



INTISARI

Prediksi arus permukaan laut memiliki peran penting dalam pemahaman dinamika laut dan implikasinya terhadap berbagai kegiatan lingkungan dan sosial ekonomi, seperti navigasi, pengelolaan perikanan, dan efisiensi operasional wilayah pesisir. Perairan Indonesia menghadapi kondisi hidrodinamika laut yang sangat dinamis dan kompleks karena menjadi jalur penghubung tropis utama antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia melalui *Indonesian Throughflow* (ITF), yang berperan vital dalam sirkulasi termohalin global. Hal tersebut mempengaruhi variabilitas arus dan transport volume yang sangat tinggi di selat-selat utama, salah satunya adalah Selat Bali. Sebagai salah satu wilayah yang dilalui jalur strategis sistem ITF yang menghubungkan Laut Jawa dan Samudera Hindia, Selat Bali memiliki hidrodinamika yang sangat dinamis dan memiliki pola arus yang kompleks. Prediksi arus permukaan laut dalam hal tersebut menjadi sangat penting mengingat Selat Bali merupakan jalur pelayaran yang padat dengan aktivitas transportasi dan perikanan. Kondisi arus yang kuat dapat menjadi faktor *leverage* untuk kondisi gelombang tinggi yang sangat berbahaya bagi keselamatan transportasi. Selain itu, prediksi arus permukaan laut memiliki aplikasi penting lainnya termasuk operasi pencarian dan penyelamatan, respons tumpahan minyak, prediksi pergerakan polutan, peramalan cuaca, manajemen perikanan, perencanaan maritim, dan pemanfaatan lainnya di bidang oseanografi. Perkembangan terbaru dalam memprediksi arus permukaan laut telah melihat beragam pendekatan, terutama yang paling banyak digunakan adalah metode pemodelan numerik dan statistik. Namun, model tersebut membutuhkan komputasi tinggi dan sensitif terhadap parameterisasi input. Selain itu, metode statistik mengasumsikan linearitas dan tidak mampu menangkap kompleksitas dinamika laut. Sebaliknya, metode *data-driven* telah menjadi pilihan yang banyak diandalkan selama beberapa tahun terakhir, dan memiliki berbagai macam kelebihan. Namun, penelitian-penelitian sebelumnya belum mengevaluasi pengaruh pemilihan data dan model prediksi terhadap akurasi prediksi. Penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan dataset jangka panjang dari 365 hari hingga 9862 hari; dan dari 1 hari hingga 70 hari untuk dataset jangka pendek. Belum diketahui pengaruh pemilihan data dan model prediksi pada akurasi dan kesalahan prediksi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prediksi arus permukaan laut berbasis *data-driven* dengan model kombinasi *moving average*, *selective ensemble recurrent neural network* (RNN), dan teknik dekomposisi *multi-step*. Penelitian ini diselenggarakan dalam dua tahapan. Tahapan I meliputi: Telaah Model, Identifikasi Metode Prediksi, dan Analisis Data Arus Permukaan Laut (dibandingkan dengan data pasang surut dan data angin). Tahapan II meliputi: Prediksi-I dengan berbagai model prediksi, dan Prediksi-II dengan dekomposisi. Data penelitian diambil dari data arus permukaan laut Radar HF Selat Bali, Data Pasang Surut Pelabuhan Ketapang, dan Data Angin Pelabuhan Ketapang.

Berdasarkan hasil analisis bulanan dan musiman, didapatkan bahwa bahwa arus permukaan laut Selat Bali didominasi oleh arus pasang surut dibanding arus *residual*, dengan pola pasang surut semi-diurnal. Hasil Prediksi I dari 11 model yang diimplementasikan ini menunjukkan bahwa penggunaan sub-model *moving-average* pada model prediksi, terutama pada model F1, F5, dan F8, akan meningkatkan nilai R^2 . Selain itu, kesesuaian karakteristik antara data *training* dan *testing*-nya akan mengurangi kesalahan prediksi. Hasil Prediksi II yang mempertimbangkan berbagai faktor penggerak arus dengan mengaplikasikan mode dekomposisi *multi-step* yang diintegrasikan dalam algoritma *selective ensemble* RNN menunjukkan peningkatan nilai R^2 sebesar 38-49% dan menurunkan tingkat kesalahan sebesar 15-28%. Penelitian berikutnya di masa depan dapat mengaplikasikan implementasi konfigurasi prediksi terbaik yang telah ditemukan untuk menunjang keakurasian prediksi yang lebih tinggi pada aplikasi operasi prediksi arus permukaan laut *real-time*.

Kata kunci: Arus Permukaan Laut, Prediksi, Radar HF



ABSTRACT

Ocean surface current prediction plays a crucial role in understanding ocean dynamics and their implications for various environmental and socio-economic activities, including navigation, fisheries management, and coastal zone operational efficiency. Indonesian waters face highly dynamic and complex marine hydrodynamic conditions due to their role as the primary tropical connecting pathway between the Pacific and Indian Oceans through the Indonesian Throughflow (ITF), which plays a vital role in global thermohaline circulation. This influences the extremely high variability of currents and volume transport in major straits, one of which is Bali Strait. As one of the regions traversed by the strategic ITF system pathway, Bali Strait has highly dynamic hydrodynamics and complex current patterns. Ocean surface current prediction in this context becomes extremely important considering that Bali Strait is a busy shipping route with dense transportation and fishing activities. Strong current conditions can serve as a leverage factor for high wave conditions that are extremely dangerous for transportation safety. Furthermore, sea surface current prediction has other important applications including search and rescue operations, oil spill response, pollutant movement prediction, weather forecasting, fisheries management, maritime planning, and other oceanographic applications. Recent developments in predicting sea surface currents have seen various approaches, with numerical modeling and statistical methods being the most widely used. However, these models require high computational resources and are sensitive to input parameterization. Additionally, statistical methods assume linearity and are unable to capture the complexity of ocean dynamics. Conversely, data-driven methods have become a widely relied upon choice in recent years and have various advantages. However, previous studies have not evaluated the influence of data selection and prediction models on prediction accuracy. Previous research used long-term datasets ranging from 365 to 9862 days, and short-term datasets ranging from 1 to 70 days. The influence of data selection and prediction models on accuracy and prediction errors remains unknown.

This study aims to develop a comprehensive ocean surface current prediction based on data-driven with the model of moving-average combinations, ensemble recurrent neural network (RNN), and multi-step decomposition technique. The research is conducted in two stages. Stage I includes: Model Literature Review, Prediction Model Identification, and Ocean Surface Current Data Analysis (compared with tidal and wind data). Stage II includes: Prediction-I with various model, and Prediction-II with decomposition. Research data were obtained from HF Radar Bali Strait, Tidal Data from Ketapang Port, and Wind data from Ketapang Port.

Based on the results of monthly and seasonal analysis, confirm that Bali Strait surface currents are dominated by tidal currents rather than residual currents, with semi-diurnal tidal patterns. Prediction I results from 11 implemented models show that that incorporating moving-average variables, especially the model of F1, F5, and F8, improved R^2 values significantly. Furthermore, aligning the characteristics of training and testing datasets reduced prediction errors effectively. Prediction II results that consider various driving factors of sea surface currents by applying a multi-level decomposition mode integrated into the selective ensemble RNN algorithm, show an improvement in R^2 values by 38–49% and a reduction in error rates by 15–28%. Future research can be applied to implement these optimized configurations to achieve even higher prediction accuracy in the real-time operational applications for ocean surface current forecasting.

Keywords: Ocean Surface Current, Prediction, HF Radar.