Sistem Prediksi Perubahan Garis Pantai dari Citra Satelit Sentinel-2 dan Parameter Cuaca Maritim Berbasis *Machine Learning* (Studi Kasus: Pantai Muarareja Kota Tegal)

Coastline Change Prediction System from Sentinel-2 Satellite Imagery and Maritime Weather Parameters Based on Machine Learning (Case Study: Muarareja Beach Tegal City)

Pandu Danandra Caraka Dwipa[1,*], Adi Widiatmoko Wastumirad[1] , Marzuki Sinambela[1] , Agustina Rachmawardani[1]

[1]Program Studi Instrumentasi-MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang

***Korespondensi** : pdanandraka@gmail.com

Abstrak

Perubahan garis pantai merupakan fenomena dinamis yang dipengaruhi oleh berbagai faktor meteorologis sehingga diperlukan adanya upaya pemantauan serta prediksi untuk mendukung pengelolaan wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai di Pantai Muarareja Kota Tegal dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2, membangun model prediksi berbasis *machine learning* dengan integrasi parameter cuaca maritim, serta mengembangkan sistem prediksi berbasis web. Ekstraksi garis pantai dilakukan dengan menggunakan metode *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)* dan Otsu Thresholding, sedangkan perubahan garis pantai dihitung menggunakan metode transek pada QGIS. Parameter cuaca maritim yang digunakan meliputi angin, tinggi gelombang signifikan, arus laut, dan *sea surface height* (zos). Pemodelan dilakukan menggunakan algoritma *random forest regression* dan *support vector regression* yang dioptimasi dengan hyperparameter tuning, kemudian dievaluasi dengan menggunakan metrik RMSE, MAE, dan R^2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model random forest regression memberikan kinerja terbaik dengan nilai RMSE sebesar 7.71 m, MAE sebesar 5.96 m, dan R^2 sebesar 0.336, sehingga dipilih sebagai model untuk memprediksi perubahan garis pantai. Penelitian ini juga berhasil mengembangkan sistem prediksi berbasis web menggunakan Streamlit yang mampu menampilkan informasi historis, hasil prediksi, dan visualisasi perubahan garis pantai secara interaktif sehingga dapat mendukung pemantauan wilayah pesisir.

Kata Kunci: perubahan garis pantai, sentinel-2, machine learning, parameter cuaca maritim

Abstract

Coastline change is a dynamic phenomenon influenced by various meteorological factors; consequently, monitoring and prediction efforts are required to support coastal zone management. This study aims to analyse coastline change at Muarareja Beach in Tegal City using Sentinel-2 satellite imagery, to develop a machine learning-based prediction model incorporating marine weather parameters, and to develop a web-based prediction system. Coastline extraction was carried out using the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) and Otsu Thresholding methods, whilst coastal changes were calculated using the transect method in QGIS. The marine weather parameters used included wind, significant wave height, ocean currents, and sea surface height (ZOS). Modelling was carried out using the random forest regression and support vector regression algorithms, optimized through hyperparameter tuning, and subsequently evaluated using the RMSE, MAE, and R^2 metrics. The results of the study show that the random forest regression model delivered the best performance with an RMSE of 7.71 m, an MAE of 5.96 m, and an R^2 of 0.336; it was therefore selected as the model for predicting changes in the coastline. This study has also successfully developed a web-based prediction system using Streamlit that is capable of displaying historical information, prediction results and interactive visualisations of shoreline change, thereby supporting the monitoring of coastal areas.

Keywords**:** *coastline changes, sentinel-2, machine learning, maritime weather parameters*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah pulau mencapai 17.380 pulau (BIG, 2024). Kondisi ini mengakibatkan Indonesia dikelilingi oleh perairan yang sangat luas diikuti dengan garis pantai yang sangat panjang dengan total panjang mencapai 99.093 km, menjadikannya sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada (Novia et al., 2024). Garis pantai bersifat dinamis karena letak dan posisinya dapat berubah akibat hubungan proses hidrodinamika, sedimentasi, variabilitas cuaca, perubahan tinggi muka air laut, hingga faktor aktivitas manusia. Perubahan tersebut dapat diakibatkan oleh kejadian abrasi maupun akresi. Pemantauan dan perhitungan perubahan secara berkala diperlukan untuk memahami kecenderungan kejadian perubahan dan mendukung mitigasi risiko bencana di wilayah pesisir (Purwanti & Koestoer, 2024).

Pesisir utara Jawa Tengah menjadi salah satu wilayah dengan kejadian dinamika garis pantai yang cukup tinggi. Islam et al. (2022) melaporkan kejadian perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Batang didominasi kejadian abrasi dengan pengaruh pasang surut, kelerengan pantai, dan angin pembangkit gelombang. Di pesisir Rembang, Laksono & Hidayah (2021) menunjukkan prediksi perubahan garis pantai di pesisir Pantai Sluke Rembang memprediksi kejadian abrasi dengan rata-rata laju perubahan sebesar 33.18 m dan kejadian akresi dengan rata-rata laju perubahan sebesar 50.25-65.15 m. Di pesisir Kota Pekalongan, Endarsih et al. (2025) menunjukkan adanya perubahan garis pantai yang berkaitan dengan interaksi sedimentasi, gelombang, arus, dan angin. Pada wilayah pesisir Tegal, Manikin & Prabowo (2021) menunjukkan adanya perubahan muka air laut dan pergeseran garis pantai pada beberapa lokasi. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pemantauan garis pantai perlu mempertimbangkan integrasi data dan faktor lingkungan lainnya dan tidak hanya menampilkan perubahan spasial.

Pantai Muarareja di Kecamatan Tegal Barat, menjadi kawasan pesisir yang letaknya cukup strategis, berdampingan dengan pelabuhan perikanan Jongor, kawasan wisata, permukiman penduduk, dan area tambak. Wilayah ini juga menghadapi masalah utama bencana hidrometeorologi yang sering kali terjadi, yaitu banjir rob. Ramadhanty et al. (2022) mengategorikan wilayah Muarareja sebagai wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap banjir rob. Perubahan garis pantai pada kawasan tersebut dapat memberikan dampak terhadap pemanfaatan ruang di wilayah pesisir. Oleh karena itu, diperlukan adanya informasi mengenai kondisi historis dan prediksi perubahan di masa mendatang.

Penelitian ini mengintegrasikan hasil ekstraksi garis pantai dari citra satelit Sentinel-2 dan parameter cuaca maritim ke dalam dua algoritma, yaitu *Random Forest Regression* (RFR) dan *Support Vector Regression* (SVR). RFR dinilai mampu menangani interaksi antara variabel yang kompleks dan mampu menangani overfitting (Hidayat et al., 2025). *Random forest* juga dinilai mampu menangani data kompleks, nonlinear, dan memiliki fitur yang membuatnya cocok dalam prediksi dan pemodelan industri (Penalun et al., 2023). SVR merupakan model yang melakukan pendekatan metode regresi, sehingga menghasilkan keluaran prediksi berupa bilangan real atau kontinu (Gananta et al., 2023). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dinamika perubahan garis pantai di Pantai Muarareja selama periode 2019 s.d. 2025, membandingkan kinerja RFR dan SVR dalam membangun model prediksi perubahan garis pantai, dan mengembangkan sistem prediksi berbasis web sederhana yang menyajikan hasil analisis historis dan prediksi perubahan garis pantai di tahun 2026 s.d. 2030.

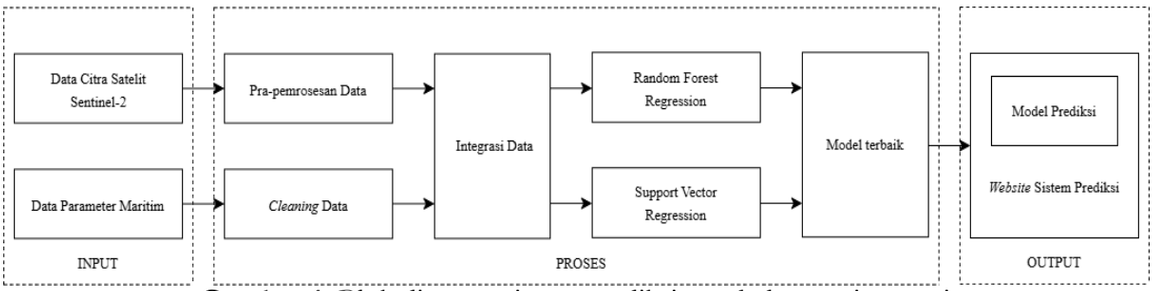
METODE

Pengumpulan Data

Penelitian memanfaatkan dua jenis data, yaitu data citra satelit Sentinel-2 dan data parameter cuaca maritim. Satelit Sentinel-2 digunakan karena memiliki resolusi 10 meter dan waktu kunjungan ulang sekitar 5 hari (Hamdi et al., 2024). Interval temporal yang lebih rapat memungkinkan pemilihan citra dengan tutupan awan <20% menjadi lebih fleksibel dan meningkatkan kontinuitas data. Data citra satelit Sentinel-2 didapatkan melalui *Google Earth Engine* (GEE) dengan periode Januari 2019 s.d. Desember 2025 dan melalui tahap filterisasi data dengan menggunakan batas tutupan awan kurang dari 20%. Data parameter cuaca maritim didapatkan dari *Copernicus Marine Service* dan *ERA5 Reanalysis* untuk periode yang sama. Data citra digunakan sebagai penentuan

posisi dan jarak perubahan garis pantai tiap periode dalam satuan meter, sedangkan data parameter cuaca maritim digunakan sebagai variabel prediktor dalam model.

Ketersediaan nilai variabel prediktor pada periode prediksi 2026 s.d. 2030 didapatkan dari hasil proyeksi terhadap 13 parameter maritim berdasarkan pola historis periode 2019 s.d. 2025. Proyeksi dilakukan dalam enam interval dua bulanan, yaitu Januari-Februari, Maret-April, Mei-Juni, Juli-Agustus, September-Oktober, dan November-Desember. Pada setiap interval dan masing-masing parameter, dibangun model regresi linear dengan tahun sebagai variabel bebas dan nilai parameter sebagai variabel terikat. Model regresi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk melakukan ekstrapolasi nilai parameter pada periode 2026 s.d. 2030 yang selanjutnya digunakan sebagai masukan model RFR untuk menghasilkan prediksi perubahan garis pantai. Nilai parameter maritim periode 2026 s.d. 2030 merupakan hasil ekstrapolasi berdasarkan data historis pada tahun 2019 s.d. 2025 dan bukan merupakan hasil observasi aktual.



Gambar 1. Blok diagram sistem prediksi perubahan garis pantai

Ekstraksi Garis Pantai

Ekstraksi garis pantai dilakukan secara komputasional di GEE melalui beberapa tahapan. Pertama, *cloud masking* diterapkan untuk mengurangi pengaruh piksel dari tutupan awan. Selanjutnya, menghitung MNDWI menggunakan kanal Green (B3) dan SWIR (B11) dengan persamaan :

$$MNDWI = \frac{(B3 - B11)}{(B3 + B11)}$$

Nilai indeks kemudian digunakan sebagai dasar pemisahan air dan daratan. MNDWI merupakan pengembangan dari NDWI yang digunakan dalam mengekstrak wilayah perairan dengan memanfaatkan kanal NIR untuk membedakan perairan dengan objek lainnya (Isnaeni & Prasetyo, 2022). Otsu thresholding diterapkan untuk menentukan ambang optimal berdasarkan distribusi histogram MNDWI sehingga diperoleh raster biner air-darat. Penggunaan metode Otsu pada GEE dinilai memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam identifikasi permukaan air karena sifatnya yang adaptif dalam menentukan nilai ambang batas tanpa intervensi manual yang subjektif (Karakus, 2025). Batas antara kedua kelas dikonversi dari raster menjadi geometri *polyline* dan diekspor sebagai GeoJSON. Setiap periode pengamatan menghasilkan satu garis pantai yang selanjutnya dianalisis di QGIS. QGIS mendukung kemampuan dan kepentingan informasi geografis berkaitan dengan pengolahan, visualisasi, dan analisis data spasial secara digital (Nurgitasari et al., 2026).

Perubahan posisi garis pantai dihitung dengan menggunakan metode transek. Baseline ditetapkan menggunakan garis pantai periode Januari-Februari 2019. Sepuluh transek dibuat tegak lurus terhadap *baseline* dengan interval yang tetap. Metode transek sangat relevan dalam menentukan parameter statistik yang digunakan dalam pelatihan *machine learning* (Rahman et al., 2024). Titik perpotongan setiap transek dengan garis pantai pada masing-masing periode dihitung, kemudian jarak terhadap *baseline* digunakan sebagai nilai perubahan garis pantai dalam satuan meter (m). Nilai perubahan negatif menunjukkan kejadian abrasi, nilai perubahan positif menunjukkan kejadian akresi, sedangkan nilai perubahan cenderung di angka nol dikategorikan sebagai kejadian stabil.

Integrasi Parameter Cuaca Maritim

Parameter cuaca yang digunakan dalam penelitian diantaranya angin, tinggi gelombang, arus

laut, dan tinggi muka laut. Angin merupakan pergerakan massa udara secara horizontal dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah bertekanan rendah sebagai akibat dari perbedaan pemanasan permukaan bumi oleh radiasi matahari (BMKG, 2025). Gelombang merupakan penyebab utama dalam proses terjadinya erosi dan sedimentasi di pantai (Laksono & Hidayah, 2021). Arus laut berdasarkan variasi kedalamannya sangat dipengaruhi oleh angin dan cuaca, sedangkan di lapisan tengah dan dasar dipengaruhi oleh dinamika oseanografi seperti termohalin dan topografi dasar laut (Pratama et al., 2025).

Data parameter cuaca maritim disesuaikan dengan periode pengamatan garis pantai. Tahapan *cleaning data* meliputi *resampling* dan penghapusan pasangan data yang tidak memiliki periode observasi yang sesuai dilakukan. Ketidaktersediaan data citra satelit dan parameter cuaca maritim pada periode tertentu tidak digunakan dalam pembentukan dataset pemodelan. Data yang tersedia kemudian diintegrasikan berdasarkan kesesuaian periode pengamatan. Setiap observasi pada dataset pemodelan merepresentasikan kombinasi antara satu periode pengamatan dan satu transek, dengan perubahan garis pantai sebagai variabel target dan sebanyak 13 fitur digunakan sebagai variabel prediktor, meliputi karakteristik arah dan kecepatan angin, tinggi gelombang, arus, dan *sea surface height* (ZOS). Hasil integrasi menghasilkan 352 observasi yang berasal dari data perubahan garis pantai pada periode 2019 s.d. 2025.

Tabel 1. Variabel prediktor parameter cuaca maritim

Parameter	Variabel	Satuan
Angin	wind_mean, wind_std, u10_mean, u10_std, v10_mean, v10_std	m/s
Tinggi gelombang	wave_mean, wave_std, wave_max	m
Arus	current_mean, current_std	m/s
Tinggi muka laut	zos_mean, zos_std	m

Pemodelan dan Evaluasi Sistem

Dataset akhir dibagi menjadi 80% data latih dan 20% data uji. Model RFR dibangun menggunakan 100 pohon keputusan (*n_estimators* = 100) dan *random_state* = 42. RFR menggunakan mekanisme *ensemble learning* melalui *bootstrap aggregating* sehingga prediksi akhir merupakan rata-rata keluaran pohon. Model SVR menggunakan kernel Radial Basis Function (RBF), parameter C = 10, dan epsilon = 0.1. Kedua model digunakan karena mampu menangani hubungan nonlinear antara variabel prediktor dan target. *Hyperparameter tuning* dilakukan dengan menggunakan *GridSearchCV* dengan validasi silang pada data latih. Evaluasi sistem memanfaatkan perhitungan metrik dari nilai RMSE, MAE, dan R^2 pada setiap model. Model terbaik ditentukan berdasarkan kombinasi nilai error yang paling rendah dengan nilai R^2 yang paling tinggi diantara semua model. Model terbaik kemudian digunakan dalam menghasilkan sistem prediksi perubahan garis pantai di tahun 2026 s.d. 2030. Hasil pengolahan disajikan dalam sistem web sederhana berbasis Streamlit dengan menampilkan grafik, diagram, dan peta analisis historis dan prediksi perubahan garis pantai.

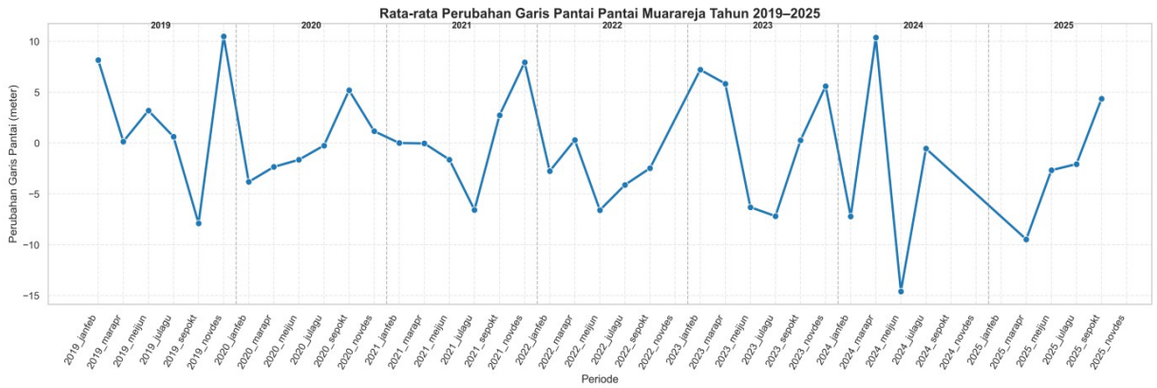
Evaluasi akurasi hasil ekstraksi citra satelit Sentinel-2 menjadi data perubahan posisi garis pantai dalam penelitian ini belum dilakukan secara kuantitatif melalui perbandingan dengan data garis pantai hasil pengukuran lapangan maupun data referensi dengan resolusi spasial yang lebih tinggi. Hasil ekstraksi dievaluasi secara visual pada QGIS sebelum digunakan sebagai data perubahan garis pantai. Kondisi pasang surut air laut pada waktu perekaman citra tidak dikoreksi secara langsung karena keterbatasan ketersediaan data pasang surut pada lokasi dan waktu pengamatan. Namun, *sea surface height* (zos) digunakan untuk merepresentasikan kondisi muka laut tetapi tidak digunakan untuk koreksi terhadap hasil ekstraksi citra satelit. Oleh karena itu, variasi muka air laut pada saat perekaman citra menjadi salah satu sumber ketidakpastian pada nilai

perubahan garis pantai, sehingga hasil tersebut perlu dipertimbangkan dan tidak sepenuhnya merepresentasikan perubahan morfologi pantai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Historis Perubahan Garis Pantai

Hasil ekstraksi garis pantai menunjukkan bahwa posisi garis Pantai Muarareja Kota Tegal berubah secara fluktuatif pada periode dua bulanan. Perhitungan dan pengukuran pada 10 titik transek memperlihatkan adanya pergantian kondisi abrasi dan akresi dari satu periode ke periode berikutnya. Beberapa periode memperlihatkan perubahan yang relatif besar.



Gambar 2. Grafik rata-rata perubahan garis pantai periode 2019 s.d. 2025

Secara statistik, kejadian perubahan yang dihitung dari 10 titik transek menunjukkan kejadian akresi relatif lebih sering terjadi sepanjang periode penelitian. Pada tahun 2019, tercatat 17 kejadian abrasi, 29 kejadian akresi, dan 14 kejadian stabil. Tahun 2020 mencatat 28 kejadian abrasi, 28 kejadian akresi, dan 4 kejadian stabil. Tahun 2021 mencatat 22 kejadian abrasi, 28 kejadian akresi, dan 10 kejadian stabil. Tahun 2022 mencatat 29 kejadian abrasi dan 16 kejadian akresi. Tahun 2023 mencatat 24 kejadian abrasi dan 31 kejadian akresi. Tahun 2024 mencatat 17 kejadian abrasi dan 16 kejadian akresi. Tahun 2025 mencatat 14 kejadian abrasi dan 15 kejadian akresi.

Tabel 2. Kejadian historis perubahan garis pantai

Tahun	Abrasi	Akresi	Stabil
2019	17	29	14
2020	28	28	4
2021	22	28	10
2022	29	16	3
2023	24	31	3
2024	17	16	1
2025	14	15	3

Kejadian abrasi tertinggi secara proporsional terjadi pada tahun 2022 dengan persentase sebesar 60.42%, sedangkan akresi tertinggi secara proporsional terjadi pada tahun 2023 dengan persentase sebesar 53.45%. Temuan ini sejalan dengan penelitian di pesisir utara Jawa Tengah yang menunjukkan bahwa garis pantai dapat mengalami perubahan yang fluktuatif antarperiode yang dipengaruhi oleh kondisi gelombang, arus, angin, pasang surut air laut, sedimentasi, dan faktor lainnya.

Implementasi *Machine Learning*

Model *machine learning* yang telah diimplementasi dalam penelitian ini, baik RFR, SVR, maupun proses *hyperparameter tuning* dengan menggunakan metode *GridSearchCV*, dianalisis dan dilakukan perbandingan mendalam untuk menghasilkan model *machine learning* terbaik untuk diimplementasikan dalam

sistem prediksi perubahan garis pantai. Perbandingan performa model didapatkan dengan menghitung hasil nilai evaluasi metrik, berupa RMSE, MAE, dan R^2.

Tabel 3. Perbandingan evaluasi model

Evaluasi model	RFR	SVR	RFR tuning	SVR tuning
RMSE	7.71 m	8.35 m	7.97 m	8.29 m
MAE	5.96 m	6.13 m	6.12 m	6.22 m
R^2	0.336	0.219	0.290	0.231

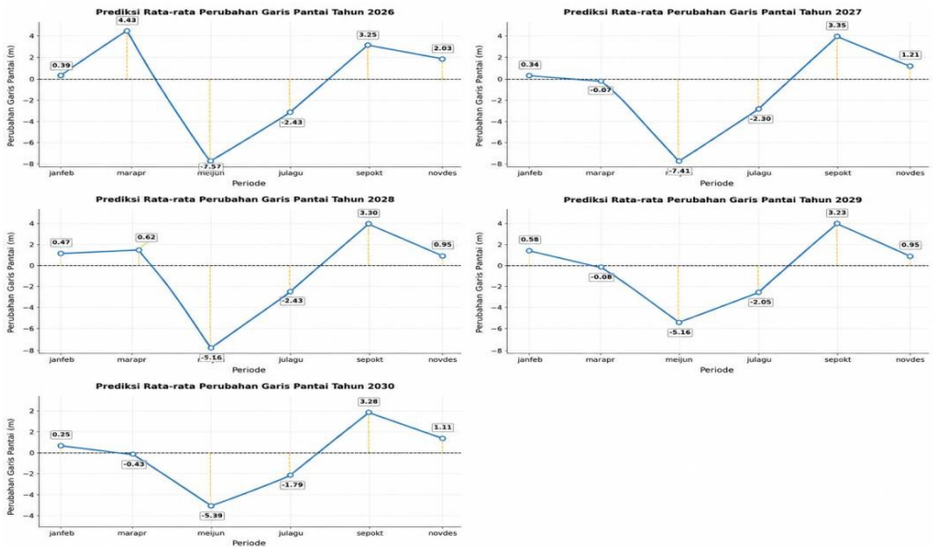
Berdasarkan tabel tersebut, model RFR tanpa tuning menghasilkan performa yang paling baik jika dibandingkan dengan pelatihan model lainnya. Nilai RMSE terendah sebesar 7.71 m, MAE terendah sebesar 5.96 m, dan menghasilkan nilai koefisien determinasi (R2) sebesar 0.336. Nilai MAE menunjukkan bahwa rata-rata selisih absolut antara hasil prediksi dan nilai aktual perubahan garis pantai adalah sekitar 5.96 m, sedangkan RMSE menunjukkan besarnya kesalahan dengan memberikan pengaruh lebih besar terhadap kesalahan prediksi yang bernilai tinggi. Jika dibandingkan dengan rentang nilai perubahan garis pantai pada data uji sebesar 51.19 m, nilai MAE setara dengan 11.64%, sedangkan nilai RMSE setara dengan 15.06%. Persentase tersebut merupakan hasil normalisasi nilai error terhadap rentang perubahan garis pantai pada data uji.

Secara matematis, nilai R^2 mengindikasikan bahwa parameter cuaca maritim yang digunakan sebagai fitur masukan mampu menjelaskan sekitar 33.6% dari total variasi perubahan garis pantai yang terjadi. Rendahnya representasi parameter cuaca maritim terhadap dinamika perubahan garis pantai dimana terdapat 66.4% variasi yang tidak dapat dijelaskan oleh model menjelaskan bahwa perubahan garis pantai tidak hanya dikendalikan oleh faktor maritim seperti yang digunakan dalam penelitian. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, hasil untuk periode 2026 s.d. 2030 disajikan sebagai proyeksi atau indikasi berbasis model dan tidak dijadikan sebagai nilai prediksi perubahan garis pantai dengan tingkat kepastian yang tinggi.

Hasil Prediksi Perubahan Garis Pantai

Hasil prediksi perubahan garis pantai diolah menggunakan model RFR sebagai model terbaik. Model RFR digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai pada periode dua bulanan selama 2026 s.d. 2030. Pola prediksi memperlihatkan kecenderungan kejadian yang fluktuatif dan berulang, dengan kejadian abrasi paling kuat terjadi pada periode Mei-Juni pada hampir seluruh tahun. Kejadian akresi kembali terjadi pada periode akhir tahun.

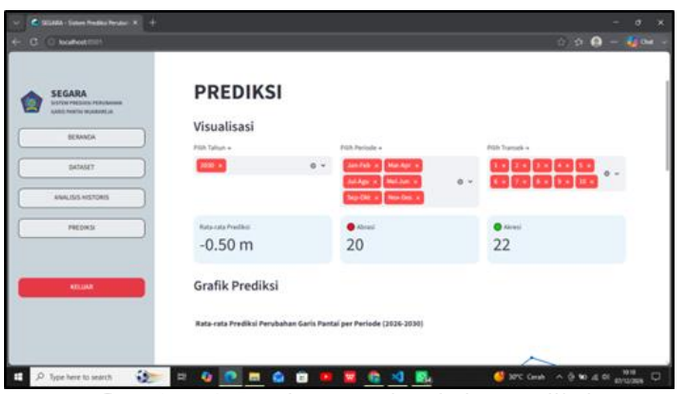
Pada tahun 2026, prediksi menunjukkan +0.39 m pada Januari–Februari, +4.43 m pada Maret–April, −7.57 m pada Mei–Juni, −2.83 m pada Juli–Agustus, +3.25 m pada September–Oktober, dan +2.03 m pada November–Desember. Pada tahun 2027, nilai Januari–Februari sebesar +0.34 m dan Maret–April −0.07 m, kemudian mencapai −7.41 m pada Mei–Juni, sebelum kembali menjadi +3.35 m dan +1.21 m pada dua periode akhir tahun. Pada tahun 2028, nilai awal tahun sebesar +0.47 m dan +0.62 m, kemudian mencapai −7.58 m pada Mei–Juni dan +3.30 m pada September–Oktober. Pada tahun 2029, prediksi Januari–Februari sebesar +0.58 m dan abrasi terbesar terjadi pada Mei–Juni sebesar −5.16 m. Pada tahun 2030, prediksi awal tahun sebesar +0.25 m, abrasi terbesar kembali pada Mei–Juni sebesar −5.39 m, sedangkan akresi tertinggi terjadi pada September–Oktober sebesar +3.28 m. Nilai tersebut merupakan perhitungan rata-rata prediksi kejadian dari 10 titik transek. Dengan memperhatikan keterbatasan kemampuan model, hasil prediksi disajikan sebagai proyeksi atau indikasi berbasis model dan tidak dijadikan sebagai nilai prediksi dengan kepastian yang tinggi.



Gambar 3. Grafik prediksi perubahan garis pantai periode 2026 s.d. 2030

Implementasi *Website*

Sistem web dikembangkan menggunakan Streamlit dan berfungsi sebagai media penyajian hasil pengolahan. Halaman prediksi menampilkan ringkasan statistik, grafik prediksi, diagram perubahan berdasarkan transek, serta peta prediksi berdasarkan periode yang dipilih. Pengujian dilakukan secara end-to-end terhadap fungsi navigasi, pemuatan informasi, perubahan filter tahun/periode/transek, grafik, diagram, dan peta. Hasil pengujian pada seluruh fungsi utama dinyatakan berhasil. Sistem dapat merespons pilihan pengguna dan menampilkan keluaran yang sesuai dengan data yang telah disimpan. Karena sistem bersifat file-based dan tidak melakukan perhitungan model secara langsung pada sisi pengguna, keluaran yang ditampilkan merupakan hasil pemrosesan model yang telah disiapkan sebelumnya.



Gambar 4. Implementasi website prediksi

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian menghasilkan kesimpulan berikut: (1) pemantauan perubahan garis pantai Pantai Muarareja Kota Tegal pada 2019–2025 dengan pola yang dinamis dan berganti antara abrasi, akresi, dan kondisi stabil. Analisis pada 10 titik transek menunjukkan bahwa abrasi tertinggi secara proporsional terjadi pada 2022 sebesar 60.42%, sedangkan akresi tertinggi terjadi pada 2023 sebesar 53.45%. (2) Perbandingan model menunjukkan RFR tanpa tuning sebagai model terbaik dengan RMSE 7.71 m, MAE 5.96 m, dan R^2 0.336. Model RFR kemudian digunakan untuk menghasilkan proyeksi perubahan garis pantai 2026–2030 yang masih menunjukkan pola fluktuatif. (3) Sistem web berbasis Streamlit berhasil mengintegrasikan hasil historis, evaluasi model, prediksi, dan visualisasi peta sehingga dapat digunakan sebagai media pendukung pemantauan awal wilayah pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

BIG. (2024). *Pulau Indonesia Bertambah Jadi 17.380, Mengapa Angkanya Berubah Setiap Tahun?* sipulau.big.go.id/news/11

BMKG. (2025). *Angin*. https://gaw-bariri.bmkg.go.id/index.php/karya-tulis-dan-artikel/gawsarium/360-angin

Endarsih, A. E., Kurniasih, A., & Khomarudin, M. R. (2025). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System untuk Mendukung Mitigasi Pesisir Kota Pekalongan, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *26*(1), 19–30.

Gananta, I. M., Purnama, I. N., & Fredlina, K. Q. (2023). Optimasi Prediksi Harga Emas Dengan Metode Support Vector Regression (SVR) Menggunakan Algoritma Grid Search. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, *7*(6), 3160–3165.

Hamdi, B. El, Farizi, M. S. Al, Safitri, M., Amalia, I. N., Nandi, & Ridwana, R. (2024). Perbandingan Penggunaan Citra Landsat 8 dan Sentinel 2 Terhadap Analisis Kesehatan Mangrove Dengan Metode NDVI di Teluk Jakarta. *Jurnal Warta Desa*, *6*(1), 15–24. https://doi.org/10.29303/jwd.v6i1.287

Hidayat, R., Saputra, H. T., Husnah, M., Nabila, Hidayatullah, M. B., Nazhmi, M. N., Azra, J., & Rana, A. (2025). Implementasi Algoritma Random Forest Regression untuk Memprediksi Penjualan Produk di Supermarket. *Jurnal Sistem Informasi Dan Sistem Komputer*, *10*(1), 101–109. https://doi.org/10.51717/simkom.v10i1.703

Islam, H. S., Suryoputro, A. A. D., & Handoyo, G. (2022). Studi Perubahan Garis Pantai 2017 – 2021 di Pesisir Kabupaten Batang, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, *04*(04), 19–33.

Isnaeni, A. Y., & Prasetyo, S. Y. J. (2022). Klasifikasi Wilayah Potensi Risiko Kerusakan Lahan Akibat Bencana Tsunami Menggunakan Machine Learning. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, *8*(1), 33–42. https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i1.4056

Karakus, P. (2025). Detection of Water Surface Using Canny and Otsu Threshold Methods with Machine Learning Algorithms on Google Earth Engine: A Case Study of Lake Van. *Applied Sciences*, 1–22. https://doi.org/10.3390/app15062903

Laksono, S. M., & Hidayah, Z. (2021). Prediksi Perubahan Garis Pantai Sluke Rembang Jawa Tengah Menggunakan Data Citra Satelit Landsat 8 (2014-2019). *Juvenil : Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, *2*(1), 53–60. https://doi.org/10.21107/juvenil.v2i1.9901

Manikin, P. M. G., & Prabowo, I. A. (2021). Identifikasi Fluktuasi Muka Air Laut dengan Menggunakan Pendekatan Penginderaan Jauh Daerah Tegal, Jawa Tengah. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XIII Tahun 2020 (ReTII)*, 451–457.

Novia, K, R., & Imran, H. Al. (2024). Studi Komputasi Perubahan Garis Pantai di Pantai Kuri Kabupaten Maros. *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, *13*(3), 1475–1480. https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7785

Nurgitasari, N., Pradjoko, E., & Pracoyo, A. (2026). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit di Sekitar Muara Sungai Meninting Lombok Nusa Tenggara Barat. *RESWARA*, *4*(3), 872–892. https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.704

Penalun, F. E., Hermawan, A., & Avianto, D. (2023). Perbandingan Random Forest Regression dan Support Vector Regression Pada Prediksi Laju Penguapan. *Jurnal Fasilkom*, *13*(02), 104–111.

Pratama, B. R., Pranowo, W. S., & Prasita, V. D. (2025). Analisis Karakteristik Arus Pada Beberapa Kedalaman di Laut Jawa Sepanjang Tahun 2024. *Jurnal Chart Datum*, *11*(1), 53–62. https://doi.org/10.37875/chartdatum.v11i1.375

Purwanti, R., & Koestoer, R. H. (2024). Tinjauan Perubahan dan Prediksi Garis Pantai : Studi Perbandingan Kasus di Sri Lanka dan Indonesia. *Journal of Marine Research*, *13*(2), 203–211. https://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.40428

Rahman, A. F., Meirany, J., & Wulandari, A. (2024). Analisis Perubahan Garis Pantai Tanjung Burung Mempawah Dengan Sistem Digital Shoreline Analysis System (DSAS). *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, *6*(2), 205–214. https://doi.org/10.35308/jlik.v6i2.10134

Ramadhanty, N. R., Muryani, C., & Tjahjono, G. A. (2022). Analisis Tingkat Kerentanan

Masyarakat Terhadap Banjir Rob Di Kecamatan Tegal Barat Kota Tegal Tahun 2021. *Indonesian Journal Environment and Disaster*, *1*(1), 73–82. https://doi.org/10.20961/ijed.v1i1.62