1 \quad \tau_2 \quad \dots \quad \tau_N]$$

•

$$Y_k^T = [\tau_{(k-1)N+1} \quad \tau_{(k-1)N+2} \quad \dots \quad \tau_{(k-1)N+N}] \quad (23)$$



Gambar 6. Deteksi PRI constant dan stagger dengan PRI transform

Gambar diatas merupakan hasil simulasi sinyal radar dengan 2 tipe PRI yang berbeda yaitu PRI constant dan PRI stagger dengan menggunakan PRI transform.

Untuk PRI constant metode ini dapat diterapkan, tetapi untuk jenis stagger hasilnya tidak sesuai dengan inputan yang diberikan.

4. Kesimpulan

Makalah ini melakukan proses deinterleaving sinyal radar dengan menggunakan parameter PRI. Metode yang digunakan yaitu PRI transform untuk proses deteksi pada jenis PRI constant dan PRI jitter. Metode Kalman Filter digunakan untuk deteksi PRI jenis stagger pada radar.

5. Daftar Pustaka

- [1] Mardia H.K, (1989): *New techniques for the deinterleaving of repetitive sequences*, *Proc. Inst. Elect. Eng. F*, vol. 136, pp. 149–154
- [2] Milojevi'c D.J, (1992): *Improved algorithm for the deinterleaving of radar pulses,* *Proc. Inst. Elect. Eng. F* vol. 139, pp.98–104
- [3] Skolnik Merrill I., (2011): *Introduction to Radar Systems*, Mc Graw hill, International Edition
- [4] Wiley G. Richard, (2000): *Elint the interception and Analysis of Radar Signal*, Artech House, London