

Prediktor Ketinggian Gelombang Air Laut dan Kecepatan Angin Berbasis Regresi Linear Majemuk

(Studi Kasus Rute Pelayaran Surabaya – Banjarmasin)

Ryan Yudha Adhitya¹, Ratna Budiawati², Mat Sayi'in³, Ismi Zulaida Ulifah⁴, Ii' Munadhif⁵, Lucke Yuansyah⁶

^{1,2,3,4,5,6}Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id¹, ratnabudiawati@ppns.ac.id², matt.syaiin@ppns.ac.id³, ismizulaidaulifah@gmail.com⁴, iimunadhif@ppns.ac.id⁵, luckeyuansyahatp@gmail.com⁶

<i>Info Artikel</i>	<i>Abstrak</i>
<p>Article History: Received: 08 Aug 2022 Revised: 16 Aug 2022 Accepted: 24 Aug 2022</p>	<p><i>Syahbandar mengizinkan kapal berlayar merujuk pada prediksi cuaca oleh BMKG (kecepatan angin dan tinggi gelombang). Namun prediksi tersebut masih menggunakan metode perhitungan numerik yang dihasilkan dari rata-rata data cuaca pada banyak posisi di Indonesia sehingga memiliki kelemahan pada persentase keakuratannya. Penelitian ini mendesain dan merealisasikan sistem prediktor kecepatan angin dan ketinggian gelombang laut menggunakan regresi linear majemuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil prediksi regresi linear majemuk memiliki akurasi sebesar 99,98937%. Hasil prediksi ditampilkan melalui website beserta status pada setiap titik koordinat pada waypoint KM Dharma Kartika IX.</i></p>
<p>Keywords: Regresi Linear Majemuk; Prediktor; Ketinggian Gelombang Laut; Kecepatan Angin.</p>	

1. PENDAHULUAN

Penentuan keberangkatan kapal dilakukan oleh Syahbandar dengan mempertimbangkan faktor fisik kapal dan faktor alam (cuaca) karena sangat mempengaruhi keamanan pelayaran. Pada periode Januari hingga Juli 2022, terdapat 96 kejadian kecelakaan kapal laut di Indonesia¹. Berdasarkan hasil rekap investigasi kecelakaan pelayaran oleh KNKT, 91% kasus kecelakaan laut di Indonesia dari tahun 2018-2021 disebabkan oleh faktor cuaca.

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Maritim, faktor cuaca yang perlu diperhatikan dalam keselamatan pelayaran adalah kecepatan angin dan ketinggian gelombang laut. Pelayaran dinyatakan berisiko tinggi ketika kecepatan angin lebih dari 21 knot dan tinggi gelombang di atas 2,5 meter untuk ukuran kapal penumpang. Kondisi cuaca tersebut termasuk dalam peringatan dini gelombang tinggi berdasarkan ketentuan yang ditetapkan oleh WMO *Sea State Code*².

Untuk mengantisipasi cuaca buruk saat penentuan keberangkatan kapal, Syahbandar memanfaatkan prediksi cuaca (kecepatan angin dan ketinggian gelombang) oleh BMKG Maritim. Namun, prediksi tersebut masih menggunakan metode perhitungan numerik yang dihasilkan dari rata-rata data cuaca pada banyak posisi di Indonesia sehingga memiliki kelemahan pada persentase keakuratannya. Oleh karena itu, prediksi pada titik-titik koordinat yang dilalui oleh kapal sangat dibutuhkan dalam menentukan keberangkatan pelayaran.

Banyak peneliti telah melakukan prediksi dengan menggunakan pendekatan atau metode

yang berbeda-beda untuk memperoleh akurasi yang tinggi. Akan tetapi, penelitian ter¹sebut masih sebatas pada analisis prediksi di salah satu atau beberapa titik koordinat; dan belum banyak dilakukan pengembangan dalam pembuatan sistem prediktor yang dapat diakses dengan mudah. Sedangkan, sistem prediktor seharusnya dapat diakses dengan mudah melalui website maupun aplikasi pada gawai.

Dari kesenjangan penelitian sebelumnya, riset ini mendesain dan merealisasikan sistem prediktor yang berfokus pada akurasi dan aksesibilitas. Prediktor dibuat menggunakan salah satu metode statistika (regresi linear majemuk) untuk menghasilkan tingkat akurasi yang optimal. Sistem prediktor direalisasikan dalam sebuah website untuk menampilkan informasi prediksi.

Studi kasus yang digunakan dalam riset ini adalah *waypoint* KM. Dharma Kartika IX (rute pelayaran Surabaya-Banjarmasin) milik PT. Dharma Lautan Utama (DLU). Rute pelayaran tersebut terletak pada Laut Jawa dengan aktivitas transportasi laut yang padat. Prediksi dilakukan untuk mengetahui perkiraan nilai kecepatan angin dan ketinggian gelombang di seluruh titik koordinat pada satu jam kedepan untuk mendukung keberangkatan kapal dalam melakukan pelayaran.

2. LANDASAN TEORI

Regresi linear majemuk

Regresi linear majemuk merupakan model regresi linier berganda yang dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh variabel prediktor (x) yang dipangkatkan secara meningkat sampai order ke-n. Regresi linear majemuk juga dikenal sebagai regresi/urutan sebuah variabel bebas sebagai faktor dengan pangkat terurut²³. Konsep persamaan polinomial secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$f(x) = y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

Dalam model regresi linear majemuk, fungsi regresi linier terhadap koefisien regresi⁴. Jika jumlah orde atau derajat semakin banyak maka koefisien regresi bertambah sesuai jumlah ordenya. Persamaan regresi linear majemuk untuk kasus data lebih dari satu variabel memiliki konsep yang sama dengan persamaan (1); namun jumlah polinom atau suku bergantung pada jumlah variabel yang digunakan. Persamaan regresi linear majemuk dalam penelitian ini menggunakan orde satu. Penyelesaian persamaan regresi linear majemuk dilakukan dengan cara mencari nilai koefisien regresi dari tiap polinom. Persamaan (2) memperlihatkan rumus regresi linear majemuk orde satu.

$$f(x) = y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (2)$$

Geographic Information System (GIS)

GIS merupakan bentuk sistem informasi yang menyajikan informasi dalam bentuk grafis dengan menggunakan peta sebagai *interface*⁵. Pengembangan GIS saat ini digunakan pada aplikasi berbasis web atau lebih dikenal dengan webGIS. Penggunaan aplikasi ini tidak perlu memiliki *software* khusus untuk dapat mengakses webGIS; hanya diperlukan koneksi internet untuk mengakses webGIS melalui web browser yang ada (*Internet Explorer, Mozilla Fire Fox, atau Google Chrome*) untuk mendapat informasi GIS yang ada di *server*. Jangkauan penggunaan webGIS yang mendunia menjadi keunggulan *software* ini; juga biaya yang cukup murah serta *library* GIS yang bersifat *open source*.

¹ Basarnas, "Rekapitulasi Operasi SAR Juli 2022."

² BMKG, "Peringatan Gelombang Tinggi."

³ P. Muralidharan, "A Map Estimation Algorithm", 215-219.

⁴ L. Wang, "Wind Speed Frequency Distribution", 106964.

⁵ E. Prahasta, "Sistem Informasi Geografis".

3. METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini. Langkah awal dimulai dengan studi literatur untuk mengidentifikasi permasalahan dan tujuan penelitian, lalu dilakukan pengumpulan data. Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data sekunder milik BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Kelas II Tanjung Perak Surabaya; yaitu data kecepatan angin dan ketinggian gelombang pada waypoint KM. Dharma Kartika IX (sejumlah 33 titik koordinat) tahun 2017-2020. *Missing value* serta data yang muncul berulang dieliminasi pada tahap *pre-processing data*, kemudian data yang sudah bersih dikompilasi dan dipisah menjadi data pelatihan dan data uji. Data yang sudah siap selanjutnya dilatih dan diuji menggunakan metode regresi linear majemuk. Informasi hasil prediksi tersebut ditampilkan dalam website berupa GIS yang interaktif agar mudah dipahami oleh user. Seluruh tahapan yang telah dilakukan tersebut diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Training Data dengan Algoritma Regresi linear majemuk

Training dan *testing* dengan metode regresi linear majemuk memanfaatkan fungsi *polyfitn* pada software Matlab yang khusus digunakan pada jenis data yang mempunyai banyak pasangan variabel input. Fungsi ini menampilkan koefisien polinom berdasarkan orde yang digunakan untuk selanjutnya diterapkan pada data input dan output yang telah ditetapkan.

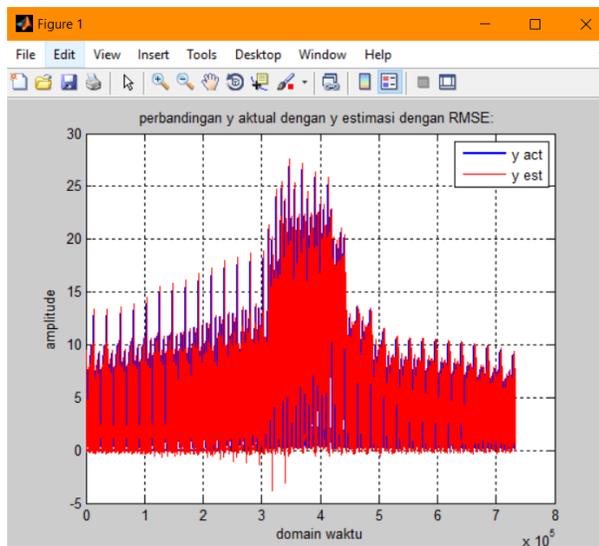
Persamaan yang dihasilkan dari koefisien polinom digunakan untuk menampilkan *curve fitting* guna membandingkan data target dan data prediksi. *Training data* dengan regresi linear majemuk dilakukan menggunakan orde paling kecil, yaitu orde satu (regresi non linear). Hasil training data kecepatan angin dapat ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini.

$$-0.037754 x_1 + 0.036306 x_2 + 0.0046599 x_3 + 0.0017617 x_4 - 0.003521 x_5 - 0.006152 x_6 + 0.020551 x_7 + 0.47205 x_8 - 1.0192 x_9 + 0.54965 x_{10} + 0.0059297 x_{11} - 0.0081909 x_{12} + 0.021877 x_{13} - 0.013706 x_{14} + 0.0093249 x_{15} + 0.0034893 x_{16} + 0.00048469 x_{17} + 0.0013427 x_{18} - 0.024948 x_{19} - 0.87174 x_{20} + 1.8563 x_{21} + 0.0078701$$

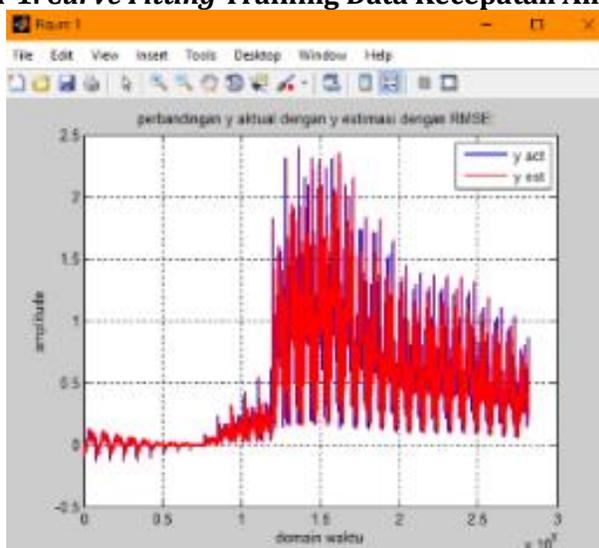
Persamaan yang dihasilkan tersebut diterapkan pada input dan output data kecepatan angin. RMSE yang dihasilkan dari persamaan tersebut adalah 0,1229. Sedangkan *training data* ketinggian gelombang menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$-0.055193 x_1 + 0.04061 x_2 + 0.071044 x_3 - 0.02262 x_4 - 0.040929 x_5 - 0.035091 x_6 - 0.013516 x_7 + 0.046139 x_8 + 0.1028 x_9 - 0.03882 x_{10} - 0.052768 x_{11} - 0.034738 x_{12} - 0.011196 x_{13} + 0.045396 x_{14} + 0.073354 x_{15} - 0.037074 x_{16} - 0.066943 x_{17} - 0.11601 x_{18} - 0.18904 x_{19} - 0.049974 x_{20} + 1.3841 x_{21} + 0.00020185$$

Persamaan tersebut menghasilkan RMSE 0,006 pada training data ketinggian gelombang. Gambar 1 dan 2 menampilkan *curve fitting* hasil training data. Warna biru mewakili data aktual sedangkan warna merah mewakili data prediksi. Karena training data dengan orde satu sudah mampu menghasilkan nilai *error* yang kecil, maka orde ini dianggap sudah cukup untuk melakukan prediksi.

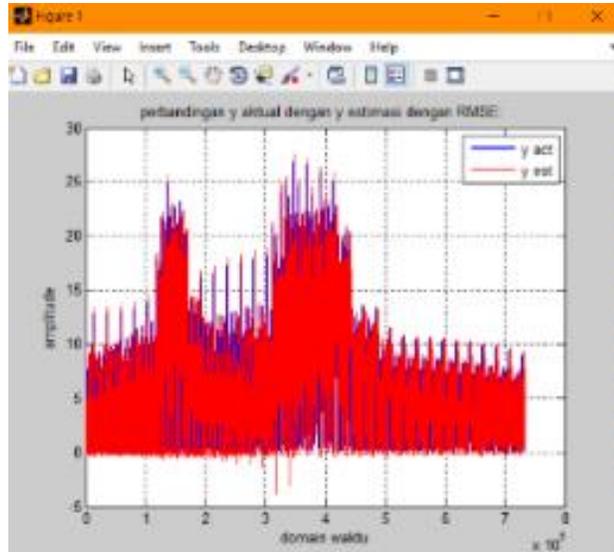


Gambar 1. *Curve Fitting* Training Data Kecepatan Angin

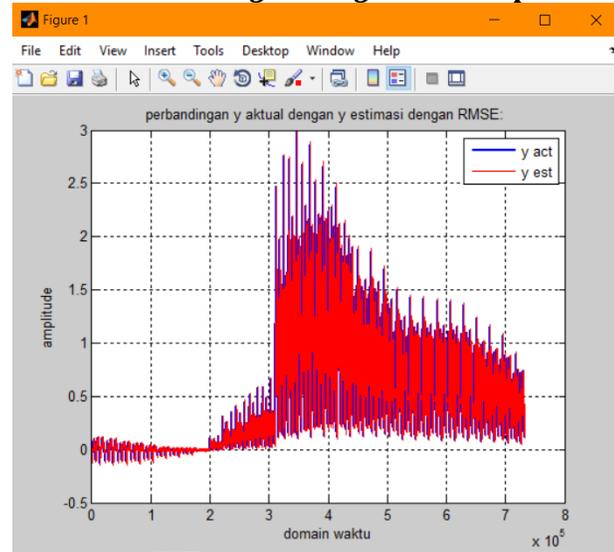


Gambar 2. *Curve Fitting* Training Data Ketinggian Gelombang
Testing Data dengan Algoritma Regresi linear majemuk

Testing data dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dihasilkan pada *training* untuk melakukan prediksi. Berdasarkan persamaan yang diterapkan pada *data testing*, dihasilkan nilai RMSE 0,1271 untuk data kecepatan angin dan 0,006 untuk data ketinggian gelombang. Gambar 3 dan 4 menampilkan *curve fitting* hasil testing data.



Gambar 3. Curve Fitting Testing Data Kecepatan Angin,



Gambar 4. Curve Fitting Testing Data Kecepatan Angin,

Analisis Hasil Prediksi

Website yang dibangun menetapkan 2 kondisi untuk nilai *threshold*, yaitu “AMAN” dan “BAHAYA”. Kondisi dinyatakan aman apabila tidak ada nilai kecepatan angin dan ketinggian gelombang yang mencapai nilai yang telah ditetapkan; dan bahaya apabila salah satu parameter mencapai nilai yang ditetapkan (kecepatan angin = 21 knot; ketinggian gelombang = 2,5 meter).

Nilai *threshold* tersebut dijadikan pertimbangan untuk menghitung nilai akurasi. Jika hasil prediksi menunjukkan kondisi sesuai dengan data aktual maka prediksi tersebut dinyatakan benar. Namun jika hasil prediksi menunjukkan kondisi yang berbeda dengan data aktual maka prediksi tersebut dinyatakan salah. Perhitungan nilai akurasi mengacu pada rumus berikut.

$$akurasi = \frac{jumlah\ prediksi\ benar}{jumlah\ data\ keseluruhan} \times 100\%$$

Tabel. 1
Perbandingan Jumlah Prediksi Benar dan Salah

Data Kecepatan Angin		Data Ketinggian Gelombang	
Jumlah Prediksi Benar	Jumlah Prediksi Salah	Jumlah Prediksi Benar	Jumlah Prediksi Salah
282180	30	282210	0

Tabel 1 menampilkan perbandingan jumlah prediksi benar dan salah pada metode regresi linear majemuk. Berdasarkan data tersebut, dapat dilakukan perhitungan nilai akurasi dari kedua metode sebagai berikut.

$$akurasi \text{ regresi linear majemuk} = \frac{282180}{282210} \times 100\%$$

$$akurasi \text{ regresi linear majemuk} = 99,98937\%$$

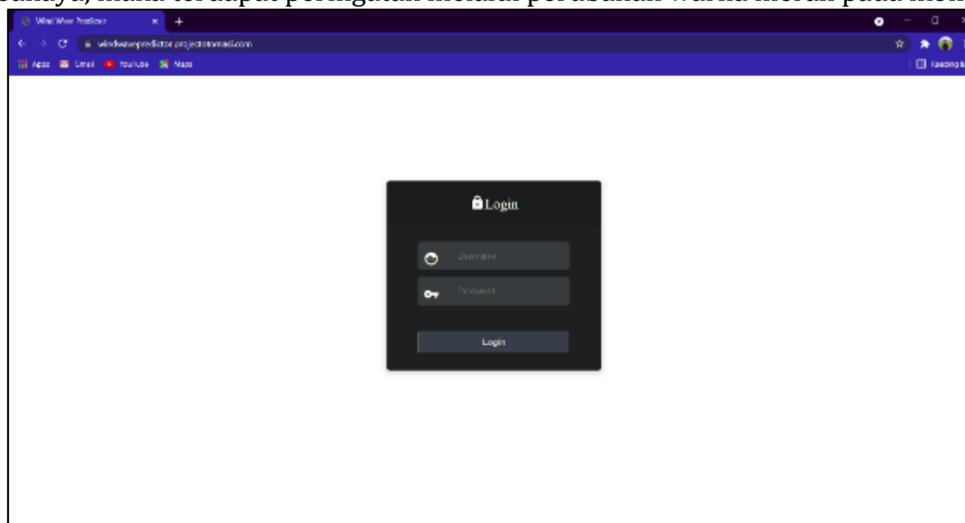
Selain membandingkan nilai akurasi, analisis ini juga membandingkan nilai error yang dihasilkan dari hasil prediksi menggunakan kedua metode yang digunakan. Tabel 2 menunjukkan nilai RMSE hasil prediksi regresi linear majemuk.

Tabel. 2
Perbandingan Nilai RMSE

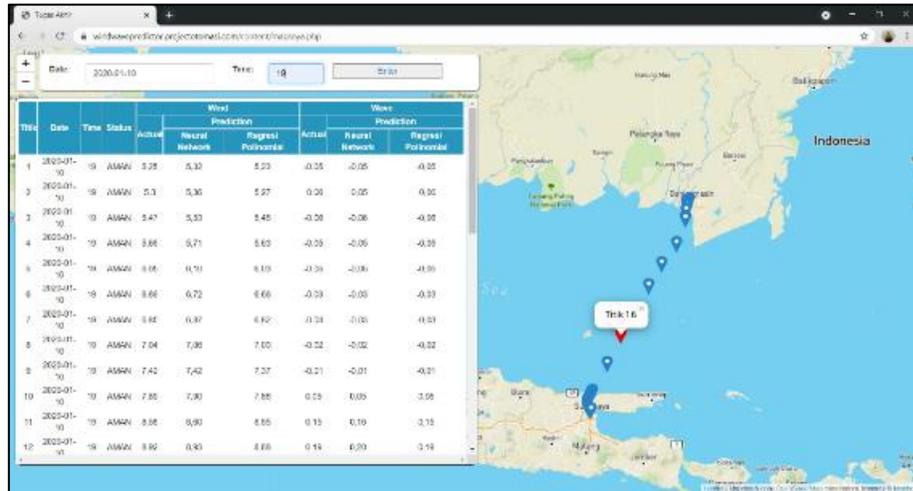
RMSE Data Kecepatan Angin	RMSE Data Ketinggian Gelombang
0,1271	0,006

Pembuatan Website

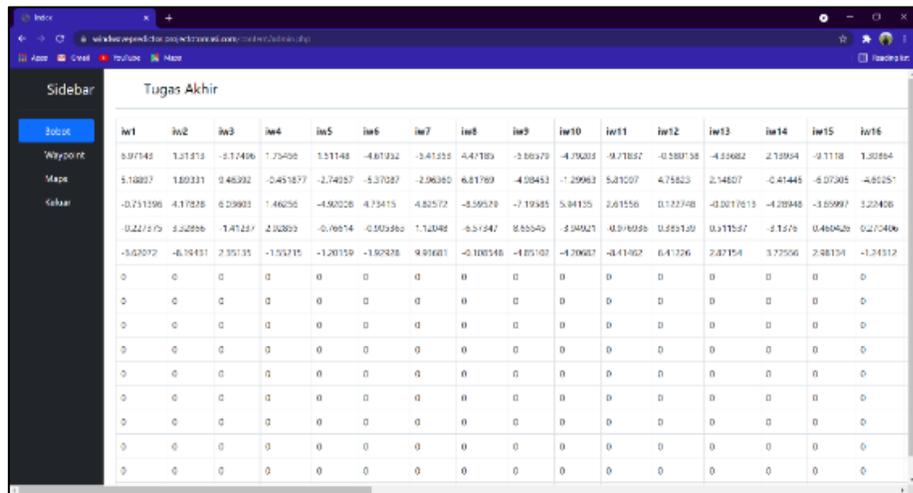
Secara garis besar, terdapat 2 bagian pada *website* yang dibangun, yaitu *frontend* dan *backend* yang ditunjukkan oleh Gambar 5 sampai dengan 8. Bagian *frontend* merupakan halaman yang berinteraksi langsung dengan user, sedangkan *backend* hanya dapat diakses oleh admin untuk melakukan aksi seperti perubahan atau penghapusan pada menu bobot atau *waypoint*. Halaman utama pada *website* ini adalah halaman informasi. Pada halaman ini ditampilkan perbandingan nilai prediksi regresi linear majemuk serta nilai aktual pada waktu yang telah dipilih. Jika terdapat titik koordinat yang berstatus bahaya, maka terdapat peringatan melalui perubahan warna merah pada ikon lokasi.



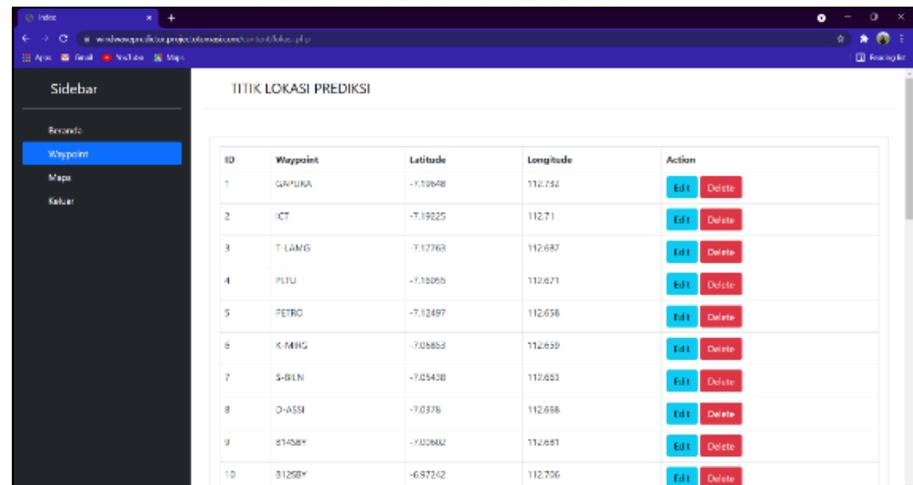
Gambar 5. Frontend halaman login



Gambar 6. Frontend Halaman Informasi



Gambar 7. Backend menu bobot



Gambar 8. Backend menu waypoint

5. KESIMPULAN

Algoritma regresi linear majemuk orde satu dengan memanfaatkan fungsi polyfitn dapat melakukan prediksi dengan akurasi sebesar 99,98937% dan menghasilkan RMSE 0,1271 untuk data kecepatan angin dan 0,006 untuk data ketinggian gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Rekapitulasi Operasi SAR Juli 2022", Basarnas, diakses 18 Agustus 2022, <https://basarnas.go.id/>.
- [2] "Peringatan Gelombang Tinggi", B. M. K. dan Geofisika, ditulis 20 Agustus 2022, https://maritim.bmkg.go.id/peringatan/gelombang_tinggi/.
- [3] P. Muralidharan, J. Hinkle, and P. T. Fletcher, "A map estimation algorithm for Bayesian polynomial regression on riemannian manifolds," Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP vol. 2017-September, no. 0 (2018): 215–219, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296274.
- [4] L. Wang, J. Liu, and F. Qian, "Wind speed frequency distribution modeling and wind energy resource assessment based on polynomial regression model," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 130, no. (July 2020): 106964, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.106964.
- [5] E. Prahasta, Sistem Informasi Geografis: Konsep-kondep Dasar (Perspektif Geodesi dan Geomatika) (Bandung, Informatika, 2009)