

Pemodelan Garis Pantai Menggunakan Metode Interpolasi *Stacked Curve Spline Tension*

Nadya Oktaviani¹, Prayudha Hartanto¹, Danang Budi Susetyo¹, Hollanda Arief Kusuma²,
Yustisi Ardhisari¹, Ratna Sari Dewi¹

¹ Badan Informasi Geospasial (BIG)

Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong, Indonesia 16911

² Teknik Elektro, Universitas Maritim Raja Ali Haji

Jl. Raya Dompok – Tanjungpinang, Provinsi Kepulauan Riau, Indonesia 29124

Abstrak

Wilayah pesisir merupakan lingkungan dinamis yang dipengaruhi oleh interaksi atmosfer, daratan dan lautan. Demikian pula, posisi garis pantai juga selalu berubah karena komponen alami dan ulah manusia seperti erosi, gelombang, pasang harian, badai, dan pembangunan yang terjadi di kawasan pesisir. Dalam literatur, posisi garis pantai dapat diidentifikasi berdasarkan berbagai proksi seperti: fitur pantai yang diidentifikasi dari foto udara atau citra resolusi sangat tinggi dan indikator berbasis datum pasang surut yang diekstraksi dari survei lapangan. Penelitian ini mengusulkan suatu metode dalam memodelkan garis pantai berbasis datum dengan mengintegrasikan berbagai data batimetri termasuk data single beam dan multibeam echo sounding, Digital Elevation Model Nasional, dan data batimetri nasional. Metode stacked curve spline tension diterapkan untuk mengasimilasi berbagai data batimetri tersebut dan untuk membangun garis pantai. Berdasarkan hasil uji akurasi diperoleh kemiripan garis pantai yang bervariasi akurasi yaitu garis pantai LAT memiliki tingkat akurasi sebesar 29.28%, garis pantai MSL sebesar 65.45% dan garis pantai HAT sebesar 47.48%. Variasi akurasi yang diperoleh dapat terjadi karena beberapa hal diantaranya minimnya data input kedalaman yang digunakan, kerapatan data kedalaman yang sangat bervariasi, perbedaan waktu perolehan data antara data yang digunakan untuk penyusunan Peta LPI dan data yang digunakan dalam penelitian ini. Meskipun hasil uji akurasi yang diperoleh masih kurang memuaskan metode yang diusulkan ini cukup menjanjikan untuk diadopsi sebagai metode alternatif dalam pembangunan garis pantai dan untuk mengatasi keterbatasan data, waktu dan biaya dalam penyediaan garis pantai nasional.

Kata kunci: garis pantai; DEM; pemodelan; batimetri; stacked curve spline tension

Abstract

[Title: Coastline Modeling Using Stacked Curve Spline Tension Interpolation] The coastal area is a dynamic environment influenced by atmosphere, land, and ocean interactions. Similarly, the position of coastlines is also changing due to natural and human-induced components, for instance, erosion, wave, daily tide, storm, and coastal development. In literature, coastline position can be identified based on proxies such as coastal features identified from an aerial photo or very high-resolution image and tidal datum-based indicators extracting from a ground survey. This research proposed a method in deriving datum-based coastline by integrating various bathymetric data, including single beam and multibeam echo sounding data, the National Digital Elevation Model, and the national bathymetry data. The stacked curve spline tension method was applied to assimilate those various bathymetric data, and finally, the coastline was generated. Based on the accuracy assessment conducted, coastline similarity accuracy varies; namely, the LAT coastline had an accuracy of 29.28%, the MSL coastline was 65.45%, and the HAT coastline was 47.48%. These variations are due to several reasons, including the lack of input data, the density of depth data that varies greatly,

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: nadya.oktaviani@gmail.com

the difference in data acquisition time between the data used for the LPI map and the data used in this study. Although the accuracy values obtained were not sufficiently high, the proposed method was quite promising to adopt. The method can be used as an alternative for the coastline model and overcome data, time, and cost limitations in providing national coastlines.

Keywords: *coastline; DEM; modelling; bathymetry; stacked curve spline tension*

1. Pendahuluan

Pantai adalah bagian dari daratan yang bersebelahan atau berdampingan dengan pantai, laut, atau badan air yang besar seperti laut pedalaman atau danau (Finkl, 2016). Istilah garis pantai digunakan untuk membedakan batas antara daratan dan laut pada skala regional hingga global (Oertel, 2005). Posisi garis pantai sangat dinamis karena selalu berubah dalam skala waktu dan spasial (Boak and Turner, 2005). Kondisi ini dipengaruhi oleh proses alami dan juga proses non-alami. Perubahan garis pantai akibat proses alami salah satunya dipengaruhi gelombang pasang surut laut yang mengikis/membangun garis pantai secara terus menerus (Banna and Hereher, 2009). Adapun faktor non-alami yang mempengaruhi perubahan garis pantai biasanya diakibatkan efek dari aktifitas pembangunan di wilayah pesisir (Aouiche dkk., 2016). Banyak aspek kehidupan yang memerlukan data posisi garis pantai antara lain untuk mendukung pengelolaan wilayah pantai seperti mendeteksi terjadinya erosi, longsor pesisir dan sebagai dasar untuk merencanakan pembangunan serta pengembangan wilayah pantai (Moore, 2000), sebagai acuan navigasi dan referensi dalam pemetaan wilayah laut. Sehingga hal ini menjadi tantangan bukanlah tugas yang mudah bagi peneliti pesisir.

Beberapa metode penentuan garis pantai telah banyak dilakukan. Metode berbasis survei langsung dilapangan diyakini memiliki nilai akurasi yang baik (Crowell dkk, 1991) namun membutuhkan biaya yang mahal (Morton dkk, 1993). Seiring perkembangan teknologi, kemudian berkembang survei berbasis foto udara. Metode fotografi udara (aerial photography) menghasilkan data dengan cakupan yang lebih luas, akan tetapi memerlukan biaya dan personil yang handal dibidang ini (Moore, 2000). Metode lain yang cukup umum digunakan yaitu menggunakan data citra satelit (Chen dkk, 2019; Dai dkk, 2019; Xu dkk, 2016). Metode berbasis citra satelit diterapkan dengan mengamati rasio band dan klasifikasi. Klasifikasi ini untuk membedakan objek yang tampak pada muka citra satelit. Namun data garis pantai yang dihasilkan belum berdasarkan garis pantai yang terkoordinasi dengan datum pasang-surut atau tide-coordinated coastline (Gens, 2010). Penelitian terkait pemodelan garis pantai berdasarkan datum pasang surut masih terbatas dimana saat ini pembangunan garis pantai umumnya masih mengacu kepada interpolasi transek yang diukur melalui survei lapangan. Pengukuran garis pantai

melalui metode ini menghasilkan garis pantai yang akurat, akan tetapi tentu saja sangat mahal baik dari sisi biaya maupun tenaga (Boak and Turner, 2005) sehingga akan menghambat penyediaan garis pantai nasional. Oleh karena itu, penelitian terkait pembangunan garis pantai berdasarkan datum pasang surut ini sangat penting untuk dilakukan sehingga dapat mendukung pemenuhan data dan informasi garis pantai nasional secara akurat dan cepat.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun suatu metode untuk memodelkan garis pantai berbasis datum pasang surut dengan mengintegrasikan berbagai data kedalaman. Integrasi data kedalaman yang memiliki variasi resolusi spasial ini dilakukan dengan mengadopsi metode berbasis interpolasi yang dikembangkan oleh Hell dan Jakobsson (2011). Adapun data-data yang digunakan diantaranya data batimetri dari pengukuran singlebeam dan multibeam echosounder, data elevasi dari National Digital Elevation Model (DEMNAS) dengan resolusi spasial 0,27 arc-second dan data batimetri nasional. Data-data tersebut memiliki datum vertikal yang berbeda, sehingga perlu dilakukan penyamaan datum vertikal mengacu kepada datum vertikal yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (2018), sebagai referensi vertikal untuk semua data.

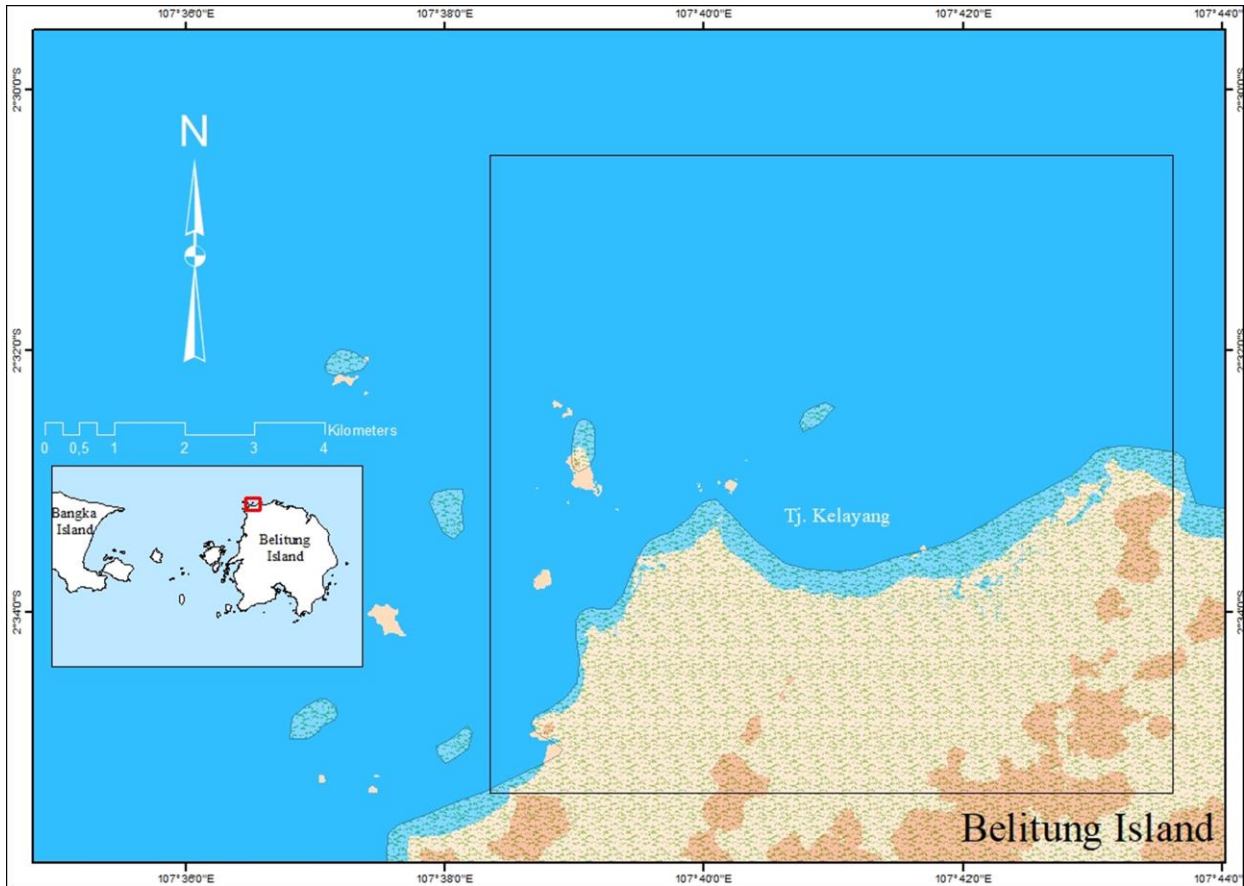
2. Metode Penelitian

2.1. Wilayah studi

Wilayah penelitian berada pada koordinat 2°34'12"S dan 107°38'9.6" E tepatnya di wilayah pesisir Tanjung Kelayang, Pulau Belitung, Provinsi Bangka Belitung, Indonesia. Pola pasang surut di daerah ini adalah diurnal dengan kisaran pasang surut sekitar 2,4 m (Badan Informasi Geospasial, 2019). Area penelitian tersebut dilihat pada Gambar 1.

2.2. Data

Penelitian ini menggunakan berbagai jenis sumber data yang meliputi data batimetri dan data topografi. Terhadap data tersebut dilakukan proses asimilasi untuk menghasilkan data DEM kontinyu yang menghubungkan wilayah daratan dan lautan setelah sebelumnya dilakukan penyamaan datum vertikal yang mengacu pada Mean Sea Level (MSL). Hal ini perlu dilakukan karena setiap data memiliki datum yang berbeda-beda, dimana data batimetri sudah mengacu pada MSL dan data topografi yang digunakan mengacu pada EGM 2008.



Gambar 1. Wilayah Penelitian di Pulau Belitung, Provinsi Bangka-Belitung

Data batimetri yang digunakan diantaranya data *single beam echosounder* (SBES) dan *multi beam echosounder* (MBES). Data SBES dan MBES diakuisisi oleh Badan Informasi Geospasial pada bulan Agustus tahun 2018 yang merupakan data resmi untuk pemetaan Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) dan Lingkungan Laut Nasional (LLN).

Selanjutnya, data topografi juga diperlukan dalam penelitian ini, dimana sumber data yang dipilih adalah DEMNAS. DEMNAS adalah data DEM kontinu seluruh Indonesia yang dihasilkan oleh BIG dan dapat diakses serta diunduh secara gratis di <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>. DEMNAS dihasilkan dari proses *data blending* menggunakan data DSM (*Digital Surface Model*) dari beberapa data DEM (TerraSAR-X, IFSAR, Radarsat, dan ALOS PALSAR) dan *trusted mass point* dari hasil *stereo plotting* dengan mempertimbangkan perbedaan tinggi antara elevasi *surface* dengan *ground* untuk menghasilkan DTM (*Digital Terrain Model*) terkoreksi (Susetyo dkk., 2018). DEMNAS memiliki resolusi 0,27 *arc-second* serta RMSE 2,79 meter dengan bias error -0,13 meter, sehingga secara kualitas DEMNAS dapat digunakan untuk pemetaan topografi pada skala menengah.

Sebagai validasi, digunakan data garis pantai yang diproduksi oleh BIG dalam peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) skala 1:25.000. Data tersebut digunakan sebagai referensi dalam menentukan akurasi hasil ekstraksi dengan menetapkan kemiripan fitur (*feature similarity*) antara garis pantai referensi dengan garis pantai hasil ekstraksi model. Data tersebut dipilih karena merupakan sumber data yang resmi sehingga secara kualitas serta riwayat data dapat dipertanggungjawabkan.

2.1. Metode

a). Pemodelan garis pantai

Penelitian ini mengadopsi metode interpolasi berbasis *Stacked Curve Spline Tension*. Metode ini digunakan untuk membangun grid dari berbagai resolusi (Hell dan Jakobsson, 2011). Interpolasi merupakan pengisian data dengan nilai prediksi melalui proses matematika dengan menggunakan nilai pengukuran (Amante dan Eakins, 2016). Tujuan dari interpolasi ini adalah untuk meminimalkan kekosongan data akibat perbedaan resolusi dari data yang digunakan. Pemilihan metode interpolasi didasarkan atas karakteristik dari metode interpolasi tersebut. Metode *spline* dikatakan dapat menghasilkan DEM yang halus dan mampu menginterpolasi nilai yang berada diluar rentang data (Amante & Eakins, 2016).

Data input yang digunakan dalam penelitian ini memiliki berbagai spesifikasi kepadatan data. Data *singlebeam echosounder* merupakan hasil pengukuran yang direkam pada tahun 2018. Kepadatan titik SBES ditetapkan pada 1 m, namun, interval lajur survei adalah 200 m. Data kedua adalah *multi beam echosounder* yang dipasang pada grid raster 5 m. Dataset terakhir adalah data DEMNAS dengan resolusi spasial adalah 8,1 m.

Seluruh pemrosesan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Generic Mapping Tools* (Wessel & Smith, 1996; Hell & Jakobsson, 2011). Menggunakan fungsi *grdstack* pada GMT untuk menutup grid yang memiliki data terbatas. grid dengan nilai resolusi yang lebih detail dipertahankan hingga pada tahap proses akhir. Selanjutnya, hasil pembentukan grid dari berbagai data adalah DEM terintegrasi (topografi dan batimetri).

Melalui DEM terintegrasi yang dihasilkan ini kemudian ditarik garis pantai berdasarkan datum pasang surut air laut. Datum pasang surut yang digunakan adalah a) LAT (*lowest astronomical tide*): nilai ini dijadikan acuan untuk mengekstrak garis pantai surut terendah, b) MSL (*mean sea level*): nilai ini dijadikan acuan untuk mengekstrak garis pantai berdasarkan muka laut rata-rata, dan c) HAT (*highest astronomical tide*): nilai ini dijadikan acuan untuk mengekstrak garis pantai pasang tertinggi. Ketiga datum pasang surut tersebut didapatkan dengan melakukan prediksi data pasut pada stasiun pasut terdekat selama 18.6 tahun. di wilayah Tj. Kelayang. Setelah

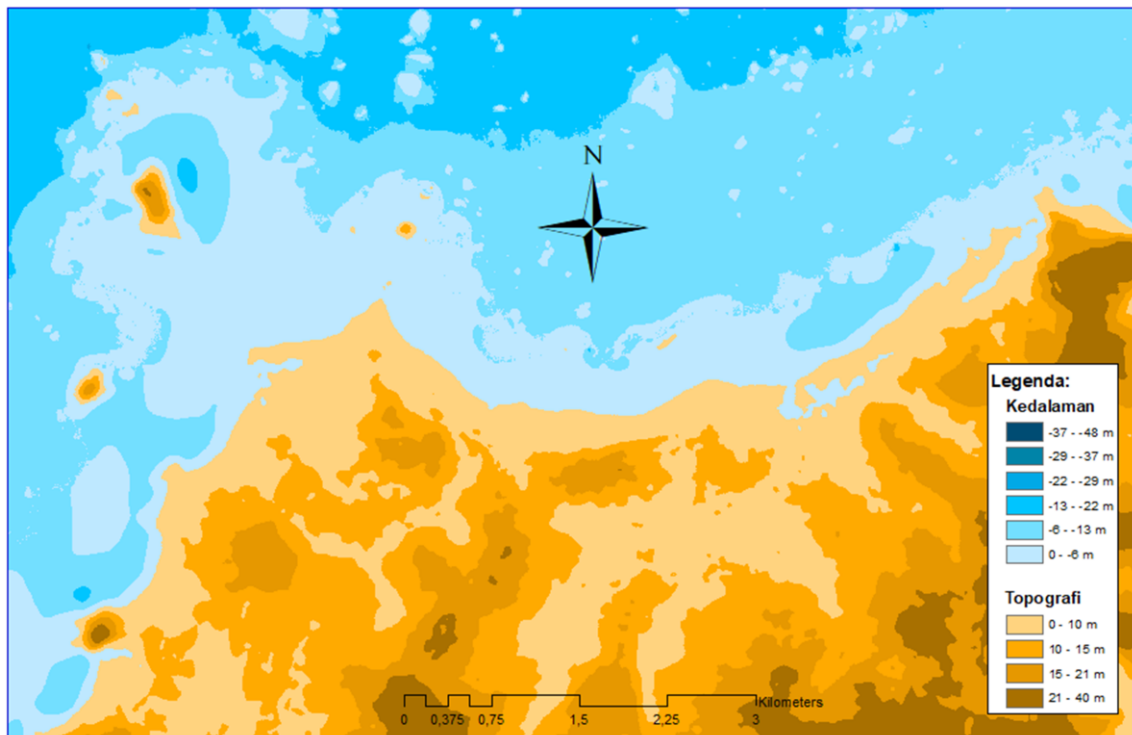
didapatkan nilai-nilai tersebut, maka selanjutnya dari DEM hasil pemodelan, diekstrak garis pantai. Hasil akhir dari pengolahan ini berupa file raster untuk data DEM dan file vektor hasil ekstraksi garis pantai.

b). Perhitungan akurasi

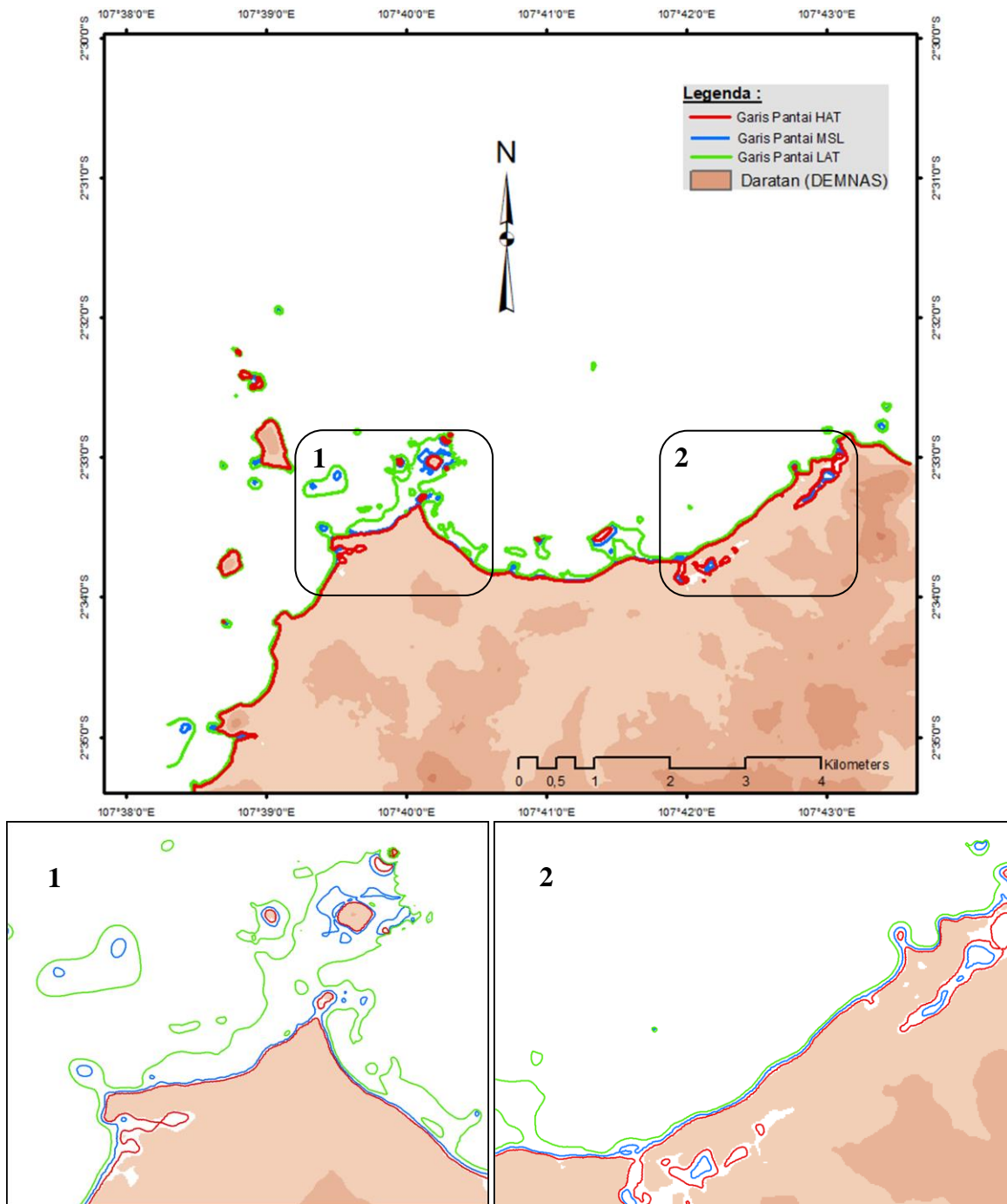
Uji akurasi pada garis pantai hasil ekstraksi DEM pemodelan dibandingkan dengan garis pantai milik Badan Informasi Geospasial (BIG) pada lokasi yang sama. Untuk membandingkan kedua garis pantai tersebut, kami mengadopsi metode berdasarkan kemiripan fitur atau *feature similarity* yang dikembangkan oleh Tveite & Langaas (1999). Garis pantai yang berasal dari Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) milik BIG dijadikan acuan dalam uji akurasi ini. Toleransi kesalahan maksimal pada penelitian ini adalah ≤ 10 meter dan statistik nilai akurasi dalam m^2 dan divisualisasikan dengan menggunakan Microsoft Excel.

3. Hasil dan Pembahasan

Data keluaran dari hasil model ini berupa data DEM hasil asimilasi berbagai data kedalaman dan garis pantai yang diekstrak menggunakan DEM tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa elevasi di darat dan batimetri di laut dapat divisualkan dengan baik pada tingkat kedetilan yang diharapkan. Perbedaan kedetilan pada DEM dipengaruhi oleh data masukan yang digunakan, mengingat masing-masing data memiliki resolusi yang berbeda-beda (Hell & Jakobsson, 2011).



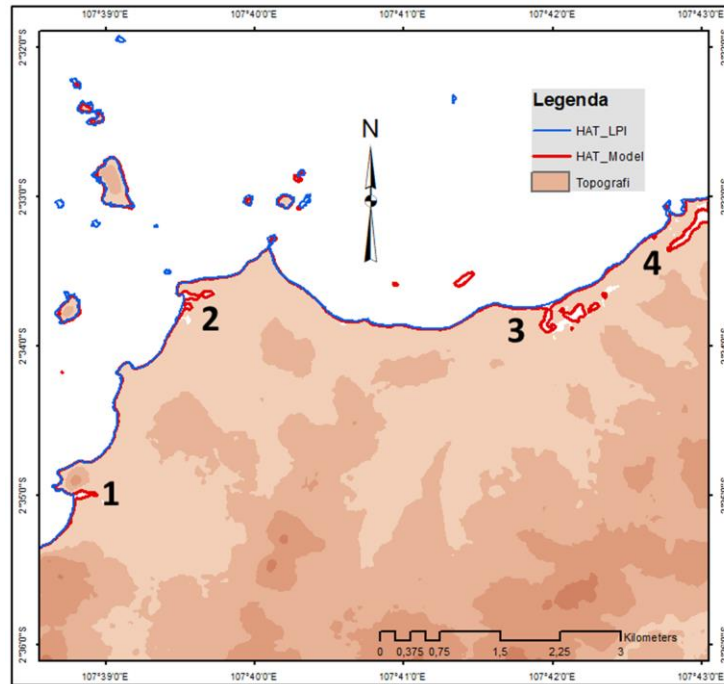
Gambar 2. DEM hasil integrasi seluruh data masukan



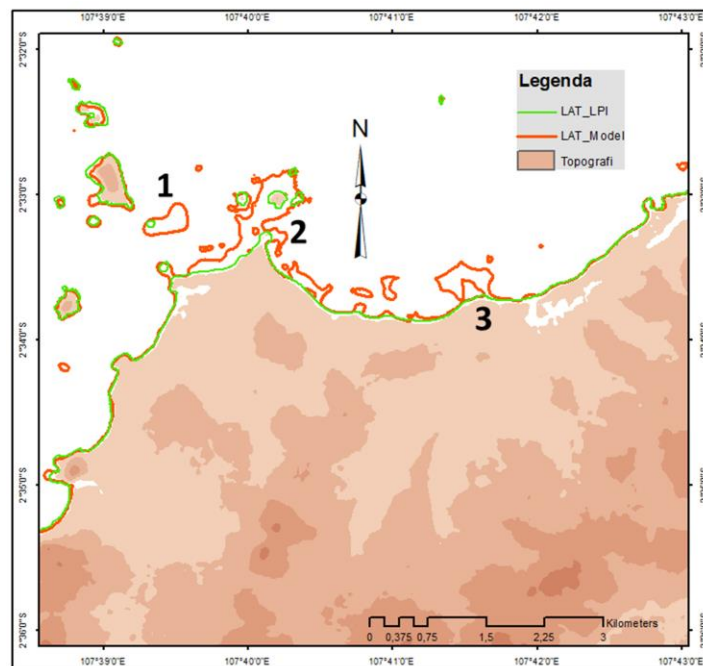
Gambar 3. Garis pantai yang diekstrak dari DEM hasil pemodelan mengacu kepada LAT, MSL, dan HAT.

Gambar 3 menampilkan hasil pemodelan garis pantai. Ketiga garis pantai yang ada pada Gambar 3 tersebut dihasilkan berdasarkan tiga datum pasang surut. Berdasarkan hasil pemodelan pasang surut diperoleh masing-masing nilai LAT, MSL dan HAT adalah -1.397 m, 0 m, dan 1.456 m. Pada Gambar 3 dapat terlihat bahwa

garis pantai LAT mampu mendeteksi adanya area-area dangkal yang akan terekspose ketika surut terendah sehingga sangat penting untuk keamanan jalur pelayaran di kawasan tersebut. Sedangkan garis pantai HAT menunjukkan pengaruh tertinggi pasang surut ke arah



Gambar 4. Perbandingan posisi garis pantai HAT dari Peta LPI (biru) dan garis pantai HAT hasil model (merah).

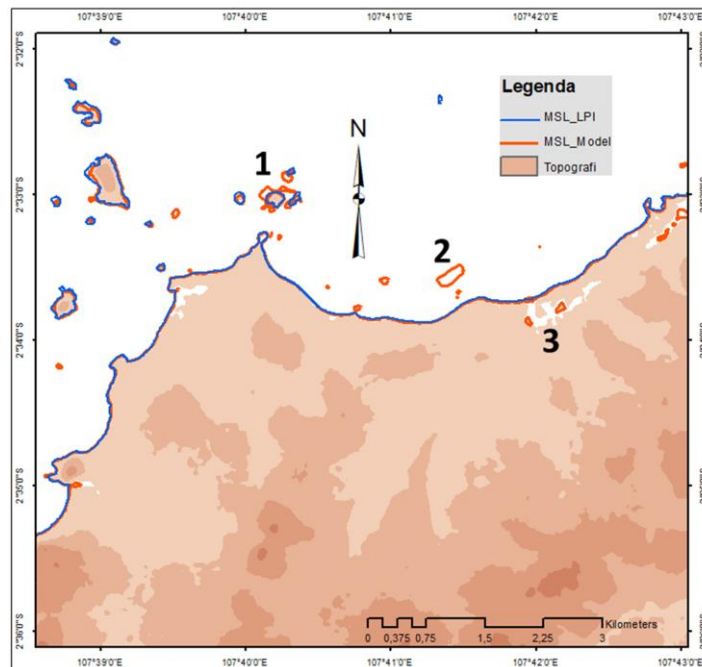


Gambar 5. Perbandingan posisi garis pantai LAT dari Peta LPI (hijau) dan garis pantai LAT hasil model (merah).

daratan sehingga penting untuk perencanaan pembangunan di wilayah pesisir (Boak & Turner, 2005).

Garis pantai yang diekstrak dari DEM hasil pemodelan diuji tingkat akurasinya menggunakan garis pantai dari Peta LPI BIG. Gambar 4 menunjukkan perbandingan garis pantai HAT dari Peta LPI dan garis pantai hasil model. Berdasarkan uji akurasi kemiripan fitur diperoleh nilai akurasi 47.48%. Kesalahan posisi garis

pantai hasil model berasal dari perbedaan kedetilan garis pantai yang dihasilkan. Garis pantai model dari penelitian ini lebih detil pada lokasi muara sungai (lihat garis pantai pada posisi yang ditandai angka 1-4 pada Gambar 4) dibandingkan dengan garis pantai dari Peta LPI. Hal ini kemungkinan disebabkan karena perbedaan kedetilan elevasi pada lokasi tersebut atau mungkin juga karena terjadi perubahan kondisi akibat proses alami mengingat



Gambar 6. Perbandingan posisi garis pantai MSL dari Peta LPI (biru) dan garis pantai MSL hasil model (merah).

wilayah pesisir adalah wilayah yang sangat dinamis (Morton dkk., 1993).

Gambar 5 menunjukkan perbandingan garis pantai LAT dari Peta LPI dan garis pantai hasil model. Berdasarkan uji akurasi kemiripan fitur diperoleh nilai akurasi 29.28%. Seperti halnya pada garis pantai HAT, dalam Gambar 5 terlihat perbedaan kedetilan garis pantai yang dihasilkan. Garis pantai model dari penelitian ini lebih detil pada lokasi-lokasi perairan sangat dangkal yang terbuka ketika surut terendah dan lokasi tersebut tidak terdeteksi oleh garis pantai LPI (lihat garis pantai pada posisi yang ditandai angka 1-3 pada Gambar 5).

Gambar 6 menunjukkan perbandingan garis pantai MSL dari Peta LPI dan garis pantai hasil model. Berdasarkan uji akurasi kemiripan fitur diperoleh nilai akurasi 65.45%. Pada gambar ini terlihat bahwa kedua garis pantai terlihat memiliki kesesuaian yang cukup baik kecuali pada lokasi yang ditandai angka 1-3 pada Gambar 6. Terdapat perbedaan kualitas dan kedetilan garis pantai antara garis pantai Peta LPI dan garis pantai model dalam penelitian ini. Sehingga mengakibatkan rendahnya akurasi garis pantai yang diperoleh dari penelitian ini.

4. Kesimpulan

4.1. Kesimpulan

Model yang diusulkan dalam penelitian ini mampu memodelkan garis pantai dan menghasilkan kedetilan DEM dengan cukup baik. Berdasarkan hasil uji akurasi diperoleh kemiripan garis pantai yang bervariasi akurasinya yaitu garis pantai LAT memiliki tingkat akurasi sebesar 29.28%, garis pantai MSL sebesar 65.45%

dan garis pantai HAT sebesar 47.48%. Variasi akurasi yang diperoleh dapat terjadi karena beberapa hal diantaranya minimnya data input kedalaman yang digunakan, kerapatan data kedalaman yang sangat bervariasi, perbedaan waktu perolehan data antara data yang digunakan untuk penyusunan Peta LPI dan data yang digunakan dalam penelitian ini.

4.2. Rekomendasi

Metode yang diusulkan dalam penelitian ini cukup potensial digunakan sebagai alternatif lain dalam membangun garis pantai dengan mengasimilasi berbagai data kedalaman. Penelitian yang menguji model interpolasi selain yang digunakan dalam penelitian ini perlu menjadi pertimbangan, sehingga akan diketahui mana metode interpolasi yang tepat dengan mempertimbangkan struktur data yang ada. Penggunaan skenario input data yang berbeda juga perlu dikaji untuk mendapatkan garis pantai dengan nilai akurasi yang lebih tinggi. Penambahan data elevasi terutama di perairan sangat dangkal kurang dari satu meter juga diperlukan untuk memperoleh garis pantai yang lebih akurat.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih atas dana yang disediakan oleh Kemenristekdikti dalam program INSINAS 2019 sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ibnu Sofian yang telah bersedia berdiskusi dan menganalisa hasil penelitian ini serta menyediakan *script code* untuk pemrosesan asimilasi data batimetri

Kontribusi Penulis

Semua penulis berkontribusi baik dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan hasil penelitian. Kontribusi setiap penulis sebagai berikut: N. Oktaviani melakukan penyusunan konsep penelitian, mengumpulkan data, melaksanakan pengolahan, dan membuat draft KTI; P. Hartanto melakukan pengolahan data, dan pengembangan draft KTI; D.B. Susetyo melakukan pengolahan data, dan pengembangan draft KTI; H. A. Kusuma melakukan pengolahan data, dan pengembangan draft KTI; Y. Ardhisari melakukan pengembangan draft KTI; R.S. Dewi melakukan penyusunan konsep penelitian, mensupervisi semua kegiatan penelitian, melakukan pengembangan dan perbaikan draft KTI. Dalam penyusunan KTI ini N. Oktaviani sebagai kontributor utama, sedangkan P. Hartanto, D. B. Susetyo, H. A. Kusuma, Y. Ardhisari, R. S. Dewi sebagai kontributor anggota

Daftar Pustaka

Amante, C.J., & Eakins, B.W. (2016). Accuracy of Interpolated Bathymetry in Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 76, 10076, 123–133, <https://doi.org/10.2112/SI76-011>.

Aouiche, I., Daoudi, L., Anthony, E. ., Sedrati, M., Ziane, E., Harti, A., & Dussouillez, P. (2016). Anthropogenic effects on shoreface and shoreline changes: Input from a multi-method analysis, Agadir Bay, Morocco. *Geomorphology*, 254, 16–31.

Banna, M. M. . & Hereher, M. (2009). Detecting temporal shoreline changes and erosion/accretion rates, using remote sensing, and their associated sediment characteristics along the coast of North Sinai, Egypt. *Environ Geol*, 58, 1419–1427.

Badan Informasi Geospasial (2018). *DEMNAS: Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional*. Cibinong, Indonesia: Geospatial Information Agency (Badan Informasi Geospasial).

Badan Informasi Geospasial (2019). *Online tide prediction*. Diakses dari <http://tides.big.go.id/>, tanggal 1 Agustus 2019.

Badan Informasi Geospasial (2019). *Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional*. Diakses dari <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>, tanggal 13 Oktober 2019.

Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21, 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>

Chen, C., Bu, J., Zhang, Y., Zhuang, Y., Chu, Y., Hu, J., & Guo, B. (2019): The application of the tasseled cap transformation and feature knowledge for the extraction of coastline information from remote

sensing images. *Advances in Space Research*, 64, 1780–1791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.07.032>

Crowell, M., Leatherman, S., Buckley, M.K. (1991). Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 839-852

Dai, C., Howat, I. M., Larour, E., & Erik, H. (2019): Coastline extraction from repeat high resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 229, 260–270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.010>

Finkl C.W. (2016) Coasts. *Encyclopedia of Marine Geosciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Dordrecht : Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6238-1_152

Gens, R. (2010): Remote sensing of coastlines: detection, extraction and monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, 31(7), 1819–1836. <https://doi.org/10.1080/01431160902926673>

Hell, B., & Jakobsson, M. (2011): Gridding heterogeneous bathymetric data sets with stacked continuous curvature splines in tension, *Mar Geophys Res*, 32, 493–501. <https://doi.org/DOI 10.1007/s11001-011-9141-1>

Moore, L.J. (2000). Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16, 111-124

Morton, R.A., Leach, M.P., Paine, J.G., & Cardoza, M.A. (1993). Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. *Journal of Coastal Research*, 9, 702-720

Oertel, G.F. (2005). Coasts, coastlines, shores, and shorelines. *Encyclopedia of Coastal Science*. Dordrecht : Springer .

Susetyo, D. B., Lumban-gaol, Y. A., & Sofian, I. (2018). Prototype of National Digital Elevation Model in Indonesia. *ISPRS Technical Commission IV Symposium 2018*.

Tveite, H., Langaas, S. (1999). An Accuracy Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1), 27-47. <http://dx.doi.org/10.1080/136588199241445>

Wessel, P., & Smith, W. H. . (1996): A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database, *Journal of Geophysical Research*, 101, 8741–8743.

Xu, N., Gao, Z., a& Ning, J. (2016): Analysis of the characteristics and causes of coastline variation in the Bohai Rim, *Environment Earth Science*, 75:719. <https://doi.org/DOI 10.1007/s12665-016-5452-5>.