

Kajian Sedimentasi untuk Pengembangan Layout Alternatif di Dermaga C PT Petrokimia Gresik

Muhammad Khaisar Wirawan^{1*}, Abiyani Choirul Huda¹, Rizki Mendung Ariefianto²,
Rendatiyarso Laksono², Widi Agoes Praktiko², Fuad Mahfud Assidiq³, Rani Yuniar
Putriyanti¹

¹Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Kalimantan
Jl. Soekarno-Hatta Km. 15, Karang Joang, Balikpapan, Kalimantan Timur, 76127 Indonesia

²Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya Jawa Timur, 60111 Indonesia

³Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Gedung Naval A Lantai 1 Kampus Teknik, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan. 92171
khaisar.wirawan@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Pembangunan Dermaga C sebagai fasilitas baru di PT Petrokimia Gresik bertujuan untuk meningkatkan produktivitas perusahaan. Produktivitas ini terwujud dalam bentuk aktivitas percepatan bongkar muat barang yang diangkut dari kapal ke daratan atau sebaliknya. Namun, aktivitas ini akan terkendala di masa depan jika sedimentasi tidak diatasi dengan baik. Untuk mengatasi fenomena sedimentasi di suatu dermaga, perlu dilakukan analisis laju sedimentasi secara dini dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti karakteristik pasang surut, pola arus, dan profil gelombang. Beberapa cara dapat dilakukan untuk meminimalisir laju sedimentasi, salah satunya dengan memodifikasi layout dermaga dengan tujuan untuk mengurangi frekuensi pengerukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju sedimentasi di sekitar Dermaga C dan menghitung perkiraan volumenya. Dua layout alternatif dari Dermaga C eksisting diusulkan untuk meminimalisir *bed level thickness* yang dapat terjadi di dermaga. Penelitian ini menerapkan pemodelan numerik berbasis *software* MIKE 21. Hasilnya, layout alternatif 1 dan 2 untuk periode yang sama mampu mengurangi volume sedimentasi terhadap layout eksisting masing-masing sebesar 9348.12 m³ dan 13215.48 m³ atau memiliki persentase penurunan sebesar 45.3% dan 64.1%. Di antara layout alternatif 1 (LA1) dan 2 (LA2), layout kedua adalah rekomendasi yang paling optimal. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa modifikasi layout terbukti dapat menurunkan laju sedimentasi di Dermaga C.

Kata kunci: Dermaga C, Laju Sedimentasi, Pengembangan Layout Alternatif

Abstract

Sedimentation Rate Analysis for Alternative Layouts Development at Port C PT Petrokimia Gresik

Construction of Port C as a new facility at PT Petrokimia Gresik aims to increase the company's productivity. This productivity is manifested in accelerating the loading and unloading of materials transported from ships to land or vice versa. However, this activity will be hampered in the future if the sedimentation is not handled correctly. Hence, the sedimentation phenomenon in a port needs to be overcome. It is essential to investigate the sedimentation rate by considering tidal characteristics, current patterns, and wave profiles. Various ways can be conducted to decrease the sedimentation rate, one of which is by modifying the port layout to minimize the intensity of dredging. This research aims to analyze the sedimentation rate around Port C and calculate the estimated volume. Two alternative layouts are proposed to minimize the bed level thickness on the Port C. This research applies numerical modeling based on MIKE 21 software. As a result, alternative layouts 1 and 2 for the same period can reduce the sedimentation volume to the existing layout by 9348.12 m³ and 13215.48 m³, respectively, or have a decreasing percentage of 45.3% and 64.1%. The last layout is the most significant among alternative layouts 1 (LA1) and 2 (LA2). It can be emphasized that the layout modification is proven to decrease the sedimentation rate at Port C.

Keywords: Port C, Sedimentation Rate, Alternative Port Development

PENDAHULUAN

PT Petrokimia Gresik merupakan sebuah perusahaan dalam negeri yang berbisnis di sektor agroindustri dalam bentuk produksi fertilizer (pupuk) dan bahan kimia lainnya di Indonesia. Menempati area seluas lebih dari 450 hektar, PT Petrokimia Gresik memiliki lebih dari 21 pabrik yang beroperasi dimana terdiri atas pabrik pupuk dan non-pupuk dengan kapasitas produksi mencapai 8.9 juta ton/tahun (PT Petrokimia, 2018). Sepanjang tahun 2018, PT Petrokimia Gresik telah mengembangkan pembangunan Dermaga C untuk meningkatkan produktivitas. Fasilitas ini berkapasitas 1.5 juta ton/tahun, dan ditujukan untuk mengatasi tingginya intensitas kegiatan bongkar muat. Selain itu, dermaga baru ini difungsikan untuk mengurangi *dwelling time* kapal di pelabuhan utama PT Petrokimia Gresik. Oleh karena itu, peran Dermaga C sangat penting karena merupakan salah satu pendukung program “Transformasi Bisnis” yang dijalankan PT Petrokimia Gresik dalam bentuk kegiatan ekspor dan impor. Untuk menjaga kelangsungan kegiatan produksi dan aktivitas perekonomian, maka perlu dilakukan pemeliharaan dermaga secara terjadwal.

Pemeliharaan tersebut terutama terkait dengan pengurangan sedimentasi di kolam Dermaga C. Hal ini penting karena biaya pembangunan pelabuhan dan struktur pantai akan meningkat bahkan menjadi tidak ekonomis jika sedimentasi tidak diselidiki dengan baik (Zeinabi dan Kohansal, 2020). Fenomena sedimentasi di suatu dermaga menjadi salah satu faktor penyebab waktu tunggu kapal yang cukup lama untuk melakukan proses bongkar muat (Putranto dan Buchari, 2017). Selain itu, sedimentasi seringkali membuat kapal sulit untuk berlabuh dan bermanuver di sekitar dermaga. Bahkan, jika sedimentasi terlalu tinggi dapat menyebabkan kapal tenggelam (Witantono dan Khomsin, 2015). Dalam kasus ini, kapal-kapal PT Petrokimia Gresik beroperasi pada kawasan dengan batimetri antara 10 – 15 m (Rohman *et al.*, 2021). Dengan *draught* kapal yang digunakan sebesar 6.7 m tentu analisis sedimentasi diperlukan untuk menjaga kapal agar dapat beroperasi dengan baik.

Sedimentasi dapat terjadi di banyak bagian dermaga seperti di pintu masuk (*entrance*), daerah berlabuh, dan saluran navigasi (Sharaan *et al.*, 2018). Untuk memelihara sedimentasi di suatu dermaga diperlukan data laju sedimentasi yang akurat untuk melakukan pengerukan (*dredging*) secara berkala (Katsiri *et al.*, 2009; Ezzeldin *et al.*,

2020). Sedimentasi yang terjadi di suatu dermaga utamanya dipengaruhi oleh faktor gelombang, arus, dan pasang surut (Wisha dan Ilham, 2019). Faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan laju sedimentasi berupa proses perpindahan butir sedimen (*sediment grain*). Faktanya, perpindahan *grain* ke Dermaga C dipengaruhi oleh suplai sedimen yang sangat besar dari Kecamatan Ujung Pangkah dengan volume 9.38 m³ per m² per tahun. Fenomena ini merupakan proses alamiah yang wajar sebagai akibat pengaruh bentuk pantai atau struktur perairan di lokasi tersebut. Faktor-faktor tersebut menghasilkan ketidakseimbangan partikel, yang menyebabkan terjadinya erosi struktur di sekitar pantai.

Beberapa penelitian terkait masalah sedimentasi di alur pelayaran, pelabuhan, dan bangunan laut lainnya telah dilakukan. Putranto dan Buchari (2017) menganalisis pengaruh sedimentasi di Pelabuhan Bom Baru, Kota Palembang terhadap penurunan *dwelling time* kapal menggunakan model hidrodinamika DIVAST-2D. Hasilnya diperoleh laju sedimentasi cukup tinggi hingga 40 cm/bulan. Kesimpulannya, hasil ini dapat menjadi rekomendasi untuk pengerukan berkala di pelabuhan yang diteliti. Wibowo dan Kongko (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan tanggul terhadap laju sedimentasi pada kolam dan desain saluran Pelabuhan Patimban menggunakan MIKE 21. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan tanggul merupakan metode yang efektif dalam menurunkan laju sedimentasi hingga 88.9%. Penggunaan *software* MIKE 21 untuk menganalisis transpor sedimentasi juga dilakukan oleh Wibowo *et al.* (2020). Penelitian dilakukan di Pelabuhan Perikanan Nasional Sungailiat dalam rangka perencanaan infrastruktur pengendalian sedimen. Pada lokasi eksisting, penelitian ini menghasilkan perubahan ketinggian dasar laut maksimum sebesar 2.75 m/tahun dan rata-rata 4.44 cm/tahun. Selanjutnya, penelitian lapangan dan model numerik dilakukan oleh Mahmoodi *et al.* (2020). Untuk pemodelan numerik juga dilakukan dengan menggunakan *software* MIKE. Pemodelan ini menunjukkan hasil yang sesuai dengan kondisi lapangan. Pada penelitian Nirwana *et al.* (2021), *software* MIKE 21 bahkan digunakan untuk mensimulasikan transpor sedimen pada daerah dengan kondisi oseanografi kompleks di daerah Bojong Selawe, Pantai Pangandaran. Guarnieri *et al.* (2021) mempelajari pola erosi dan akumulasi sedimen dasar di Pelabuhan Genoa yang

disebabkan oleh aktivitas manuver kapal. Studi dilakukan berdasarkan pemodelan numerik menggunakan *software* MIKE 3 FM dan mengusulkan metode baru yang dapat mengoptimalkan pengelolaan pelabuhan dan pemeliharaan dasar laut secara efisien. Penelitian sedimentasi di lokasi yang sama di kawasan PT Petrokimia Gresik dilakukan oleh Rohman *et al.* (2021). Dengan menggunakan pemodelan hidrodinamika 3D yang mempertimbangkan pola arus laut, batimetri, dan laju sedimentasi, diperoleh hasil bahwa sedimentasi yang terjadi dapat menyebabkan perubahan kedalaman hingga 0.06 m/bulan.

Sedimentasi dapat dikurangi dengan beberapa metode, baik desain optimasi pelabuhan maupun dinding penahan arus (Kirby, 2011). Cara sebelumnya dapat dilakukan dengan mendesain ulang tata letak atau layout pelabuhan yang memiliki probabilitas sedimentasi minimum. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji karakteristik sedimentasi di Dermaga C dan merekomendasikan layout alternatif pada dermaga tersebut. Selain itu, karakteristik dan volume sedimentasi dari layout alternatif dibandingkan dengan layout eksisting Dermaga C. *Software* MIKE 21 digunakan untuk mensimulasikan laju sedimentasi pada kedua layout tersebut. *Software* MIKE 21 dipilih karena terbukti sebagai perangkat lunak yang akurat pada penelitian sebelumnya. Untuk mencapai hasil tersebut perlu disiapkan data pendukung seperti batimetri, pasang surut, angin sebagai input dari *software* yang digunakan.

MATERI DAN METODE

Lokasi objek penelitian ini difokuskan di Dermaga C PT Petrokimia, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Secara rinci

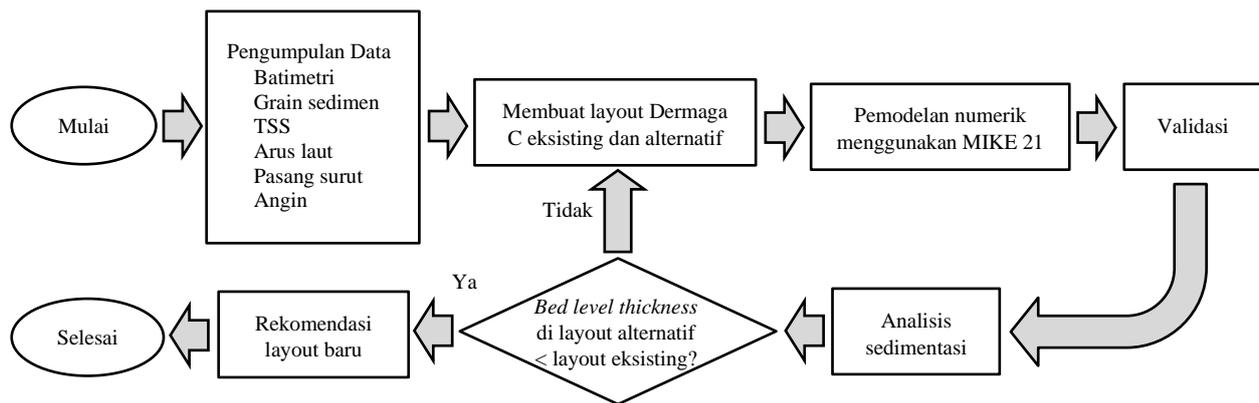
Dermaga C berada di kawasan Selat Madura yang secara geografis terletak pada $7^{\circ} 8'13.46''$ LS dan $112^{\circ}39'0.71''$ BT seperti terlihat pada Gambar 1. Dermaga C merupakan salah satu fasilitas baru PT Petrokimia Gresik yang dibangun pada 2018 dan diresmikan setahun kemudian. Pelabuhan ini melayani bongkar muat dari PT Petro Jordan Abadi (PJA) dengan material angkut berupa gypsum dan bongkar muat dari pabrik asam fosfat PT Petrokimia Gresik. Selain itu, dermaga ini memiliki kapasitas bongkar muat yang sangat besar yaitu mencapai 1.5 juta ton per tahun. Dermaga ini diperuntukkan untuk kapal tongkang berkapasitas maksimum 10000 DWT dengan dimensi panjang 432 m, lebar 27 m, dan *draught* 6.7 m (PT Petrokimia Gresik, 2022).

Penelitian dilakukan dengan alur sebagai berikut: (1) Pengambilan data lapangan berupa butir sedimen, total padatan tersuspensi (TSS), batimetri, pola pasang surut, dan karakteristik angin. Semua data tersebut diperoleh dalam bentuk data sekunder; (2) Membuat layout eksisting dan alternatif Dermaga C (3) Simulasi dan analisis transpor sedimen, pemodelan aliran, dan hidro-oseanografi menggunakan model MIKE 21; (4) Model divalidasi menggunakan data yang terkumpul; (5) Perbandingan pengaruh sedimentasi antara layout alternatif dengan layout eksisting Dermaga C (6) Rekomendasi layout baru jika hasil sedimentasi (*bed level thickness*) layout alternatif kurang dari layout eksisting. Diagram proses evaluasi sedimentasi di Dermaga C di PT Petrokimia Gresik ditunjukkan pada Gambar 2.

Dalam rangka mengetahui karakteristik sedimentasi, maka dibutuhkan data butir sedimen dan *total suspended solid* (TSS). Kedua parameter tersebut diperoleh dari data sekunder pada penelitian lain. Data butir sedimen diperoleh dari



Gambar 1. Lokasi Dermaga C di PT Petrokimia Gresik (a) Tampilan Maps (b) Detail Lokasi (Google Maps, 2022)



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

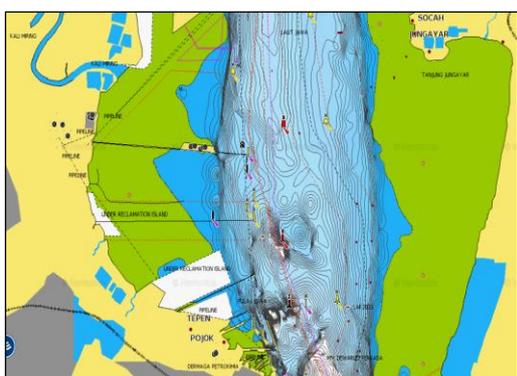
penelitian Putra *et al.* (2017) seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan data TSS diperoleh dari penelitian Krisna *et al.* (2012). Data TSS diambil pada lokasi $x = 704782$, $y = 9168932$ dengan hasil jumlah TSS sekitar 31.9 mg/L. Selanjutnya perlu ditentukan karakteristik kedalaman perairan (batimetri) di lokasi penelitian. Peta batimetri yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT Adhi Karya di bulan November 2018. Namun, peta tersebut hanya mencakup Dermaga C sehingga perlu dilengkapi pada wilayah yang lebih luas dengan mengambil peta batimetri dari *navionic.com* seperti pada Gambar 3a. Peta tersebut didigitasi menggunakan *software* Autocad lalu dikonversi menjadi format *xyz* dengan bantuan *software notepad++* dan *dxg to xyz*. Setelah ditentukan *boundary* wilayah batimetri, selanjutnya dilakukan *meshing* menggunakan Mesh Generator hingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 3b. Hasil validasi batimetri terhadap data sekunder diperoleh karakteristik yang memuaskan. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian dari Rohman *et al.* (2021) pada lokasi yang sama dimana menunjukkan karakteristik yang mirip. Faktor eksternal seperti kecepatan arus, profil pasang surut, dan karakteristik angin berperan dalam sedimentasi. Data kecepatan arus diperoleh dari Laporan Akhir Pengukuran Kedalaman dan Penyelidikan Masalah Pendangkalan di Pelabuhan Petrokimia Gresik tahun 1989. Data pasang surut diperlukan untuk memahami jenis pasang surut yang terdapat di daerah yang diteliti. Jenis pasang surut diketahui berdasarkan contoh karakteristik pasang surut dari Agustus 2018 (pada Musim Timur) dan November 2018 (pada Musim Barat), yang disediakan oleh Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut

(PUSHIDROSAL). Data tersebut juga mengacu pada Stasiun Perak dan Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS), di mana Dermaga C terletak di antara keduanya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a. Untuk data angin diambil dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) pada rentang waktu yang sama. Validasi pola arus terukur dan karakteristik pasang surut dari pemodelan numerik, lokasi yang ditandai di dekat Dermaga C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4b dipertimbangkan.

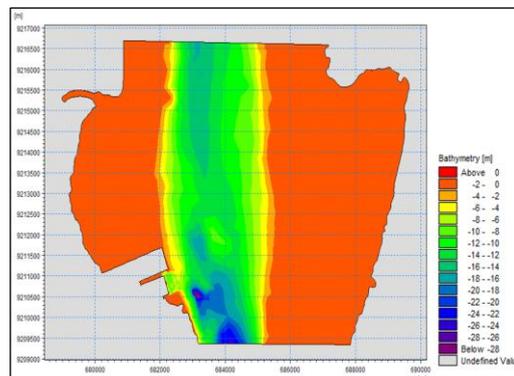
Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, terdapat beberapa hasil yang dapat dianalisis untuk mengetahui karakteristik faktor sedimentasi di sekitar Dermaga C. Pada Gambar 5, profil arus memiliki kecepatan terendah 0.02 m/s dan kecepatan tertinggi 0.88 m/s. Sedangkan karakteristik pasang surut di lokasi penelitian adalah tipe semi diurnal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Selain itu, elevasi pasang surut maksimum baik pada Musim Timur maupun Musim Barat memiliki nilai mendekati 3 m. Data tersebut digunakan sebagai data masukan kondisi batas pada modul hidrodinamika *software* MIKE 21 guna mendapatkan pola arus laut dan karakteristik sedimentasi. Faktor eksternal lainnya, yaitu karakteristik angin, mempengaruhi profil gelombang dan pola pergerakan arus di lokasi yang diteliti. Hasilnya, karakteristik angin mempengaruhi pola pergerakan angkutan sedimen. Dalam simulasi ini digunakan data angin sekunder dari BMKG pada bulan Agustus 2018 yang merepresentasikan Musim Timur dan November 2018 yang merepresentasikan Musim Barat. Karakteristik angin pada bulan Agustus memiliki arah angin yang dominan dari barat laut ke tenggara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8a.

Tabel 1. Ukuran Grain Sedimen (Putra *et al.*, 2017)

No	Geografi		UTM		Diameter (mm)	
	S	E	X	Y	d50	d90
1	07 07 11.2	112 38 02.0	680442	9212691	0.002	0.02
2	07 07 18.6	112 38 05.0	680533	9212464	0.002	0.022
3	07 07 33.9	112 37 44.2	679893	9211996	0.001	0.03
4	07 07 19.0	112 37 44.5	679905	9212454	0.001	0.06
5	07 05 59.1	112 37 54.3	680214	9214907	0.003	0.1
6	07 06 52.3	112 38 10.6	680708	9213271	0.001	0.1
7	07 06 47.1	112 37 46.7	679975	9213434	0.001	0.08
8	07 06 31.4	112 37 39.6	679759	9213916	0.001	0.07
9	07 06 01.1	112 38 11.8	680750	9214843	0.001	0.1
10	07 05 56.6	112 37 32.3	679539	9214986	0.001	0.1
11	07 05 44.6	112 37 58.8	680353	9215352	0.003	0.1
12	07 05 44.0	112 38 09.1	680669	9215369	0.003	0.1
13	07 06 28.6	112 38 05.6	680557	9214000	0.001	0.1
14	07 06 42.9	112 38 07.8	680623	9213560	0.007	0.09



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Peta Batimetri dari *navionic.com*, dan (b) Hasil *Meshing* Batimetri

Sedangkan karakteristik angin pada bulan November cenderung sama ke segala arah seperti terlihat pada Gambar 8b. Untuk karakteristik angin pada bulan Agustus memiliki kecepatan dominan antara 18–27 knot dan untuk karakteristik angin pada bulan November memiliki kecepatan dominan antara 9–18 knot. Adapun klasifikasi kecepatan angin tersebut berdasarkan skala Beaufort masing-masing berada pada rentang hembusan kuat (*strong breeze*) dan hembusan sedang (*moderate breeze*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model yang telah disimulasikan, terlebih dahulu divalidasi agar diketahui tingkat keakuratannya. Proses validasi dilakukan dengan

cara membandingkan data sekunder pola arus dan profil pasang surut dengan data simulasi model. Titik lokasi validasi kecepatan arus dan pasang surut berada pada koordinat $x = 682240$ dan $y = 9211180$. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada Persamaan (1) digunakan untuk mengevaluasi kecepatan arus dan pasang surut melalui persentase *error* antara data sekunder dan hasil pemodelan. Perbandingan data kecepatan arus menghasilkan nilai *error* sebesar 34.93% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Adapun nilai ini memiliki interpretasi pada kisaran sedang seperti terlihat pada Tabel 2. Untuk validasi pasang surut menggunakan data pasang surut selama 30 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai MAPE masing-masing sebesar 1.88% pada bulan

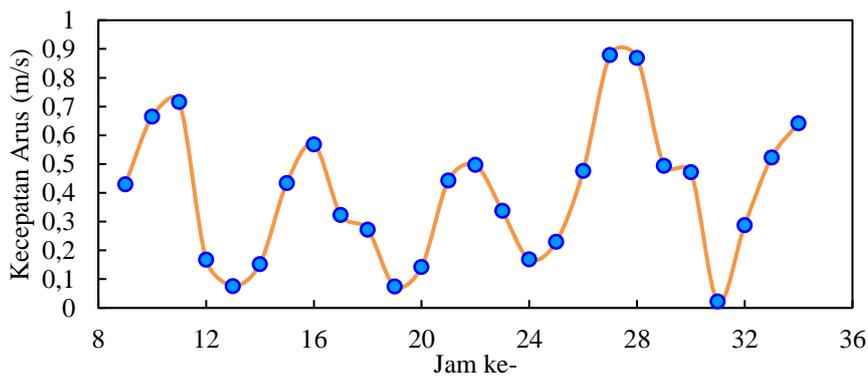
Agustus (Musim Timur) dan 2.11% pada bulan November (Musim Barat). Interpretasi dari hasil ini berada dalam kisaran yang sangat baik. Karakteristik pasang surut dari perbandingan dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

Hasil simulasi pemodelan hidrodinamik ditampilkan dalam bentuk pola kecepatan arus, karakteristik pasang surut, dan profil gelombang. Kecepatan arus memungkinkan untuk dapat mengetahui pola pergerakan sedimen sehingga dapat menjadi pertimbangan untuk perencanaan alternatif layout desain dermaga. Hasil simulasi

dilakukan pada dua titik yaitu di dermaga utama dan pintu masuk dermaga. Kedua titik tersebut memiliki koordinat seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan denah lokasi seperti pada Gambar 12. Selanjutnya terlihat pada Gambar 13a dan 13b, pola arus bergerak dari arah barat laut ke arah tenggara pada kedua musim. Kecepatan arus memiliki hasil yang sama yaitu 0.3 m/s pada Musim Timur di kedua Titik 1 dan 2. Namun pada Musim Barat terdapat perbedaan yang signifikan antara titik-titik tersebut, dimana Titik 2 memiliki pola kecepatan arus yang tinggi hingga mencapai



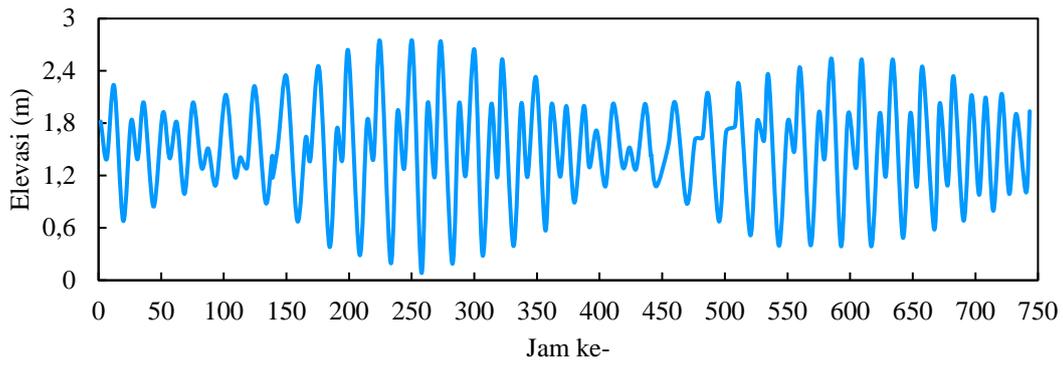
Gambar 4. (a) Lokasi Pengukuran Arus Dekat Dermaga C, (b) Tampilan *Zoom Out* Dari Lokasi Dermaga C (Google Maps, 2022)



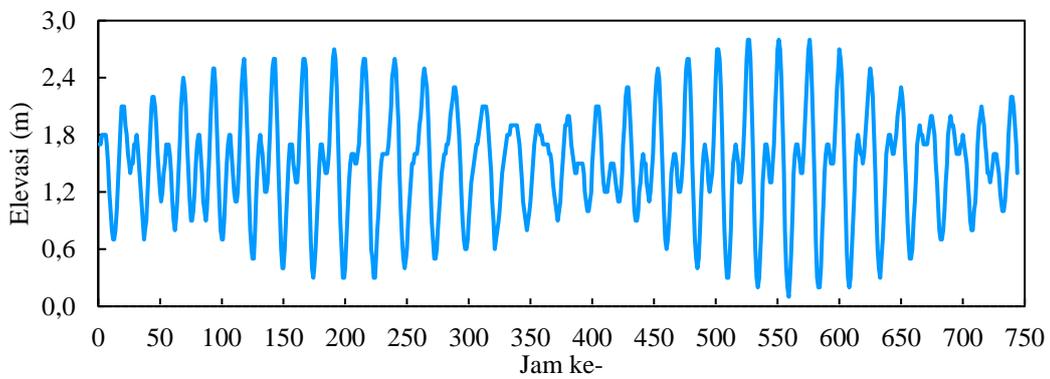
Gambar 5. Kecepatan Arus yang Terukur di Lokasi Uji (PT Petrokimia Gresik, 1989)

Tabel 2. Kriteria *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) (Asrah *et al.*, 2018)

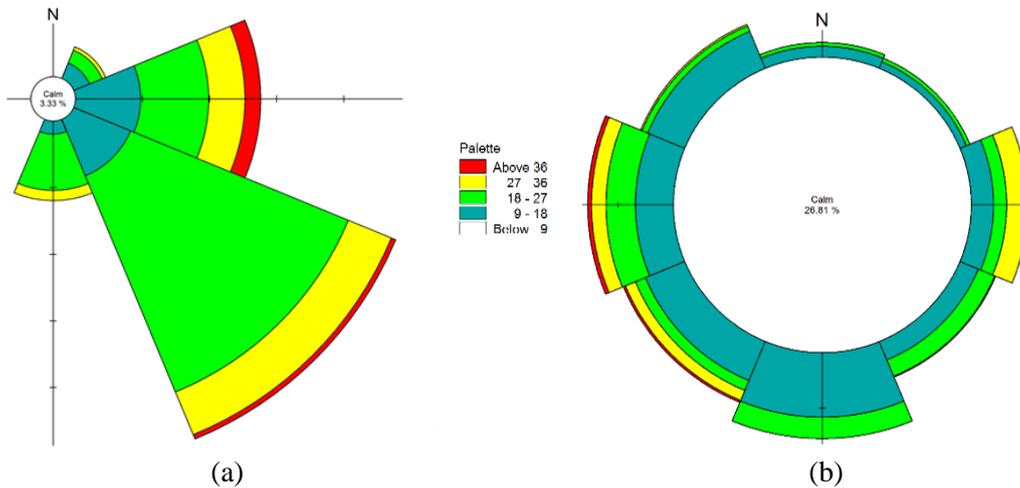
MAPE	Interpretasi
<10%	Sangat Baik
10% – 20%	Baik
20% – 50%	Moderat
>50%	Buruk



Gambar 6. Karakteristik Pasang Surut di Perak pada Musim Timur (PUSHIDROSAL, 2018)

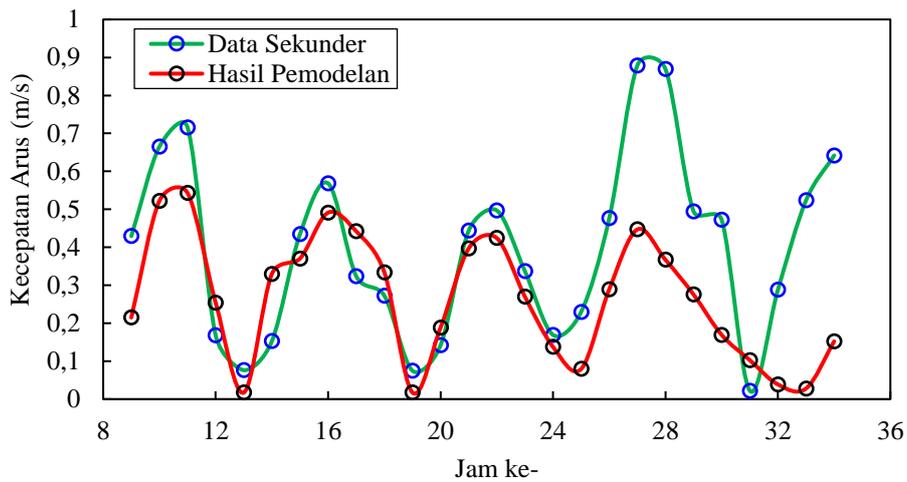


Gambar 7. Karakteristik Pasang Surut di Perak pada Musim Barat (PUSHIDROSAL, 2018)

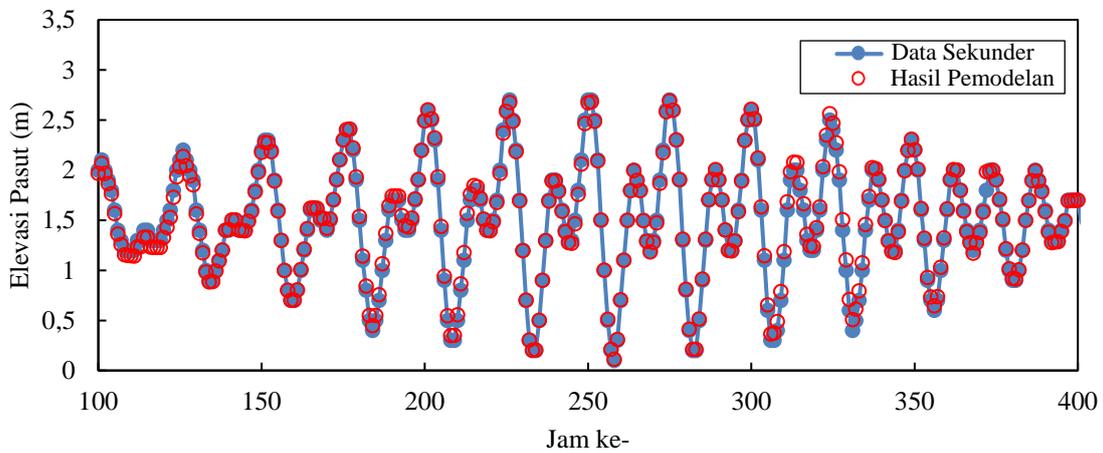


Gambar 8. Diagram *Windrose* pada (a) Agustus 2018, dan (b) November 2018 (BMKG, 2018)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left[\frac{\text{nilai aktual} - \text{nilai forecasting}}{\text{nilai aktual}} \right] \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 9. Validasi Kecepatan Arus



Gambar 10. Validasi Pasang Surut pada Bulan Agustus 2018 (Musim Timur)

0.6 m/s. Hasil ini dapat dikatakan sangat sesuai dengan penelitian Rohman *et al.* (2021) yang mana pada periode Agustus 2020 (Musim Timur) karakteristik arus pasang mengarah dari utara ke selatan dengan kecepatan maksimum hingga 0.26 m/s.

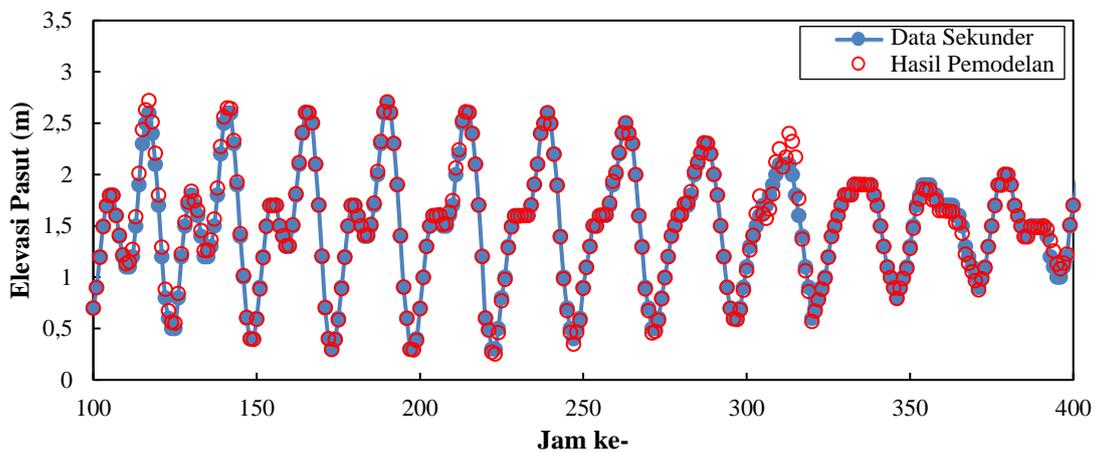
Selanjutnya, untuk karakteristik pasang surut ditunjukkan pada Gambar 14a dan 14b, dimana pasang surut pada Titik 1 dan 2 relatif sama baik pada Musim Timur maupun Musim Barat. Pada titik yang sama, gelombang maksimum 1.3 m dan 1.9 m dicapai pada Musim Timur dan Musim Barat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15a dan 15b. Hasil keseluruhan pada Musim Timur memiliki pola kecepatan arus, karakteristik pasang surut, dan tinggi gelombang yang memiliki nilai mendekati antara Titik 1 dan Titik 2. Karenanya, hasil tersebut mempengaruhi perubahan *bed level thickness* sebesar 0.016 m untuk titik 1 dan 0.017

m untuk Titik 2. Perubahan *bed thickness level* di Titik 2 sedikit lebih besar dibandingkan Titik 1 karena letak Titik 2 lebih dekat dengan daerah perairan. Karakteristik ini mirip dengan dengan kondisi di Musim Barat meskipun terdapat perbedaan pada perubahan *bed level thickness* yang lebih tinggi yaitu sekitar 0.026 m dan 0.028 m pada Titik 1 dan 2. Oleh karena itu, Dermaga C eksisting mengalami perubahan *bed level thickness* tambahan sebesar 0.042 m pada Titik 1 dan 0.045 m pada Titik 2 dalam jangka waktu 12 bulan. Profil *bed level thickness* dapat dilihat pada Gambar 16. Hasil ini sangat mendekati penelitian dari Kurniawan dan Pradana (2016) di lokasi sekitar Teluk Lamong yang merupakan kawasan aktivitas PT Petrokimia Gresik. Di lokasi dengan koordinat X = 686585.13 dan Y = 9205129.42 diperoleh hasil perubahan *bed level thickness* sekitar 0.0448 m.

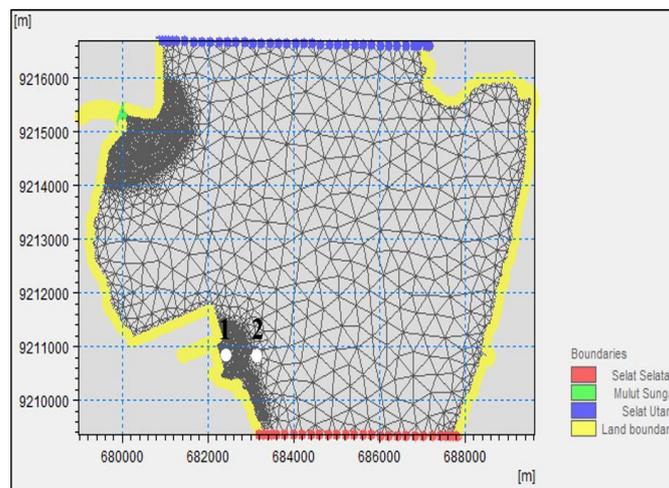
Hasil ini juga dikonfirmasi oleh Rohman *et al.* (2021) yang menghasilkan perubahan kedalaman rata-rata sebesar 0.055 m di sekitar lokasi yang sama yaitu area Dermaga C PT Petrokimia Gresik. Perbedaan yang ada disebabkan karena pada penelitian saat ini tidak menggunakan lokasi yang sama tepat dengan penelitian Rohman *et al.* (2021).

Melihat kondisi perubahan ketebalan dasar di Dermaga C, maka perlu dilakukan perbandingan hasil jika dilakukan modifikasi tata letak pelabuhan berdasarkan kondisi arus, pasang surut, dan angin di sekitar Dermaga C. Diusulkan dua alternatif tata letak Dermaga C dimana modifikasi pertama yang disebut LA1 dirancang dengan menambahkan dermaga di sisi utara Dermaga C yang disusun dalam posisi tegak lurus. Konsep ini bertujuan untuk meminimalisir pengaruh arus dominan yang

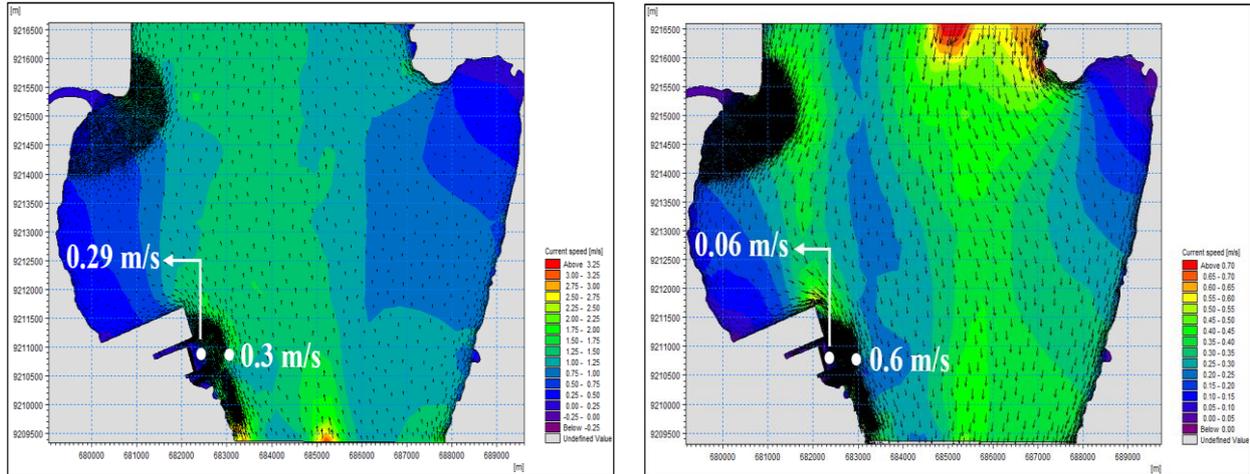
membawa sedimen dari barat laut ke tenggara. LA1 memiliki spesifikasi panjang sekitar 500 m dan lebar 6 m dari bibir pantai seperti terlihat pada Gambar 17a. Sedangkan alternatif desain kedua yang disebut LA2, secara konseptual mirip dengan desain pertama, namun memiliki perbedaan pada penambahan dermaga lurus dengan panjang 100 m dan lebar 6 m. Adapun desainnya dapat dilihat pada Gambar 17b. Selanjutnya, modifikasi layout alternatif disimulasikan menggunakan fitur pemodelan *mud transport* di MIKE 21. Hasilnya, Gambar 18 dan 19 menunjukkan bahwa terdapat sedikit perbedaan tingkat lapisan antara LA1 dan LA2. Ketika karakteristik Musim Timur disimulasikan, *bed level thickness* LA1 lebih rendah dari LA2. Namun pada Musim Barat, *bed level thickness* LA1 lebih tinggi dibandingkan



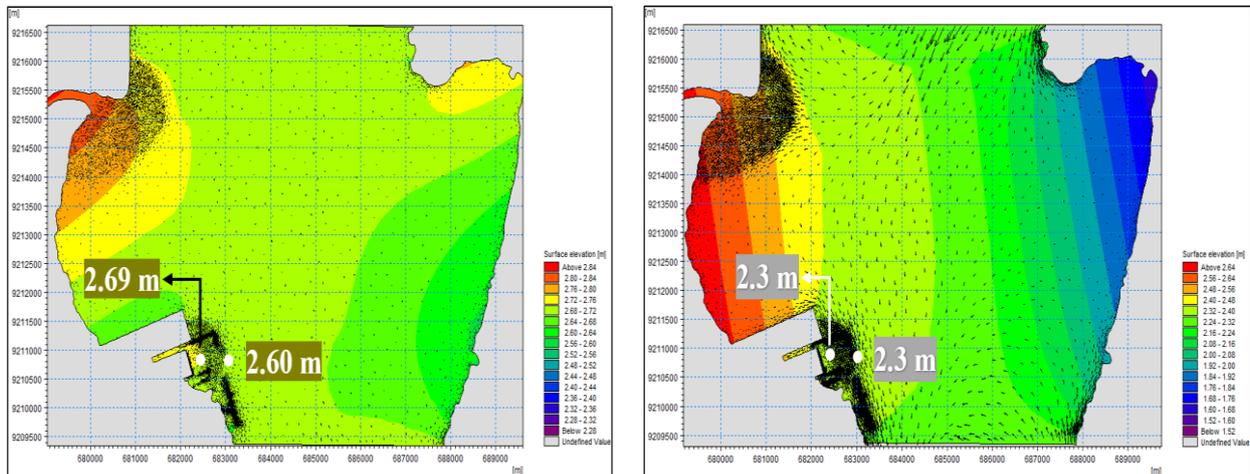
Gambar 11. Validasi Pasang Surut pada Bulan November 2018 (Musim Barat)



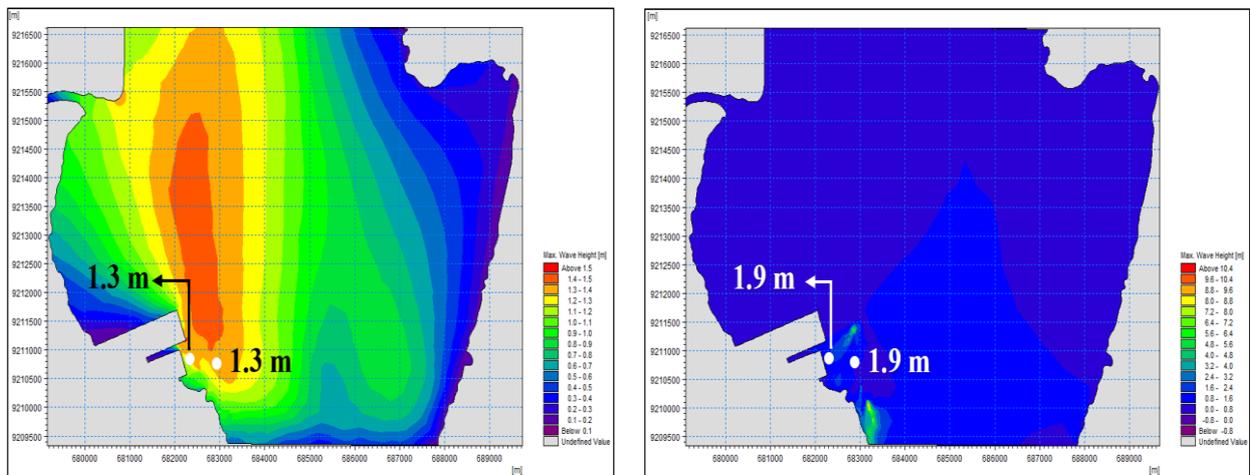
Gambar 12. Lokasi yang Diinvestigasi pada Simulasi



(a) (b)
Gambar 13. Kecepatan Arus Laut pada (a) Musim Timur, dan (b) Musim Barat



(a) (b)
Gambar 14. Elevasi Pasang Surut Maksimum pada (a) Musim Timur, dan (b) Musim Barat



(a) (b)
Gambar 15. Tinggi Gelombang Maksimum pada (a) Musim Timur, dan (b) Musim Barat

LA2. Selain itu, perbedaan *bed level thickness* di Titik 1 (dermaga utama) dan Titik 2 (pintu masuk dermaga) menunjukkan tingkat yang sama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *bed level thickness* total LA1 mencapai antara 0.0392 – 0.0395 m dan LA2 mencapai antara 0.0390 – 0.0395 m pada dua titik yang diteliti. Hasil tersebut lebih baik dibandingkan dengan hasil *bed level thickness* dari layout eksisting Dermaga C.

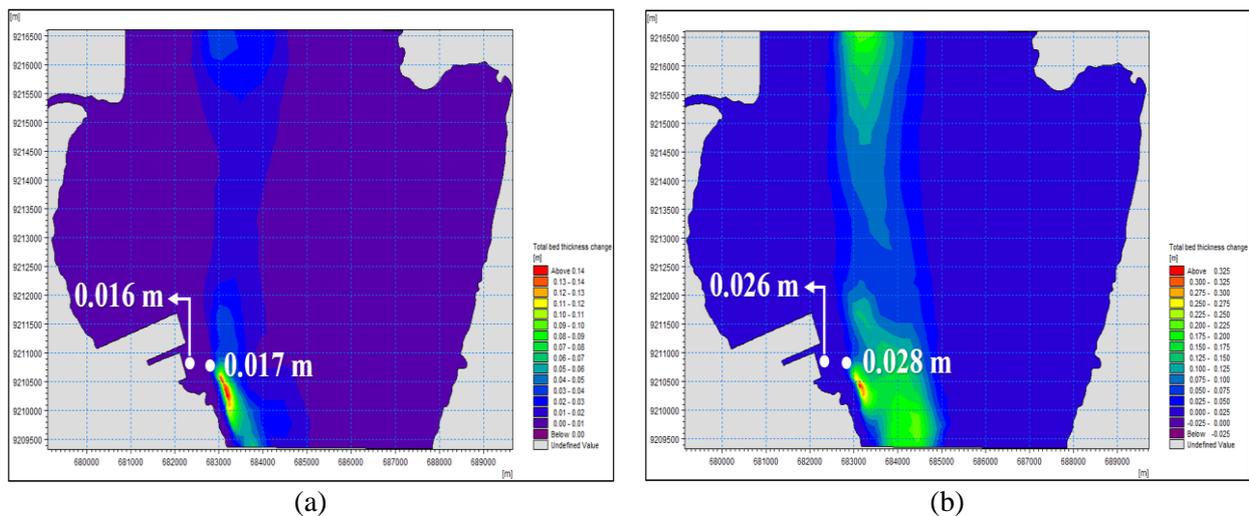
Untuk mendapatkan besaran laju volume sedimen secara detail digunakan *software* Surfer 16. Proses perhitungan sedimen di area kolam bertujuan untuk memperkirakan periode pengerukan (*dredging period*). Langkah ini harus mempertimbangkan pengerukan minimum agar kapal tetap bisa beroperasi. Selain itu, data perubahan *bed level thickness* dari pemodelan *mud transport* di MIKE 21 digunakan. Dengan demikian, metode integrasi *cut and fill volume* dipertimbangkan untuk mendapatkan volume sedimen bersih (*net volume*) dari layout eksisting dan layout alternatif. Metode “*cut*” berfungsi sebagai volume positif, metode “*fill*” berfungsi sebagai volume negatif, dan volume bersih

diperoleh dari selisih antara keduanya. Sebelumnya, ini dipertimbangkan menggunakan beberapa aturan seperti aturan trapesium, aturan Simpson, dan aturan Simpson 3/8 untuk mendapatkan volume total untuk tujuan perhitungan. Contoh perhitungan pada Tabel 4 disajikan pada bulan April yang merepresentasikan Musim Timur dan Oktober yang merepresentasikan Musim Barat. Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa volume sedimen pada Musim Barat selalu lebih besar dibandingkan volume sedimen pada Musim Timur. Hal ini dikarenakan arus laut pada Musim Barat lebih besar dibandingkan Musim Timur sehingga mempercepat menumpuknya sedimen sesuai dengan teori dari Triatmodjo (1999).

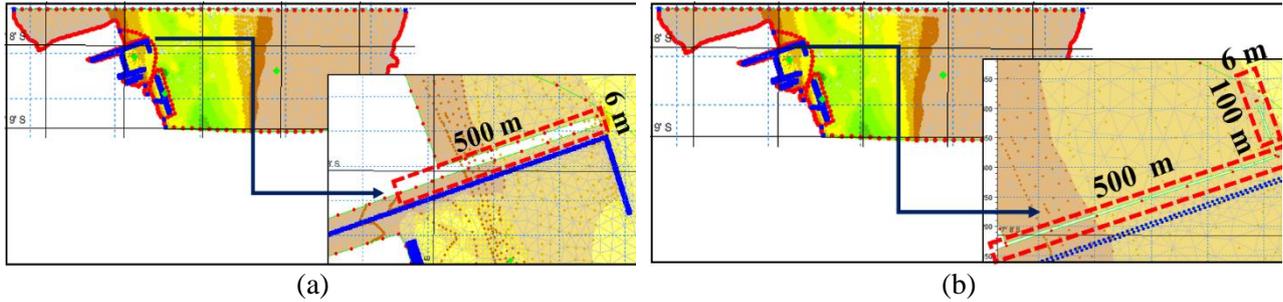
Selanjutnya, seluruh hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5 menjelaskan volume sedimen selama 30 hari pada layout eksisting dan dua layout alternatif. Terlihat bahwa kedua layout alternatif tersebut mampu menurunkan volume sedimentasi dari layout eksisting secara signifikan. Rinciannya, layout alternatif 1, yaitu LA1, yang menghasilkan volume sedimen sebesar

Tabel 3. Koordinat Lokasi pada Titik Utama Pelabuhan dan Pintu Masuk Pelabuhan

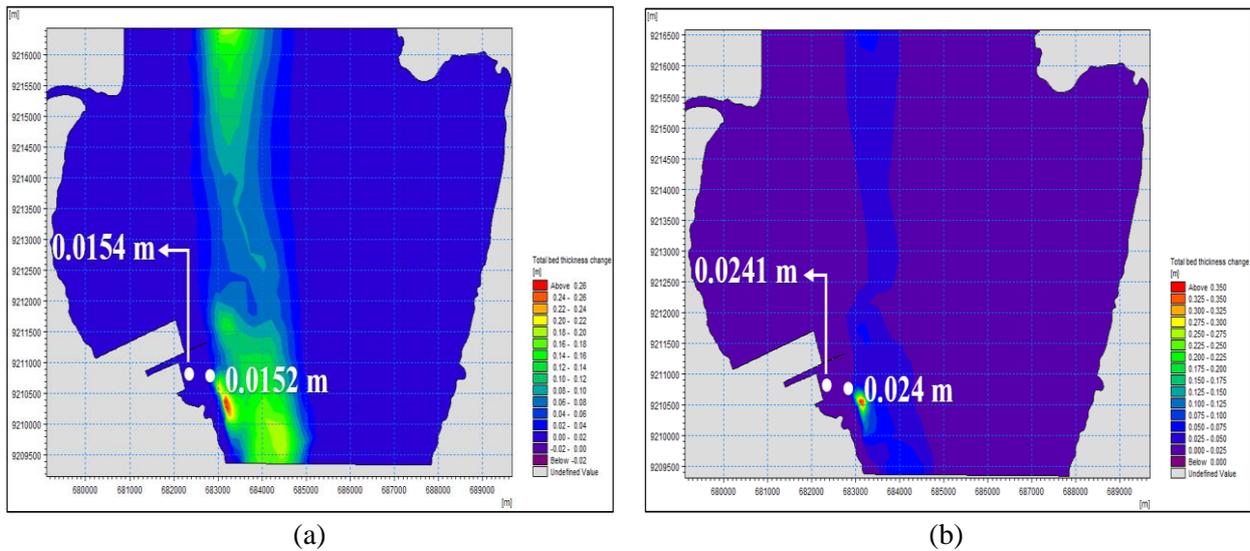
Lokasi	Label	X	Y
Pelabuhan Utama	1	682237.88	9210789.26
Pintu Masuk Pelabuhan	2	682848.78	9210827.77



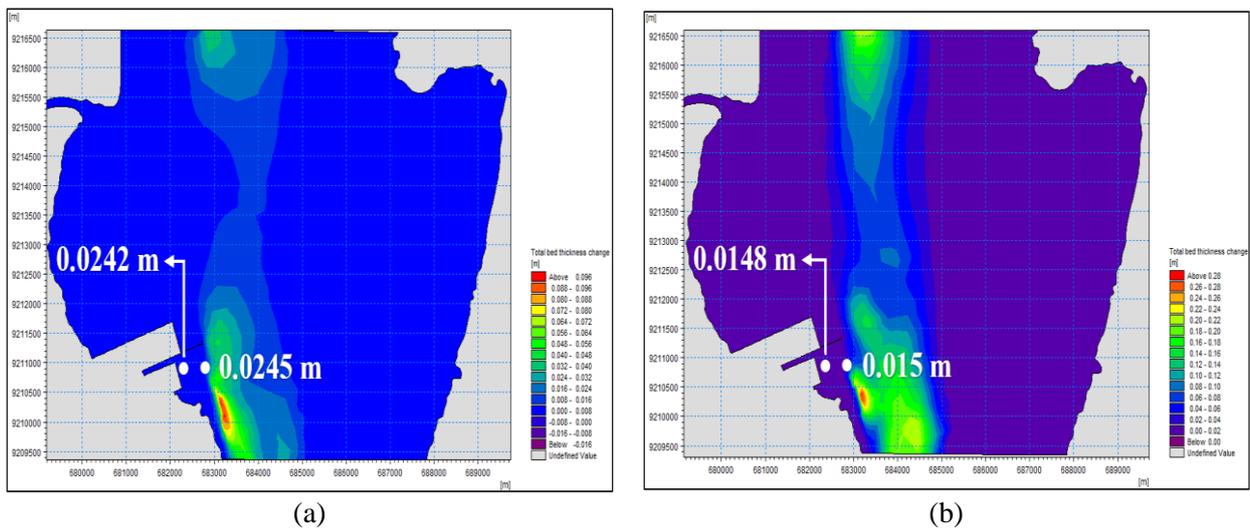
Gambar 16. Perubahan *Bed Thickness* dari Layout Pelabuhan Eksisting pada (a) Musim Timur, dan (b) Musim Barat



Gambar 17. (a) Layout Alternatif 1 (LA1), dan (b) Layout Alternatif 2 (LA2)



Gambar 18. Perubahan *Bed Level Thickness* dari LA1 pada (a) Musim Timur, dan (b) Musim Barat



Gambar 19. Perubahan *Bed Level Thickness* dari LA2 pada (a) Musim Timur, dan (b) Musim Barat

11293.56 m³ diartikan mampu menurunkan volume sedimen sekitar 9348.12 m³ atau sekitar 45.3% dari layout eksisting. Sedangkan layout alternatif kedua yaitu LA2 yang menghasilkan

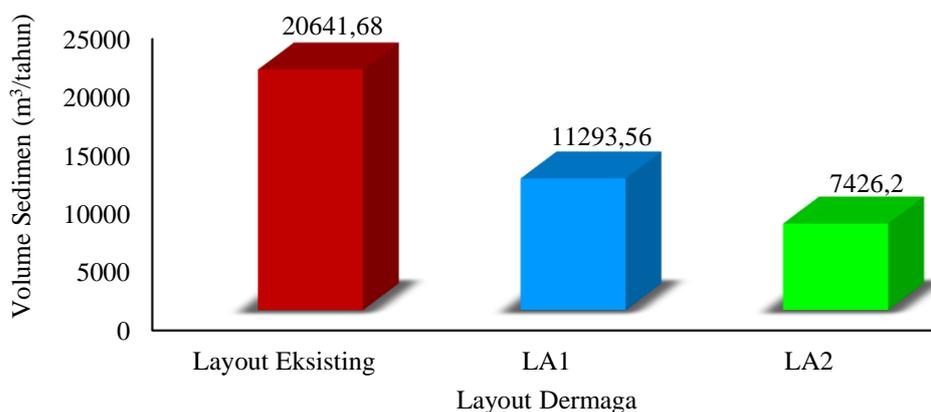
volume sedimen hanya 7426.2 m³ mampu menurunkan volume sedimen sekitar 13215.48 m³ atau 64.1% dari layout eksisting. Perbandingan secara detail dapat dilihat pada Gambar 20.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Volume Grid pada Semua Layout di Dermaga C

Volume Report	Layout Eksisting		LA1		LA2	
	Musim Barat (m ³)	Musim Timur (m ³)	Musim Barat (m ³)	Musim Timur (m ³)	Musim Barat (m ³)	Musim Timur (m ³)
Volume Total:						
Aturan Trapezoidal	2276.84	1163.44	1271.77	610.52	944.67	293.03
Aturan Simpson	2237.35	1164.78	1270.23	610.57	940.65	286.31
Aturan Simpson 3/8	2258.74	1164.93	1276.06	611.85	952.21	293.20
Cut & Fill Volumes:						
Cut atau Volume	2354.24	1172.61	1360.11	624.66	2844.57	2349.75
Positif	77.41	9.16	88.346	14.15	1899.89	2056.72
Fill atau Volume	2276.83	1163.45	1271.75	610.51	944.67	293.03
Negatif						
Cut-Fill = Net Volume						

Tabel 5. Akumulasi Volume Sedimen pada Semua Layout di Dermaga C

Bulan	Layout Eksisting		LA1		LA2	
	Musim Barat (m ³)	Musim Timur (m ³)	Musim Barat (m ³)	Musim Timur (m ³)	Musim Barat (m ³)	Musim Timur (m ³)
1	2276.83	1163.45	1271.75	610.51	944.67	293.03
2	4553.66	2326.9	2543.5	1221.02	1889.34	586.06
3	6830.49	3490.35	3815.25	1831.53	2834.01	879.09
4	9107.32	4653.8	5087	2442.04	3778.68	1172.12
5	11384.15	5817.25	6358.75	3052.55	4723.35	1465.15
6	13660.98	6980.7	7630.5	3663.06	5668.02	1758.18
Total	20641.68 m ³		11293.56 m ³		7426.2 m ³	



Gambar 20. Perbandingan Sedimen pada Semua Layout

Jelas bahwa layout alternatif memiliki hasil yang lebih baik untuk mengurangi laju sedimentasi di Dermaga C. Dengan mengacu pada layout yang memiliki sedimentasi minimum, layout LA2 direkomendasikan sebagai layout yang paling optimal di Dermaga C.

KESIMPULAN

Laju sedimentasi di kawasan Dermaga C terutama disebabkan oleh pengaruh pola arus, pasang surut, dan gelombang. Arah arus dominan dari hasil simulasi adalah dari barat laut ke tenggara. Hasil ini menyebabkan peningkatan

sedimentasi di wilayah utara dermaga. Oleh karena itu, diperoleh *bed level thickness* 0.042 m di dermaga utama dan 0.045 m di pintu masuk dermaga. Dua modifikasi layout pelabuhan diusulkan untuk mengurangi sedimentasi atau *bed level thickness*. Hasilnya, diketahui bahwa laju sedimentasi di lokasi yang sama mengalami penurunan. Volume sedimen layout alternatif 1 dan 2 selama 12 bulan berturut-turut adalah 11293.56 m³ dan 7426.2 m³. Hasil ini dapat mengurangi volume sedimen masing-masing sekitar 45.3% dan 64.1%, dibandingkan dengan volume sedimen 20641.68 m³ pada layout eksisting Dermaga C. Di antara layout alternatif 1 dan 2, yang terakhir adalah rekomendasi yang paling optimal. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa modifikasi layout pelabuhan terbukti dapat menurunkan laju sedimentasi di Dermaga C.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrah, M. M., Nor, M. E., Rahim, S. N. A., and Leng, W. K. 2018. Time Series Forecasting of the Number of Malaysia Airlines and AirAsia Passengers. *IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series*, 995(2018)012006. doi: 10.1088/1742-6596/995/1/012006.
- BMKG. 2018. Akses Data. https://dataonline.bmkg.go.id/akses_data. Diakses pada 4 April 2022.
- Ezzeldin, M.M., Rageh, O.S., & Saad, M.E. 2020. Assessment Impact of The Damietta Harbour (Egypt) and Its Deep Navigation Channel on Adjacent Shorelines. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20(4):265–281. doi: 10.5894/rgci-n338.
- Google Maps. <https://www.google.co.id/maps/>. Diakses pada 3 April 2022.
- Guarnieri, A., Saremi, S., Pedroncini, A., Jensen, J. H., Torretta, S., Vaccari, M., & Vincenzi, C. 2021. Effects of marine traffic on sediment erosion and accumulation in ports: a new model-based methodology. *Ocean Science*, 17:411–430. doi: 10.5194/os-17-411-2021.
- Katsiri, A., Pantazidou, M., Damikouka, I., Kontogiorgi, C. & Tringali, A. 2009. Disposal options for dredged marine sediments based on physicochemical and toxicological characterization. *Global NEST Journal*, 11:449–456. doi: 10.30955/gnj.000 515.
- Kirby, R. 2011. Minimising harbour siltation—findings of PIANC Working Group 43”. *Ocean Dynamics*, 61:233–244. doi: 10.1007/s10236-010-0336-9.
- Kurniawan, A. & Pradana, R.A. 2016. Pemodelan Aliran Material Sedimen Akibat Arus Pasang Surut Untuk Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya). *Journal of Geodesy and Geomatics*, 12(1):60–67. doi: 10.12962/j24423998.v12 i1.2397.
- Krisna, T.C., Cahyono, A.B. & Khomsin. 2012. Analysis of TSS (Total Suspended Solid) Distribution Using Aqua Modis Satellite Imagery 2005-2011. *Journal of Geodesy and Geomatics*, 8(1):29-38. doi: 10.12962/j2442 3998.v8i1.7652.
- Mahmoodi, A., Neshaei, M.A.L., Mansouri, A., & Bejestan, M.S. 2020. Study of Current- and Wave-Induced Sediment Transport in the Nowshahr Port Entrance Channel by Using Numerical Modeling and Field Measurements. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(4):p.284. doi: 10.3390/jmse8040284.
- Nirwana, N., Subiyanto., Yuniarti, M.S. & Ihsan, Y.N. 2021. Sediment Transport Pattern Modelling in Bojong Salawe Coast Pangandaran using Mike 21. *International Journal of Quantitative Research and Modeling*, 2(2):97–116. doi: 10.46336/ijqrm.v2i2.
- PT Petrokimia Gresik. 1989. Laporan Akhir Pengukuran Kedalaman dan Penyelidikan Masalah Pendangkalan di Pelabuhan PT Petrokimia Gresik. Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. 2018. Company Profile. <https://petrokimia-gresik.com/>. Diakses pada 31 Januari 2022.
- PUSHIDROSAL. 2018. https://pasut-pushidrosal.luweswatersensor.com/guest/public_stations. Diakses pada 4 April 2022.
- Putra, S M.B., Suharyanto, A. & Pujiraharjo, A. 2017. Simulasi Numeris Perubahan Morfologi Dasar Laut Pada Desain Pelabuhan Di Kabupaten Gresik, Indonesia. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 8(1): 130–138. doi: 10.21776/ub.jtp.2017.008.01.13.
- Putranto, D.D.A., & Buchari, E. 2017. Effect of sedimentation volume on productivity and dwelling time of ships at bom baru port. *MATEC Web of Conferences EACEF 2017*, 138, 07006. doi: 10.1051/mateconf/20171 3807006.

- Rohman, Y.A., Pratomo, D.G. & Khomsin. 2021. Analisa Pendangkalan Jalur Pelayaran Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D (Studi Kasus: Perairan Pelabuhan PT Petrokimia Gresik). *Journal of Geodesy and Geomatics*, 17(1):119–132. doi: 10.12962/j24423998.v17i1.10406.
- Sharaan., M., Ibrahim, M. G., Iskander, M., Masria, A. & Nadaoka, K. 2018. Analysis of sedimentation at the fishing harbor entrance: case study of El-Burullus, Egypt. *Journal of Coastal Conservation*, 22:1143–1156. doi: 10.1007/s11852-018-0624-y.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wibowo, M., & Kongko, W. 2018. Study of dike effects to control sedimentation process on Patimban's port plan using computation modeling. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 12(2): 85–96. doi: 10.29122/mipi.v12i2.2567.
- Wibowo, M., Hendriyono, W., Rahman, R. A., Susatijo, G., Kongko, W., Istiyanto, D. C., Widagdo, A. B., Nugroho, S., Khoirunnisa, H., Wiguna, E., Aziz, H., & Santoso, B. 2020. Sediment Transport Modeling at Jelitik Estuary, Sungailiat - Bangka Regency for the Design of Sediment Control Structures. *2nd International Conference on Sustainable Infrastructure, IOP Conference Proceedings*, 1625(1): p.012042. doi: 10.1088/1742-6596/1625/1/012042.
- Wisha, U.J. & Ilham. 2019. Velocity Components of Currents and Transport Mechanism in the Ie Meulee Waters, Weh Island, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(2):93–102. doi: 10.14710/jkt.v22i2.5779.
- Witantonno, A.D. & Khomsin. 2015. Flow sediments modelling in a pool of port (case study: pool 1, Tanjungpriok Port, Jakarta). *Journal of Geodesy and Geomatics*, 1(1):22–28. doi: 10.12962/j24423998.v1i1.1091.
- Zeinabi, A. & Kohansal, A. 2020. Numerical modeling of sediment transport patterns under the effects of waves and tidal currents at Pars port complex inlet. *International Journal of Maritime Technology*, 14:33–40.