

Prediksi Gelombang Berbasis *Time-Series* Menggunakan Model Informer: Studi Kasus di Pelabuhan Ratu

Nurwulan Handayani¹, Didit Adytia², Indra A. Aditya³, Hendri Bhirowo⁴

^{1,2}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

^{3,4}Divisi Penelitian, PLN Research Institute, Jakarta

¹nwulanhanoex@student.telkomuniversity.ac.id, ²adytia@telkomuniversity.ac.id,

³indra.aditya@pln.co.id, ⁴hendri.bhirowo@pln.co.id

Abstrak

Prediksi tinggi gelombang merupakan komponen penting dalam operasi maritim, termasuk navigasi kapal dan perencanaan keselamatan. Penelitian ini mengevaluasi model Informer, sebuah arsitektur transformer mutakhir, untuk memprediksi tinggi gelombang di Pelabuhan Ratu, Indonesia. Data yang digunakan berasal dari reanalisis ERA-5, mencakup periode Januari 2014 hingga Januari 2024. Penelitian ini mengevaluasi kinerja model Informer pada horizon prediksi 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 30 hari. Dengan mekanisme perhatian jarang (sparse attention) dan efisiensi dalam menangani data deret waktu panjang, model Informer mampu menangkap pola gelombang yang kompleks secara efektif. Analisis komparatif menunjukkan bahwa Informer mencapai akurasi superior dengan MSE sebesar 0,0055, RMSE 0,0743, dan koefisien korelasi (CC) 0,9676 untuk prediksi 30 hari. Sebagai perbandingan, model Transformer memiliki MSE 0,0103, RMSE 0,1014, dan CC 0,9917. Hasil ini menyoroti keunggulan Informer dalam prediksi jangka panjang, menawarkan prakiraan tinggi gelombang yang lebih akurat dan andal. Secara keseluruhan, temuan ini menggarisbawahi potensi model Informer dalam meningkatkan operasi maritim melalui peningkatan akurasi prediksi dan keselamatan operasional.

Kata kunci : prediksi tinggi gelombang, transformer, informer

Abstract

Wave height prediction is essential for maritime operations, such as ship navigation and safety planning, which rely on accurate forecasts of ocean wave data. This study investigates the Informer model, a state-of-the-art transformer-based architecture, for forecasting wave heights in Pelabuhan Ratu, Indonesia. Using reanalysis data from ERA-5, spanning January 2014 to January 2024, the study evaluates the Informer's performance in forecasting 3-day, 7-day, 14-day, and 30-day horizons. The model's sparse attention mechanism and efficient handling of long time-series data enable it to capture complex wave patterns effectively. Comparative analysis with the Transformer model reveals that the Informer achieves superior accuracy, with an MSE of 0.0055, RMSE of 0.0743, and a CC of 0.9676 for 30-day predictions. In contrast, the Transformer achieves an MSE of 0.0103, RMSE of 0.1014, and a CC of 0.9917. These results highlight the Informer's advantage in long-term predictions, offering more precise and reliable wave height forecasts. Overall, the findings underscore the Informer model's potential to enhance maritime operations by improving forecasting accuracy and operational safety.

Keywords: Wave height forecasting, Transformer, Informer.

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Gelombang laut merupakan fenomena alam yang terjadi akibat interaksi antara angin dan permukaan laut, yang menghasilkan pola gelombang yang sangat dinamis dan kompleks. Gelombang ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan angin, kedalaman laut, serta kondisi atmosfer. Fenomena gelombang laut memiliki dampak signifikan terhadap operasi maritim, terutama dalam navigasi kapal dan keselamatan pelayaran. Ketidakpastian mengenai tinggi gelombang dapat menyebabkan kerusakan pada kapal, gangguan jadwal pelayaran, dan bahkan menimbulkan risiko keselamatan bagi kru kapal dan penumpang. Oleh karena itu, prediksi tinggi gelombang yang akurat menjadi krusial untuk memberikan informasi yang tepat mengenai kondisi laut, yang pada gilirannya dapat mengurangi potensi kecelakaan laut dan kerugian materiil pada industri maritim[1][2].

Wave forecasting menjadi sangat penting karena dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional di sektor maritim. Prediksi tinggi gelombang yang akurat memungkinkan operator kapal untuk merencanakan perjalanan dengan lebih aman dan efisien, menghindari risiko yang ditimbulkan oleh gelombang ekstrem. Meskipun berbagai metode telah digunakan untuk memprediksi tinggi gelombang, model tradisional seperti ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) dan regresi linear masih dominan. Namun, model-model ini memiliki keterbatasan dalam menangkap pola data yang kompleks dan nonlinier, yang merupakan karakteristik dari fenomena gelombang laut. Metode statistik tradisional sering kali kesulitan dalam menangani data dalam skala besar serta ketergantungan jangka panjang yang ada dalam data deret waktu [3][4].

Di sisi lain, model pembelajaran mesin yang lebih canggih, seperti Long Short-Term Memory (LSTM), meskipun memiliki kemampuan lebih baik dalam menangani ketergantungan temporal, tetap menghadapi kendala dalam hal efisiensi komputasi dan penanganan data dalam skala besar. Hal ini menunjukkan adanya gap dalam penelitian wave forecasting yang perlu diatasi, khususnya dalam pengembangan metode yang lebih efisien dan dapat menangani data deret waktu panjang dan dinamis [5]. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan mengusulkan model baru yang lebih efisien dan akurat dalam memprediksi tinggi gelombang, khususnya untuk aplikasi maritim.

Sebagai solusi untuk permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan model Informer, sebuah varian dari model transformer yang dirancang khusus untuk menangani data deret waktu panjang dengan efisiensi yang lebih tinggi. Informer menggunakan mekanisme perhatian jarang (sparse attention) yang memungkinkan model ini untuk fokus hanya pada bagian data yang paling relevan, sehingga mengurangi kompleksitas komputasi dan meningkatkan kecepatan pemrosesan tanpa mengorbankan akurasi. Dengan kemampuannya untuk menangani ketergantungan jangka panjang serta volume data dalam skala besar, Informer diharapkan dapat memberikan prediksi tinggi gelombang yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam berbagai aplikasi maritim yang membutuhkan prediksi dalam jangka panjang[6].

Penelitian ini mengambil studi kasus di Pelabuhan Ratu, sebuah kawasan pesisir yang terletak di selatan Pulau Jawa, Indonesia. Pelabuhan Ratu dipilih karena wilayah ini sering mengalami perubahan tinggi gelombang yang signifikan, yang dapat memengaruhi operasional maritim di daerah tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari reanalisis ERA-5, yang mencakup data tinggi gelombang selama periode 1 Januari 2014 hingga 15 Januari 2024. Pemilihan Pelabuhan Ratu sebagai lokasi studi didasarkan pada peran pentingnya sebagai pelabuhan strategis serta tantangan yang dihadapi dalam memprediksi kondisi gelombang laut yang dinamis di wilayah tersebut. Dengan menerapkan model Informer, diharapkan dapat dicapai peningkatan akurasi prediksi tinggi gelombang, khususnya pada horizon waktu yang lebih panjang, yang selama ini merupakan tantangan utama dalam pemodelan gelombang laut[5][6].

Topik dan Batasannya

Penelitian ini berfokus pada prediksi tinggi gelombang laut di Pelabuhan Ratu menggunakan model Informer. Data yang digunakan berasal dari reanalisis ERA-5 pada periode Januari 2014 hingga Januari 2024, yang mencakup tinggi gelombang signifikan, periode puncak, dan arah gelombang. Model Informer dipilih karena kemampuannya dalam menangani data deret waktu panjang secara efisien dengan mekanisme perhatian jarang (sparse attention). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja model Informer dengan model Transformer dalam memprediksi tinggi gelombang, menggunakan metrik seperti MSE, RMSE, koefisien korelasi (CC), R^2 , dan MAPE pada horizon waktu 3, 7, 14, dan 30 hari. Batasan dalam penelitian ini adalah penggunaan data yang hanya mencakup tinggi gelombang tanpa memperhitungkan faktor lingkungan lainnya, seperti kecepatan angin dan arus laut. Selain itu, ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada wilayah Pelabuhan Ratu, dengan evaluasi yang terbatas pada beberapa metrik utama yang meliputi MSE, RMSE, CC, R^2 , dan MAPE. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung keselamatan dan efisiensi operasional maritim.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan prediksi tinggi gelombang laut menggunakan pendekatan time series forecasting dengan model Informer. Dalam hal ini, penelitian akan mengimplementasikan model Informer untuk memprediksi tinggi gelombang di Pelabuhan Ratu dengan memanfaatkan data reanalisis ERA-5. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi performansi model Informer dalam memprediksi tinggi gelombang, dengan membandingkan hasil prediksi yang dihasilkan oleh model Informer dan Transformer pada horizon waktu 3, 7, 14, dan 30 hari, menggunakan metrik MSE, RMSE, CC, R^2 , dan MAPE. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi prediksi tinggi gelombang, yang dapat mendukung keselamatan dan operasional maritim yang lebih baik di Pelabuhan Ratu.