



Analisis Perbedaan Kedalaman Kolom Air Menggunakan *Satelit Derived Bathymetry*: Koreksi Sunglint Dan Penerapan Algoritma KNN, MLR, SVM, Dan *Random Forest*

Farhan Rahmatullah¹, Jupri², Ayu Innadya³, Silmi Afina Aliyan⁴, Fathan Musyaffa Abdul Jabbar⁵, Hakim Muaddib Salam⁶, Hanipah Nurdini⁷, Salwa Safira Alwahad⁸, Jupri Zahra Nur Fauziah⁹

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} Sains Informasi Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Received: April 01, 24
Reviewed: May 01, 24
Available online: June 30, 24

KORESPONDEN

E-mail: farhanrahmatullah11@upi.edu

ABSTRACT

Analysis of differences in water column depth using Satellite Derived Bathymetry (SDB) technology is the focus of this research with a focus on sunglint correction and the application of four modeling algorithms, namely K-Nearest Neighbors (KNN), Multiple Linear Regression (MLR), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest. The coastal area of Cipatujah Beach was chosen as the study site to evaluate and compare the performance of the four algorithms in determining sea depth. The sunglint correction method was implemented to overcome sunlight interference in satellite images, while the modeling algorithm was used to predict and analyze sea depth. The analysis showed significant differences in the estimation of water column depth between the use of KNN, MLR, SVM, and Random Forest algorithms.

KEYWORD:
Satellite Derived Bathymetry, Sunglint, Cipatujah Beach.

ABSTRAK

Analisis perbedaan kedalaman kolom air menggunakan teknologi *Satelit Derived Bathymetry* (SDB) menjadi fokus penelitian ini dengan fokus pada koreksi sunglint dan penerapan empat algoritma pemodelan, yaitu *K-Nearest Neighbors* (KNN), *Multiple Linear Regression* (MLR), *Support Vector Machine* (SVM), dan *Random Forest*. Wilayah pesisir Pantai Cipatujah dipilih sebagai lokasi studi untuk mengevaluasi dan membandingkan performa keempat algoritma tersebut dalam menentukan kedalaman laut. Metode koreksi sunglint diimplementasikan untuk mengatasi gangguan cahaya matahari pada citra satelit, sementara algoritma pemodelan digunakan untuk memprediksi dan menganalisis kedalaman laut. Hasil analisis memperlihatkan perbedaan signifikan dalam estimasi kedalaman kolom air antara penggunaan algoritma KNN, MLR, SVM, dan Random Forest.

KATA KUNCI:
Satellite Derived Bathymetry, Sunglint, Cipatujah Beach.

Attribution-NonCommercial 4.0 International.



PENDAHULUAN

Globalisasi memberikan dampak terhadap perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin tinggi termasuk dalam bidang informasi geospasial. Perkembangan teknologi geospasial yang semakin canggih salah satunya didukung dan diintegrasikan dengan adanya teknologi dari penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Penggunaan teknologi penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan SIG memberikan dampak terhadap efektivitas dan efisiensi baik dari segi biaya maupun waktu (Purwanto et al., 2019).

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berdampak pada wilayah kepulauan yang dimiliki pun sangat luas. Luasnya wilayah kepulauan tersebut menyebabkan adanya sebuah keharusan untuk memerlukan sistem manajemen dan pengambilan keputusan yang bijak tepat sehingga mampu memanfaatkan potensi secara maksimal yang tentunya mampu mendukung kemajuan negara. Data dan informasi spasial menjadi salah satu bentuk yang dapat mendukung kemajuan kelautan negara Indonesia. Salah satu data yang diperlukan yaitu data batimetri (Aji et al., 2021).

Perolehan data batimetri dapat dilakukan melalui survei hidrografi. Akan tetapi, kini tengah berkembang sebuah metode atau teknik baru yang dikembangkan dan tentunya tidak memerlukan biaya tinggi dalam memperoleh kedalaman kolom air atau perairan yakni menggunakan teknologi penginderaan jauh yang dapat diintegrasikan dengan sistem informasi geografis (SIG). Metode atau teknik tersebut menggunakan citra sensor pasif yang dikenal dengan metode atau teknik *Survey Derived Bathymetry* (SDB) (Aji et al., 2021).

Umumnya kegiatan pemetaan kolom air atau batimetri dilakukan melalui pemanfaatan teknologi berbasis gelombang akustik yakni *echosounder*. Teknologi tersebut tentunya mampu memperoleh kedalaman air yang akurat tetapi metode tersebut mempunyai kekurangan yakni sulit diterapkan pada wilayah perairan dangkal. Di samping itu, teknologi yang digunakan tersebut memerlukan biaya yang tinggi. Penggunaan teknik penginderaan jauh untuk pemetaan batimetri menjadi teknologi alternatif yang diperlukan untuk menunjang ketersediaan informasi kedalaman secara efisien dan kontinyu khususnya di perairan dangkal (Jaelani & Putri, 2019).

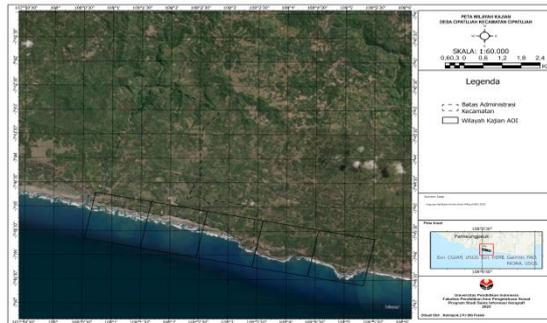
Citra satelit mempunyai kegunaan untuk diubah menjadi suatu informasi dasar laut yang tentunya memiliki manfaat melalui pemanfaatan beberapa algoritma matematis yang dilakukan berdasarkan kanal spektrum. *Survey derived bathymetry* (SDB) merupakan sebuah revolusi baru dalam aspek survei hidrografi (Jaelani & Putri, 2019). Kesulitan yang dapat ditemui dalam kegiatan pemrosesan pemetaan citra satelit yaitu masih dibutuhkan interpretasi citra satelit sehingga diperlukan pengecekan ke lapangan secara langsung sebagai bentuk validasi. Di samping itu, tingkat akurasi yang dihasilkan oleh pemrosesan data batimetri oleh teknologi penginderaan jauh diperoleh berdasarkan sebaran dan pantulan yang berasal dari cahaya dasar laut termasuk kualitas kejernihan air yang disajikan dalam nilai piksel dengan memberikan nilai reflektansi cahaya yang mampu menjadi dasar estimasi kedalaman (Fajarico et al., 2022).

Pada penelitian ini, pengolahan *survey derived bathymetry* (SDB) menggunakan koreksi sunglint dan penerapan algoritma KNN, MLR, SVM, dan random forest. Dengan demikian, berdasarkan uraian yang menjadi latar belakang tersebut maka rumusan masalah yang dapat diangkat dalam topik penelitian ini yaitu mengenai bagaimana melakukan pemetaan *satellite derived bathymetry* (SDB) dengan akurasi tinggi dan melakukan analisis terhadap perbedaan dengan data batimetri nasional. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melakukan pengembangan kegiatan pemetaan *satellite derived bathymetry* kedalaman air menggunakan SNAP, melakukan pemeriksaan terhadap perbedaan data batimetri nasional, dan melakukan penerapan terhadap algoritma KNN, MLR, SVM, dan random forest.

Studi wilayah untuk penelitian ini yaitu di perairan Cipatujah. Perairan di wilayah Cipatujah dijadikan sebagai wilayah kajian dikarenakan mempunyai kondisi kedalaman perairan yang bervariasi. Dengan demikian, menjadi pertimbangan peneliti untuk melakukan penelitian di wilayah kajian dalam memperoleh data batimetri atau kedalaman kolom air. Hasil penelitian berupa pemetaan dan analisis kolom air di perairan Cipatujah dengan menggunakan beberapa algoritma.

METHOD

Lokasi penelitian ialah di wilayah pesisir Pantai Cipatujah ini merupakan Pantai yang ada di Kecamatan Cipatujah. Kecamatan Cipatujah adalah salah satu kecamatan yang berada di Kabupaten Tasikmalaya. Secara astronomis berada Letak wilayah Kecamatan Cipatujah secara administratif termasuk berada pada koordinat 107°54 34,9 BT – 108°08 7,2 BT dan 7°38 7,9 LS – 7°46 22 LS.



Gambar 1.

Data yang digunakan adalah citra satelit Sentinel 2A yang diambil pada tanggal 28 Oktober 2023. Citra ini bisa diakses secara gratis dari ESA (European Space Agency). Misi Sentinel-2 didedikasikan untuk memantau sumber daya wilayah daratan, pesisir dan laut juga kebencanaan (Ulfa et al., 2019). ESA SNAP version 9.0, sdb_gui_3.3.1_one_file, dan ArcGIS version 10.8. ESA SNAP untuk memproses citra Sentinel 2, yang tahapannya diawali dengan melakukan pemrosesan koreksi atmosfer, pemrosesan citra satelit ini kemudian dilakukan untuk menghasilkan batimetri kedalaman sebenarnya menggunakan sen2coral toolbox, ArcGIS versi 10.8 diperuntukkan untuk menghitung ketinggian lahan/kedalaman batimetri. (Angkotasan et al., 2023).

Sentinel 2A memiliki 13 band, tetapi hanya 4 band (yaitu B2, B3, B4, dan B8) yang digunakan dalam penelitian ini karena resolusi spasialnya 10 meter. Keempat band tersebut ditumpuk menjadi file gambar multiband dan dipotong sesuai dengan area studi. Setelah memiliki data sampel kedalaman sebagai kebenaran dasar dan empat band citra Sentinel 2A sebagai fitur, kami mulai menggunakan tiga algoritma pembelajaran mesin untuk menyimpulkan kedalaman air. Dalam penelitian ini, kami menggunakan pustaka ScikitLearn karena pustaka ini menggunakan bahasa tingkat tinggi yang mudah digunakan dan mengandung banyak algoritma ML (Pedregosa et al., 2011).

Rancangan Penelitian

1. Pengumpulan Data Satelit Sentinel-2 Pada Rentang Waktu Tertentu

Data satelit Sentinel-2 tersedia dari platform Copernicus Open Access Hub. Data yang dibutuhkan adalah citra satelit multispektral Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 m dan resolusi temporal 16 hari. Pemrosesan data menggunakan SNAP termasuk prosedur koreksi matahari dan atmosfer. Pemrosesan data dilakukan menggunakan aplikasi SNAP.

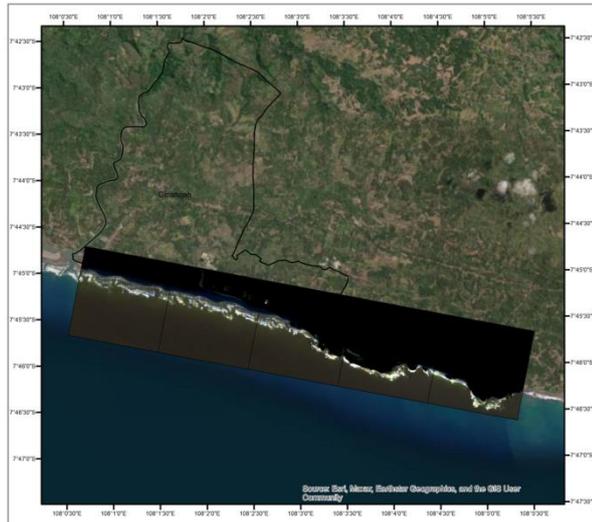
2. Sun Glint Correction

Menggunakan metode sederhana yang dikembangkan oleh Hedley dkk. (2005) (Doxani et al., 2012), kilau matahari adalah proses yang dihapus dari gambar. Pendekatan yang dilakukan yakni sama seperti Pendekatan sebelumnya adalah menciptakan hubungan linier antar NIR dan pita tampak (RGB) menggunakan regresi linier sampel piksel gambar.

$$R'i = Ri - bi (RNIR - MinNIR) \quad (1)$$

dimana $R'i$ adalah nilai piksel yang dikoreksi, Ri adalah nilai awal nilai piksel, bi adalah kemiringan garis regresi, $RNIR$ dan adalah nilai minimum di antara $MinNIR$ sampel piksel. Proses koreksi Sun glint menggunakan metode Empirical Line of Sight Correction (ELOS).

Metode ini menggunakan informasi citra satelit Band 8 Sentinel-2 untuk memperkirakan arah sinar matahari. Proses peningkatan suasana menggunakan metode Dark Object Subtraction (DOS). Metode ini menggunakan informasi dari citra satelit Band 10 Sentinel 2 untuk memperkirakan pengaruh atmosfer terhadap citra satelit.



Gambar 2.

3. Pemetaan *Satelit Derived Bathymetry*

Ekstraksi data kedalaman dilakukan menggunakan aplikasi *Satellite Derived Bathymetry GUI* (SDB GUI). Aplikasi ini menggunakan algoritma *machine learning* untuk mengekstrak informasi kedalaman laut dari citra satelit Sentinel-2 yang telah dikoreksi sunglint dan diperbaiki atmosfer. Pemetaan titik koordinat berupa data yakni x dan y dan data z (kedalaman) untuk setiap lokasi yang relevan. Data kedalaman yang telah diekstrak kemudian dipetakan ke dalam titik koordinat (x, y). Titik koordinat (x, y) diperoleh dari data Batimetri Nasional.

Untuk menggunakan algoritma mesin untuk memprediksi hasil tertentu dari data yang tersedia, perlu dibedakan antara fitur dan label data. Ketika menggunakan citra satelit untuk mendapatkan kedalaman, label adalah data kedalaman itu sendiri dan fitur adalah propertinya, yang diwakili oleh nilai raster dari gambar. Dengan menggunakan pembelajaran mesin, kami menganalisis korelasi antara fitur dan label.

Tiga metode ML dibandingkan dalam penelitian ini penelitian ini, yaitu *K- Nearest Neighbors* (KNN), *Multiple Linear Regression* (MLR), dan *Random Forest* (RF).

Tujuan dari perbandingan metode ini adalah untuk mengetahui metode mana yang memiliki kinerja lebih baik. Penelitian-penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa RF memiliki kinerja terbaik Sagawa et al., (2019) sedangkan KNN untuk SDB jarang jarang digunakan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui kinerja

KNN terhadap RF dan MLR. Metode KNN adalah berdasarkan marker dari pola K- terdekat dalam ruang data (Kramer, 2013). Metode ini mendapatkan nilai kedalaman dengan membandingkan dataset pelatihan dan fitur yang sesuai, menemukan K- jumlah dari tetangga terdekatnya, dan kemudian memprediksi kedalaman dari sini. MLR memperluas regresi linier sederhana untuk memasukkan beberapa variabel penjelas (Tranmer, Murphy, Elliot, & Pampaka, 2020). Metode MLR memperoleh nilai kedalaman dengan menyelesaikan regresi linier menggunakan beberapa fitur dan training sampel yang ditentukan training sampel yang ditentukan. RF adalah kombinasi dari prediktor pohon yang sedemikian rupa bahwa setiap pohon bergantung pada nilai dari sebuah vektor acak yang diambil sampelnya secara independen dengan distribusi yang sama untuk semua pohon di dalam hutan (Breiman, 2001).

Populasi yang digunakan dalam penelitian ini yakni sebagian wilayah pesisir di pantai Cipatujah untuk sampelnya sendiri peneliti mengambil data titik sampel sebanyak 163 titik sampel yang memiliki koordinat X,Y,dan Z ,data titik sampel koordinat tersebut datanya diambil dari Data Batimetri Nasional. Pemetaan titik koordinat (x, y) dan data z (kedalaman) dilakukan dengan menggunakan aplikasi.

Teknik Pengumpulan Data Dan Pengembangan Instrumen

Data Citra Sentinel 2A hasil pemantauan satelit dapat diakses melalui Sentinel Hub. Citra satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 m dan resolusi temporal 16 hari sangat cocok untuk pemetaan bathymetri. Unduhan citra dari satelit Sentinel-2 dapat dilakukan secara gratis.

Data Batimetri Nasional

Data batimetri nasional dapat diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) Data batimetri nasional yang tersedia di Badan Informasi Geospasial (BIG) umumnya merupakan hasil survei lapangan. Informasi batimetri nasional dapat diunduh secara gratis Pengembangan instrumen survei untuk mendapatkan titik koordinat (x, y) dan data z (kedalaman) dengan presisi tinggi.

Citra Sentinel-2A dapat dipengaruhi oleh sunglint. Sunglint adalah efek yang terjadi ketika sinar matahari dipantulkan langsung ke sensor satelit. Efek ini dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi kedalaman laut. Untuk mengatasi tantangan yang dihadapi oleh efek sunglint dan atmosfer dalam citra Sentinel-2A, diperlukan proses koreksi sunglint dan perbaikan atmosfer. Koreksi sunglint dapat diimplementasikan melalui metode *Empirical Line-of-Sight Correction* (ELOS) atau *Dark Object Subtraction* (DOS). Sementara itu, perbaikan atmosfer dapat diterapkan menggunakan pendekatan *Atmospheric Correction* (ATCOR) atau *Atmospheric and Topographic Correction* (ATCOR+TOPO). Langkah-langkah ini dirancang untuk memastikan bahwa citra Sentinel-2A yang dihasilkan memperlihatkan kualitas dan akurasi yang optimal dengan mengurangi efek sunglint dan mengkompensasi pengaruh atmosfer.

Teknik Analisis Data

Algoritma machine learning dapat diterapkan untuk memproyeksikan kedalaman laut menggunakan data satelit derived bathymetry, dengan memilih algoritma KNN, MLR, SVM, dan *Random Forest*. Setiap algoritma memiliki karakteristik uniknya sendiri.

KNN dikenal sebagai algoritma yang simpel dan mudah diaplikasikan, meskipun memiliki kelemahan rentan terhadap overfitting. Overfitting muncul ketika algoritma terlalu mendekati data latihan dan tidak dapat menyesuaikan diri dengan data baru.

MLR, sebagai algoritma yang lebih kompleks daripada KNN, dapat memitigasi risiko overfitting dengan menerapkan teknik regularisasi. Teknik regularisasi berguna untuk mengurangi kompleksitas model.

SVM, algoritma yang dapat menangani data non-linear, memiliki potensi memberikan hasil yang lebih akurat, terutama untuk data yang tidak berbentuk linear, dibandingkan dengan KNN dan MLR.

Random Forest, sebuah algoritma yang menggabungkan beberapa pohon keputusan, dapat memberikan hasil proyeksi yang lebih akurat dibandingkan dengan KNN, MLR, atau SVM.

Root Mean Squared Error (RMSE) adalah metrik evaluasi yang berguna untuk mengukur sejauh mana perbedaan antara prediksi algoritma dan nilai sebenarnya. Penggunaan RMSE penting dalam membandingkan performa berbagai algoritma machine learning yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbandingan Antara Data Satelit dengan Data Batimetri Nasional

Dalam mengidentifikasi kedalaman laut melalui penggunaan *Satelit Derived Bathymetry* (SDB) perbedaan antara data citra satelit dengan data batimetri nasional menyoroti pada pendekatan dalam memperoleh informasi mengenai karakteristik dasar laut. Data citra satelit memanfaatkan cahaya terpantul dari permukaan air, yang memungkinkan analisis pola spektral yang terkait dengan kedalaman. Meskipun metode ini dapat mencakup area yang luas, resolusi kedalaman bergantung pada kemampuan citra satelit dalam mengidentifikasi perubahan karakteristik permukaan laut. Di sisi lain, data batimetri nasional menggunakan sonar atau sensor batimetri untuk mengukur kedalaman secara langsung, memberikan hasil yang lebih akurat dan resolusi yang lebih tinggi.

Kelebihan data citra satelit termasuk kemampuannya untuk mencakup area yang besar dan memberikan gambaran visual yang lebih umum tentang kondisi permukaan laut. Namun, batasannya termasuk sensitivitas terhadap kondisi atmosfer dan pengukuran kedalaman yang lebih terbatas. Sedangkan data batimetri nasional memberikan informasi kedalaman yang lebih akurat, tetapi pengumpulan datanya

memerlukan survei khusus dengan peralatan sonar yang canggih. Oleh karena itu, penggunaan SDB dapat mengintegrasikan keunggulan kedua jenis data ini dan memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dan akurat mengenai kondisi dasar laut di berbagai perairan. Perhitungan menggunakan data batimetri nasional dapat mencakup pemetaan struktur dasar laut, kontur kedalaman, serta variasi kedalaman laut. Integrasi data ini menjadi kunci untuk memahami dinamika laut secara menyeluruh, dengan data citra satelit memberikan konteks visual yang penting dan data batimetri nasional memberikan ketelitian dan rincian yang diperlukan untuk berbagai aplikasi, mulai dari navigasi maritim hingga manajemen sumber daya laut.

2. Tingkat Akurasi Algoritma KNN, MLR, SVM, dan RF

a. *K-Nearest Neighbors (KNN)*

Algoritma KNN sebagai metode yang memanfaatkan informasi dari tetangga terdekat. Metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score dapat memberikan gambaran komprehensif tentang kinerja KNN. Dalam konteks menentukan kedalaman laut, akurasi model akan diukur berdasarkan kemampuannya untuk memprediksi dengan tepat nilai kedalaman laut sesuai dengan data yang ada. Hasil pengolahan data di pesisir Pantai Cipatujah dihasilkan RMSE sebesar 3,8173 atau lebih tepatnya seperti gambar 3.

RMSE:	3.817222850900459
MAE:	2.9057711024911135
R ² :	0.5724487298840968

Gambar 3.

RMSE pada hasil pengolahan menggunakan algoritma KNN menunjukkan bahwa algoritma cukup baik dalam mengidentifikasi kedalaman laut, karena RMSE sebesar 3,8172 lebih kecil jika dibandingkan dengan RMSE algoritma lain. Nilai MAE (Mean Absolute Error) sebesar 2.91 menunjukkan rata-rata kesalahan prediksi model terhadap nilai sebenarnya sebesar 2.91 unit. Dengan kata lain, model KNN secara rata-rata memiliki deviasi sekitar 2.91 unit dari kedalaman sebenarnya saat melakukan prediksi. Nilai MAE yang relatif rendah ini mengindikasikan bahwa model KNN memberikan prediksi yang akurat dan mendekati nilai sebenarnya dalam konteks pengukuran batimetri. Lalu nilai R² sebesar 0.57 menunjukkan bahwa sekitar 57% variasi dalam data batimetri dapat dijelaskan oleh model KNN. Meskipun tidak mencapai tingkat kesempurnaan, nilai R² yang moderat menandakan bahwa model KNN memberikan kontribusi yang baik dalam menjelaskan pola dan hubungan antara atribut-atribut yang digunakan dalam pengukuran kedalaman kolom air.

b. *Multiple Linear Regression (MLR)*

Pendekatan regresi memiliki peran cukup penting dalam mengidentifikasi kedalaman laut. MLR berfokus pada pemodelan hubungan linier antara berbagai variabel prediktor dan nilai kedalaman laut. Tingkat akurasi MLR bergantung pada sejumlah faktor, termasuk pemilihan variabel prediktor yang sesuai dan kualitas data yang digunakan untuk melakukan pemodelan. Hasil pengolahan menggunakan metode MLR di lokasi pesisir pantai Cipatujah menghasilkan nilai RMSE, MAE, dan R² sebagai berikut.

RMSE:	3.953086959675036
MAE:	3.2027374916411033
R ² :	0.5414719513922186

Gambar 4.

Nilai RMSE sebesar 3.95 menunjukkan rata-rata kesalahan prediksi kedalaman oleh model MLR terhadap nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE, semakin akurat model dalam memprediksi kedalaman. Adapun nilai MAE sebesar 3.20 merupakan rata-rata dari nilai absolut dari seluruh kesalahan prediksi. MAE memberikan ukuran kesalahan prediksi tanpa memperhatikan arahnya. Nilai ini menunjukkan seberapa besar deviasi rata-rata antara prediksi dan observasi. Sedangkan nilai R² sebesar 0.54 mengukur seberapa baik model MLR menjelaskan variasi dalam data batimetri.

c. Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine (SVM) adalah metode pembelajaran mesin yang efektif untuk memodelkan hubungan kompleks antara atribut-atribut geospasial dan kedalaman kolom air. SVM mampu mengatasi tantangan pemodelan non-linier dengan memanfaatkan kernel trick dan mencari hyperplane optimal yang memisahkan nilai-nilai kedalaman dengan margin maksimum. Hasil pengolahan menggunakan metode SVM di Pantai Cipatujah menghasilkan nilai RMSE, MAE, dan R^2 sebagai berikut.

RMSE:	5.837418405378859
MAE:	5.026758942790677
R^2 :	0.0001500776578757801

Gambar 5.

Nilai RMSE sebesar 5.837418405378859 menunjukkan besar rata-rata kesalahan prediksi kedalaman kolom air dari model SVM terhadap nilai sebenarnya. Dalam konteks batimetri, RMSE sebesar 5.837418405378859 menunjukkan tingkat kesalahan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan prediksi kedalaman kolom air dari model SVM memiliki deviasi yang cukup besar dari nilai sebenarnya, dan ada ruang untuk peningkatan akurasi. Lalu Nilai MAE sebesar 5.026758942790677 adalah rata-rata dari nilai absolut dari seluruh kesalahan prediksi. Ini menunjukkan besarnya kesalahan rata-rata dari model SVM terhadap nilai sebenarnya. MAE yang sebanding dengan RMSE menunjukkan adanya deviasi yang signifikan, dan pengurangan nilai MAE dapat meningkatkan akurasi model.

Sedangkan nilai R^2 (R-squared) sebesar 0.5633676128766163 mengukur seberapa baik model SVM menjelaskan variasi dalam data batimetri. R^2 sebesar 0.5633676128766163 menunjukkan bahwa model SVM dapat menjelaskan sekitar 57% variasi dalam data batimetri. Meskipun ini menunjukkan adanya penjelasan yang signifikan, masih ada 43% variasi lain yang tidak dapat dijelaskan oleh model.

d. *Random Forest* (RF)

Random Forest (RF) adalah metode pembelajaran mesin yang efektif untuk memodelkan dan memprediksi kedalaman kolom air di lingkungan perairan. Hasil pengolahan menggunakan metode RF di Pantai Cipatujah menghasilkan nilai RMSE, MAE, dan R^2 sebagai berikut.

RMSE:	3.8575484342387942
MAE:	2.897732922764221
R^2 :	0.5633676128766163

Gambar 6.

Nilai RMSE sebesar 3.8575484342387942 menunjukkan besar rata-rata kesalahan prediksi kedalaman kolom air dari model Random Forest terhadap nilai sebenarnya.

Dalam konteks batimetri, RMSE sebesar 3.8575484342387942 menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan dengan model SVM sebelumnya (RMSE 5.84). Ini menandakan bahwa model Random Forest memberikan prediksi yang lebih akurat terhadap nilai sebenarnya. Lalu nilai MAE sebesar 2.897732922764221 adalah rata-rata dari nilai absolut dari seluruh kesalahan prediksi. Hal ini mengindikasikan besar kesalahan rata-rata dari model Random Forest terhadap nilai sebenarnya. MAE yang lebih rendah (2.897732922764221) dibandingkan dengan model SVM sebelumnya (MAE 5.03) menunjukkan bahwa model Random Forest memberikan prediksi yang lebih akurat dan lebih mendekati nilai sebenarnya.

Sedangkan nilai R^2 (R-squared) sebesar 0.5633676128766163 mengukur seberapa baik model Random Forest menjelaskan variasi dalam data batimetri. R^2 sebesar 0.56 menunjukkan bahwa model Random Forest dapat menjelaskan sekitar 56% variasi dalam data batimetri. Meskipun nilai ini serupa

dengan model SVM sebelumnya, namun model Random Forest memberikan hasil prediksi dengan tingkat kesalahan yang lebih rendah (RMSE dan MAE yang lebih rendah).

KESIMPULAN

Hasil analisis perbedaan kedalaman kolom air menggunakan metode Satellite Derived Bathymetry (SDB) dengan penerapan algoritma KNN, MLR, SVM, dan Random Forest menunjukkan beberapa temuan penting. Metode SDB dianggap efektif dan efisien dalam mendapatkan informasi kedalaman perairan, yang dapat digunakan dalam pembuatan peta batimetri elektronik (ENC) untuk navigasi di perairan tertentu. Selain itu, SDB juga dianggap sebagai alternatif yang efisien, efektif, cepat, dan murah untuk mengukur kedalaman perairan. Namun, penggunaan SDB juga memerlukan koreksi terhadap faktor-faktor seperti kekeruhan air dan sunglint untuk meningkatkan akurasi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode SDB dan penerapannya dalam berbagai konteks, termasuk dalam pemetaan batimetri dan navigasi perairan.

REFERENSI

- [1] Aji, S., Sukmono, A., & Amarrohman, F. J. (2021, Desember 29). Analisis Pemanfaatan Satellite Derived Bathymetry Citra Sentinel-2A dengan Menggunakan Algoritma Lyzenga dan Stumpf (Studi Kasus: Perairan Pelabuhan Malahayati, Provinsi Aceh). *Jurnal Geodesi Undip, 10*(1), 68-77. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.29624>
- [2] Al-Yahyai, M. A. (2022). A review of satellite-derived bathymetry methods.
- [3] Angkotasari, A. M., Bengen, D. G., Nurjaya, I. W., Zamani, N. P., Natih, N. M., & Novico, F. (2023). Geomorphology of small islands and its seafloor profiles in the Eastern and Western Halmahera waters. *Bulletin of the Marine Geology, 37*(2).
- [4] de Souza, S. L. S., de Souza, M. C., & De Maeyer, A. J. (2022). A Comparison of Machine Learning Algorithms for Satellite-Derived Bathymetry of the South China Sea.
- [5] de Souza, S. L. S., de Souza, M. C., & De Maeyer, A. J. (2021). Satellite-Derived Bathymetry of the Southern Indian Ocean Using Sentinel-2 Imagery.
- [6] Doxani, G., Papadopoulou, M., Lafazani, P., Pikridas, C., & Tsakiri-Strati, M. (2012). Shallow-water bathymetry over variable bottom types using multispectral Worldview-2 image. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 39*, 159-164.
- [7] Fajarico, A., Nababan, Y. R., Teguh, K., Setiyadi, J., & Kurniawan, E. S. (2022, Juli 25). Penyediaan Data Satellite Derived Bathymetry Menggunakan Metode Transformasi Rotasi (Studi Kasus Teluk Kayeli Namlea Maluku). *Jurnal Hidropilar, 8*(1), 35-46. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v8i1.233>
- [8] Harrys, R. M., Dewi, R. S., Sulistian, T., Suryopuspito, D. H., & Mugiarto, F. T. (2023). Comparison of K-Nearest Neighbor, Multiple Linear Regression, and Random Forest Classifiers for Depth Extraction in the Shallow Water of Kepulauan Seribu, Indonesia.
- [9] Jaelani, L. M., & Putri, K. (2019). Analisis Kemampuan Citra Satelit Pleiades-18 dalam Mengestimasi Kedalaman Perairan Gili Iyang dengan Menerapkan Geographically Weighted Regression (GWR). *Geoid, 14*(2), 28-34. <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v14i2.3877>
- [10] Kay, S., Hedley, J. D., & Lavender, S. (2009). Sun glint correction of high and low spatial resolution images of aquatic scenes: A review of methods for visible and near-infrared wavelengths. *Remote sensing, 1*(4), 697-730.
- [11] Muhari, R. R., De Maeyer, A. J., & D'Amico, G. (2022). Evaluation of Sentinel-2 Imagery for Satellite-Derived Bathymetry in the Gulf of Mexico.
- [12] Purwanto, A. D., Setiawan, K. T., & Br. Ginting, D. N. (2019, Juni 11). Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Ekstraksi Habitat Perairan Laut Dangkal di Pantai Pemuteran, Bali, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis, 22*(2), 165-172. <https://doi.org/10.14710/jkt.v22i2.5092>
- [13] Ulfa, K., Muchsin, F., Surya Chandra, D., Adi Pradono, K., Fibriawati, L., Indriani Oktavia, M., & Winda Veronica Damanik Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, K. (2019). Analisa Pola Spektral Citra Sentinel-2 (Spectral Analysis of Sentinel-2 Images). *Nasional Jl. Lapan No, 20*(2), 38-43.