

## INTISARI

*High frequency surface wave radar* (HFSWR) merupakan radar yang bekerja pada pita *high frequency* (HF) dan memanfaatkan ragam perambatan gelombang permukaan (*surface wave*) yang menyusuri permukaan air laut. Salah satu implementasi dari radar ini adalah untuk deteksi dan pelacakan kapal yang berlayar pada cakupan wilayah radar. HFSWR berjenis radar primer, sehingga kapal sebagai sasaran radar bersifat pasif. Kapal tidak perlu memancarkan isyarat khusus sebagaimana terjadi pada *automatic identification system* (AIS). Dengan kemampuan tersebut, HFSWR dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kapal-kapal yang berlayar secara ilegal serta mematikan perangkat AIS. Permasalahannya adalah HFSWR memiliki resolusi spasial yang rendah, sehingga kapal bermanuver tinggi menjadi tantangan berat dalam pengembangan algoritma pelacakan kapal. Untuk pengembangan algoritma tersebut, data radar untuk kapal bermanuver tinggi diperlukan untuk pengujian algoritma pelacakan, namun gerak kapal yang termuat pada data uji baik data empiris maupun analitis masih sangat terbatas.

Penelitian ini mengembangkan metode pembangkitan data untuk pengujian algoritma pelacakan kapal pada HFSWR berdasarkan suatu model matematis. Metode yang dikembangkan dapat menghasilkan peta Jarak-Doppler dari setiap sasaran yang berada pada daerah radar. Untuk membangkitkan gerak kapal manuver tinggi, penelitian ini mengusulkan penggunaan model *Maneuvering Modeling Group* (MMG) yang dikenal pada bidang teknik kelautan dan arsitektur. Model ini memungkinkan menghasilkan data untuk berbagai manuver kapal dengan fleksibilitas dan akurasi yang tinggi. Selanjutnya, metode pengujian dirumuskan dan diujikan pada beberapa algoritma pelacakan kapal.

Penelitian yang dilakukan memiliki kontribusi dan kebaruan pada penggunaan model MMG untuk menghasilkan data radar untuk kapal bermanuver tinggi. Metode analisis kinerja algoritma pelacakan kapal pada HFSWR telah berhasil dilakukan dengan tiga jenis gerakan yaitu gerak lurus, gerak melingkar, dan gerakan zig-zag yang dihasilkan dengan model MMG.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pelacak *Extended Kalman Filter* (EKF) memiliki galat paling kecil untuk lintasan linier dengan RMSE posisi absolut, jangkauan radial, sudut serong, dan kecepatan berturut-turut adalah 0,411 km, 0,116 km, 0,453°, dan 0,003 m/s. Untuk lintasan kapal bermanuver, kinerja *Unscented Kalman Filter* (UKF) lebih baik daripada EKF. RMSE posisi absolut, jarak radial, sudut serong, dan kelajuan radial adalah 0,742 km, 0,186 km, 0,848°, dan 0,154 m/s.

**Kata Kunci :** radar, *over the horizon* (OTH), *high frequency surface wave radar* (HFSWR), deteksi kapal, pelacakan kapal, mitigasi *clutter* laut.

## ABSTRACT

High-frequency surface wave radar (HFSWR) is a radar that works in the high frequency (HF) band and with a surface wave propagation mode where the radar wave propagates along the sea surface. One of the implementations of this radar is for detecting and tracking ships sailing within the radar coverage area. HFSWR is a primary radar type, so the ship as a radar target is passive. The ship does not need to emit special signals, as with the automatic identification system (AIS). With this capability, HFSWR can be used to detect ships sailing illegally and turn off AIS devices. The problem is that the HFSWR has low spatial and temporal resolutions, which makes tracking maneuver vessels a considerable challenge in developing tracking algorithms. Beside, the data are required to evaluate the ship tracking algorithm, but the data for high maneuver vessel is unavailable for both empirical and analytical data.

This research develops a data generation method based on a mathematical model for testing ship tracking algorithms on the HFSWR. The method can provide Range-Doppler maps for all targets on the radar scene. This research proposes to use the Maneuvering Modeling Group (MMG) model to generate the data of high-maneuvering ship. This MMG model is able to generate various ship maneuvers with high flexibility and accuracy. Next, the evaluation method is defined and implemented for some ship tracking algorithms.

This research has successfully developed the HFSWR signal model which has novelty and contribution on the use of MMG model for generating radar data for high maneuver ships. A method for assessing the ship tracking algorithms in HFSWR has been constructed which includes the types of motion are straight, circular, and zig-zag motion generated by the MMG model. The results show that the extended Kalman filter (EKF) tracker performs best with absolute position error, radial distance, angle, and respective speeds 0.411 km, 0.116 km, 0.453°, and 0.003 m/s. For maneuvering ship trajectories, the performance of Unscented Kalman Filter (UKF) is better than EKF. The RMSE of absolute position, radial distance, obliquity angle, and radial speed are 0.742 km, 0.186 km, 0.848°, and 0.154 m/s

**Keywords---**Radar, over the horizon (OTH), high frequency surface wave radar (HFSWR), ship detection, ship tracking, sea clutter mitigation.