

ESTIMASI TRAJECTORY *MOBILE ROBOT* MENGGUNAKAN METODE ENSEMBLE KALMAN FILTER SQUARE ROOT (ENKF-SR)

Teguh Herlambang, Zainatul Mufarrikoh, Firman Yudianto

Program Studi Sistem Informasi Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya (UNUSA)
teguh@unusa.ac.id

ABSTRAK

Pada paper ini dilakukan estimasi trajectory atau lintasan pada persamaan gerak mobile robot. Metode estimasi lintasan yang digunakan adalah metode Ensemble Kalman Filter Square Root (EnKF-SR). Hasil simulasi metode EnKF-SR dengan persamaan gerak mobile robot menunjukkan bahwa error yang dihasilkan ensemble kurang dari 2% baik dengan membangkitkan 200, 300 dan 400 ensemble. Error terkecil didapatkan ketika membangkitkan sejumlah 300 ensemble, di mana error posisi X ialah 0.329 m, error posisi Y yaitu 0.288 m dan error posisi sudut yaitu 0.011 m.

Kata Kunci: Mobile Robot, EnKF-SR, Estimasi Lintasan

1. Pendahuluan

Estimasi dilakukan untuk mendapatkan satu penyelesaian masalah yang membutuhkan informasi sebelumnya sehingga bisa menentukan langkah selanjutnya dalam menyelesaikan masalah tersebut. Estimasi dilakukan karena suatu masalah terkadang dapat diselesaikan dengan menggunakan informasi atau data sebelumnya yang berhubungan dengan masalah tersebut (Herlambang, 2012). Kalman *filter* merupakan suatu metode estimasi variabel keadaan dari sistem dinamik linear diskrit yang meminimumkan kovarian error estimasi (Kalman, 1960). Kalman *filter* pertama kali diperkenalkan oleh Rudolph E. Kalman pada tahun 1960 yaitu tentang suatu penyelesaian pada masalah *filtering* data-diskrit yang linear. Namun pada keadaan yang sesungguhnya, seringkali ditemukan sistem dinamik kontinu yang nonlinier sehingga memerlukan pendekatan lain yang merupakan perluasan dari kalman filter yang disebut Ensemble Kalman Filter (EnKF).

Pada metode EnKF, algoritmanya dijalankan dengan membangkitkan sejumlah ensemble tertentu untuk menghitung nilai mean dan kovariansi error variabel statenya (Herlambang, 2015a). Metode Ensemble Kalman Filter Square Root (EnKF-SR) merupakan pengembangan metode EnKF pada tahap koreksi dengan ditambahkan matriks dekomposisi. Metode ini dikembangkan untuk mengurangi waktu komputasi dan meningkatkan akurasi hasil estimasi, sehingga kebutuhan navigasi dan panduan yang cepat dan akurat dapat diperoleh (Herlambang, 2015b). Pengembangan penerapan teknik estimasi lintasan yang mengarah pada bidang robotika akan sangat bermanfaat bagi negara Indonesia karena wahana tanpa awak banyak digunakan untuk kepentingan sipil maupun militer seperti pada misi pengintaian, pengawasan dan penjelajahan ke tempat-tempat yang berbahaya bagi manusia.

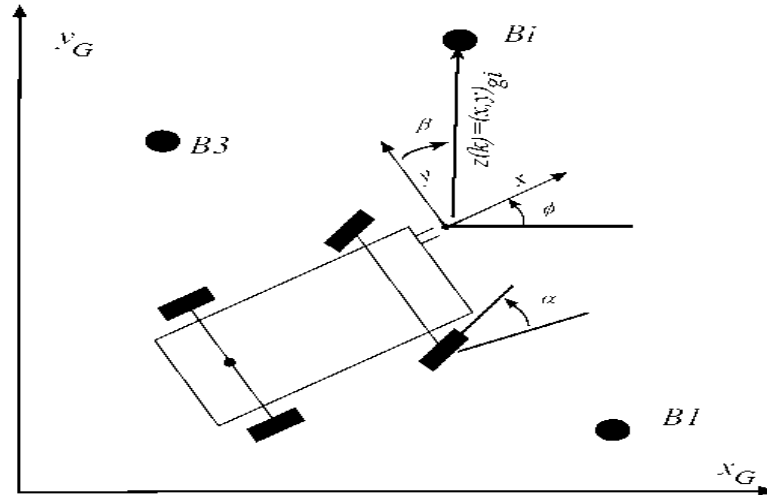
Mobile Robot merupakan salah satu wahana tanpa awak yang dapat digerakkan dan dapat dilacak atau dideteksi keberadaannya apabila dilengkapi dengan *Global Positioning System (GPS)*. *Mobile robot* digunakan untuk menggantikan fungsi manusia dalam melakukan pekerjaan yang berbahaya, karena memiliki kelebihan untuk dapat bergerak dan berpindah tempat secara bebas. Oleh karena itu *mobile robot* tersebut harus mengikuti lintasan yang ada dengan posisi yang tepat, sehingga dibutuhkan suatu metode untuk mengestimasi lintasan *mobile robot* agar dapat dengan mudah dilacak keberadaannya.

Dalam paper ini akan dilakukan suatu kajian mengenai implementasi metode EnKF-SR pada persamaan gerak *mobile robot* yang selanjutnya diterapkan untuk mengestimasi lintasan *mobile robot*, selanjutnya disimulasikan dengan software Matlab sehingga akan dihasilkan error antara lintasan yang ditentukan dengan estimasi lintasan.

2. Model Matematika dari Mobile Robot

Mobile robot atau robot mobil adalah konstruksi robot yang mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut, sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain. *Mobile robot* yang digunakan

dalam penelitian adalah *mobile robot* yang beroperasi di darat dan menggunakan roda bagian belakang sebagai alat untuk bergerak dan berpindah tempat. Sistem robot mobil dengan alat penggerak roda bagian belakang. Pada Gambar 1 menunjukkan posisi dan dimensi *mobile robot* (Miftahuddin,2011).



Gambar 1. Gambar Model Dinamik *Mobile Robot*

GPS dipasang tepat pada bagian titik tengah mobil. Sistem kemudi dan sudut bagian depan ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam kasus ini data berbentuk diskrit dan sistemnya *nonlinear*. Persamaan sistem dinamik dari robot mobil didefinisikan sebagai berikut (Miftahuddin,2011):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_c \cos(\phi) - \frac{v_c}{L} (a \sin(\phi) + b \cos(\phi)) \tan(\alpha) \\ v_c \sin(\phi) + \frac{v_c}{L} (a \cos(\phi) - b \sin(\phi)) \tan(\alpha) \\ \frac{v_c}{L} \tan(\alpha) \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana

x, y : posisi robot mobil pada sistem koordinat GPS

ϕ : posisi sudut robot mobil

v_c : kecepatan robot mobil

α : sudut kemudi robot mobil

L : Jarak antara roda depan dengan roda belakang

a : Jarak antara titik tengah mobil bagian belakang dengan posisi GPS

b : Jarak antara titik pusat mobil dengan posisi GPS

3. Ensemble Kalman Filter Square Root (EnKF-SR)

Algoritma Ensemble Kalman Filter Square Root (EnKF-SR) merupakan pengembangan dari algoritma EnKF pada tahap koreksi, di mana terdapat *Singular Value Decomposition* (SVD) dan matriks akar kuadrat. SVD adalah suatu matriks dalam bentuk perkalian matriks diagonal yang berisi nilai-nilai singularnya, dengan matriks yang berisi vektor-vektor singular yang bersesuaian (Apriliani dan Sanjaya, 2007). Dekomposisi nilai singular merupakan teknik yang telah digunakan secara luas untuk mendekomposisikan matriks ke dalam beberapa matriks komponen (Hasbullah, 2011). Berikut merupakan Algoritma Ensemble Kalman Filter Square Root (EnKF-SR) yang dapat dirangkum seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

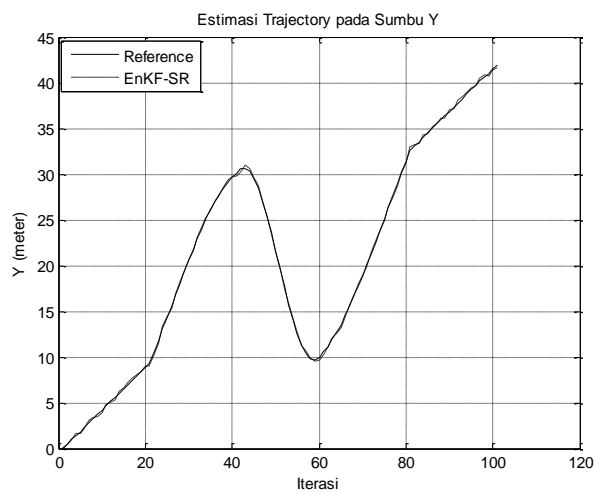
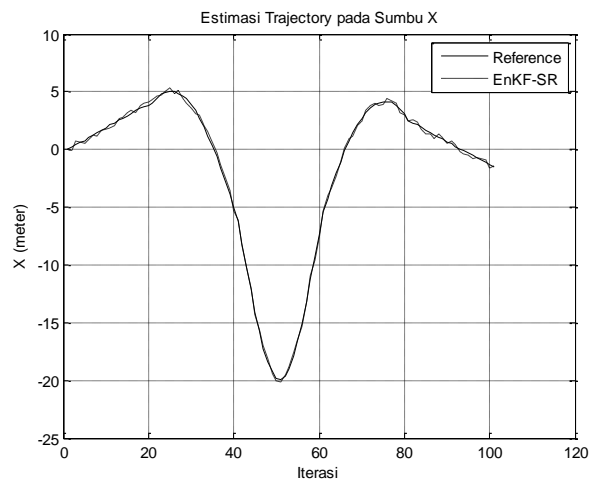
Tabel 1. Algoritma Ensemble Kalman Filter Square Root (Herlambang, 2015b)

Model sistem dan Model Pengukuran
$x_{k+1} = f(u_k, x_k) + w_k, w_k \sim N(0, Q_k)$ $z_k = Hx_k + v_k, v_k \sim N(0, R_k)$
Inisialisasi
<p>Bangkitkan N ensemble sesuai dengan tebakan awal \bar{x}_0</p> $x_{0,i} = [x_{0,1} \ x_{0,2} \ x_{0,3} \ \dots \ x_{0,N}]$ <p>Mean Ensemble awal : $\bar{x}_{0,i} = x_{0,i} \mathbf{1}_N$</p> <p>Ensemble error awal : $\tilde{x}_{0,i} = x_{0,i} - \bar{x}_{0,i} = x_{0,i} (I - \mathbf{1}_N)$</p>
Tahap Prediksi
$\hat{x}_{k,i}^- = f(\hat{x}_{k-1,i}^-, u_{k-1,i}) + w_{k,i} \quad \text{dimana } w_{k,i} \sim N(0, Q_k)$ <p>Mean Ensemble : $\bar{x}_{k,i}^- = \hat{x}_{k,i}^- \mathbf{1}_N$</p> <p>Error Ensemble : $\tilde{x}_{k,i}^- = \hat{x}_{k,i}^- - \bar{x}_{k,i}^- = \hat{x}_{k,i}^- (I - \mathbf{1}_N)$</p>
Tahap Koreksi
$z_{k,i} = z_k + v_{k,i} \quad \text{dimana } v_{k,i} \sim N(0, R_k)$ $S_k = H\tilde{x}_{k,i}^-, E_k = (v_1, v_2, \dots, v_N), \text{ and } C_k = S_k S_k^T + E_k E_k^T$ <p>Mean Ensemble : $\bar{x}_{k,i} = \bar{x}_{k,i}^- + \tilde{x}_{k,i}^- S_k^T C_k^{-1} (\bar{z}_{k,i} - H\bar{x}_{k,i}^-)$</p> <p>Skema Akar kuadrat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dekomposisi nilai eigen dari $C_k = U_k \Lambda_k U_k^T$ - menghitung matriks $M_k = \Lambda_k^{-1/2} U_k^T S_k^-$ - menentukan SVD dari $M_k = Y_k L_k V_k^T$ <p>Error Ensemble : $\tilde{x}_{k,i} = \tilde{x}_{k,i}^- V_k (I - L_k^T L_k)^{1/2}$</p> <p>Estimasi Ensemble : $\hat{x}_{k,i} = \tilde{x}_{k,i} + \bar{x}_{k,i}$</p>

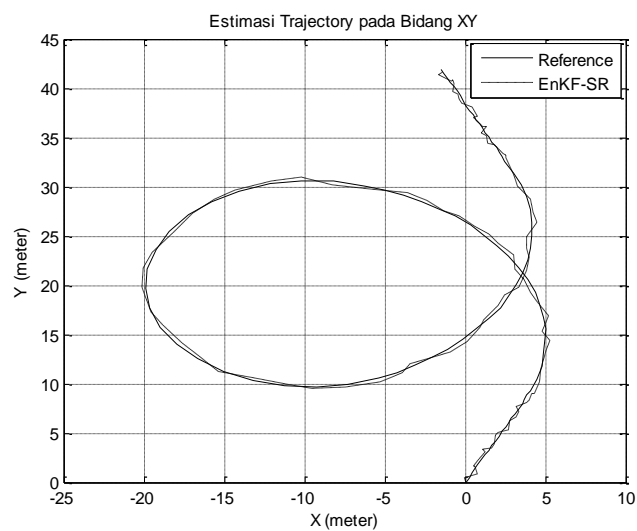
4. Hasil Simulasi dan Analisa

Pada penelitian ini sistem navigasi dan panduan mobile robot menggunakan metode EnKF-SR dengan membangkitkan 200, 300 dan 400 ensemble. Perbandingan jumlah ensemble menunjukkan bahwa dengan membangkitkan ensemble sejumlah 300 lebih baik daripada 200 dan 400 ensemble, sehingga pada analisa hasil akan dibahas perbandingan metode dengan jumlah ensemble 300 dan pada lintasan yang sama.

Pada Simulasi ini menggunakan $\Delta t = 0,1$ serta dengan membangkitkan ensemble sejumlah 200, 300 dan 400 ensemble. Titik awal yang diberikan pada setiap lintasan $x(0) = 0, y(0) = 0$, dan $z(0) = 0$. Hasil Simulasi ditunjukkan oleh hasil estimasi lintasan pada bidang XY dengan menggunakan EnKF-SR serta membangkitkan 300 ensemble pada Gambar 2c. Selain itu ditampilkan tabel nilai rata-rata RMSE dengan membangkitkan 200, 300 dan 400 ensemble terdapat pada Tabel 2.



(a) (b)



(c)

Gambar 2. (a) Estimasi Trajectory pada Sumbu X, (b) Estimasi Trajectory pada Sumbu Y, (c) Estimasi Trajectory pada Bidang XY

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa *mobile robot* mengikuti lintasan yang telah ditentukan baik pada bidang X, bidang Y maupun bidang XY, di mana hasil estimasi trajectory dengan

menggunakan metode EnKF-SR memiliki akurasi yang tinggi dengan error posisi kurang 2%. Error yang didapatkan ketika 2% adalah untuk posisi X yaitu 0.7 m, untuk posisi Y 0.9 m. dimana error terkecil didapatkan ketika membangkitkan ensemble sejumlah 300 dengan error posisi X ialah 0.329 m, error posisi Y yaitu 0.288 m dan error posisi sudut yaitu 0.011 m. Error yang didapatkan pada simulasi dengan membangkitkan 200-400 ensemble yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Nilai RMSE Berdasarkan Pembangkitkan 200, 300 dan 400 Ensemble

	200	300	400
Posisi X	0.34541 m	0.3297 m	0.4423 m
Posisi Y	0.36146 m	0.2881 m	0.41504 m
Posisi Sudut	0.013334 m	0.011533 m	0.0124 m
Waktu simulasi	4.0938 s	5.6875 s	7.4844 s

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa simulasi dapat disimpulkan bahwa metode Ensemble Kalman Filter Square Root (EnKF-SR) dapat digunakan untuk estimasi trajectory *mobile robot* dengan error yang dihasilkan skurang dari 2%, di mana error terkecil didapatkan ketika membangkitkan sejumlah 300 ensemble dengan error posisi X ialah 0.329 m, error posisi Y yaitu 0.288 m dan error posisi sudut yaitu 0.011 m.

5. Daftar Pustaka

- Apriliani, E., dan Sanjaya, B.A., 2007, *Reduksi Rank pada Matriks-Matriks Tertentu*, Laporan Penelitian Hibah Pasca, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hasbullah, H., 2011, "Algoritma Adaptive Covariane Rank Unscented Kalman Filter untuk Estimasi Ketinggian dan Kecepatan Aliran Sungai", *Tesis Magister Jurusan Matematika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.*
- Herlambang, T. (2012), "Akar Kuadrat Ensemble Kalman Filter (AK-EnKF) untuk Estimasi Posisi Peluru Kendali", *Tesis Magister, Jurusan Matematika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.*
- Herlambang, T., Djatmiko E.B and Nurhadi H., 2015a "Navigation and Guidance Control System of AUV with Trajectory Estimation of Linear Modelling", *Proc. of International Conference on Advance Mechatronics, Intelligent Manufactre, and Industrial Automation, IEEE , ICAMIMIA 2015, Surabaya, Indonesia, pp. 184-187, Oct 15 – 17*
- Herlambang, T., Djatmiko E.B and Nurhadi H., 2015b, "Ensemble Kalman Filter with a Square Root Scheme (EnKF-SR) for Trajectory Estimation of AUV SEGOROGENI ITS", *International Review of Mechanical Engineering IREME Journal, Vol. 9, No. 6. Pp. 553-560, ISSN 1970 – 8734. Nov.*
- Kalman, R.E., 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *ASME Journal of Basic Engineering, Vol 82, pp. 35-45.*