

Pemodelan Pola Sedimentasi di Muara Cisadane untuk Mendukung Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara

Mardi Wibowo*, Hanah Khoirunnisa, Khusnul Setia Wardhani, Reni Wijayanti

Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Grafika No. 2, SEKIP, Yogyakarta, 55284 Indonesia
Email: mardi.wibowo@brin.go.id

Abstract

Modeling of Sedimentation Patterns in the Cisadane Estuary to Support National Capital Integrated Coastal Development

NCICD is one of the national strategic programs to deal with coastal problems in Jakarta. One alternative structure to be built is WLP or known as coastal resort. As an initial step to make it happen, BAPPENAS plans to build a WLP pilot plan around the S. Cisadane estuary. One of the main considerations for designing the WLP layout is the process and pattern of sedimentation around the Cisadane estuary. Therefore, computational modeling of sediment transport around the Cisadane estuary was carried out for a period of 1 year (August 2020-July 2021). This modeling uses MIKE-21 module MIKE21/3 Integrated Models software which combines hydrodynamics and cohesive sediment transport models. Based on the results of this modeling, it is known that there are differences in sediment transport patterns in the west and east monsoons. During 1 year, changes in the thickness of the bottom sediment around the estuary of S. Cisadane ranged from -0.4 to 0.7 m with a mean of 0.086 m. Coastal reservoir design must take into the very dynamic sedimentation process around the Cisadane estuary.

Keywords: coastal reservoir, Jakarta Bay, NCICD, sediment transport, suspended sediment

Abstrak

Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara (PTPIN) merupakan salah satu program strategis nasional untuk menangani permasalahan pesisir di Jakarta. Salah satu alternatif struktur yang akan dibangun adalah WLP atau dikenal sebagai coastal reservoir. Sebagai langkah awal mewujudkannya BAPPENAS merencanakan membangun pilot plan WLP di sekitar muara S. Cisadane. Salah satu pertimbangan utama untuk mendesain layout WLP adalah proses dan pola sedimentasi di sekitar muara Cisadane. Oleh karena itu dilakukan pemodelan komputasi transpor sedimen di sekitar muara Cisadane selama kurun waktu 1 tahun (Agustus 2020-Juli 2021). Pemodelan ini menggunakan software MIKE-21 module MIKE21/3 Integrated Models yang menggabungkan model hidrodinamika dan transpor sedimen kohesif. Berdasarkan hasil pemodelan ini diketahui bahwa terdapat perbedaan pola transpor sedimen di musim barat dan musim timur. Selama 1 tahun, perubahan ketebalan sedimen dasar di sekitar muara S. Cisadane berkisar -0,4-0,7 m dengan rerata 0,086 m. Pola sedimentasi yang sangat dinamis harus mendapatkan perhatian khusus dalam merancang waduk lepas pantai.

Kata Kunci: waduk lepas pantai, Teluk Jakarta, PTPIN, transpor sedimen, sedimen tersuspensi

PENDAHULUAN

Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara (PTPIN), merupakan bagian dari Program Pengembangan Terpadu Pesisir Pantai Utara Jawa yang termasuk dalam Program Strategis Nasional. Secara konseptual, program ini dilaksanakan dalam rangka memberikan solusi atas permasalahan utama yang dihadapi Megapolitan Jakarta. Permasalahan utama tersebut adalah banjir baik dari hulu maupun dari laut (rob), penurunan muka tanah, krisis air baku, penurunan kualitas lingkungan dan keterbatasan lahan untuk pengembangan kota (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, 2014).

Strategi penanganan permasalahan tersebut khususnya banjir sudah dimulai sejak tahun 1973 dengan disusunnya Masterplan Drainase Jakarta oleh Netherlands Engineering Consultant – NEDECO (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, 2014). Rencana penanganan tersebut kemudian dilanjutkan oleh Japan International Cooperation Agency/JICA) 1991, 1997, Western Jaya Environmental Management Project (WJEMP) 2002; Jakarta Flood Management/JFM 2007-

2009, Jakarta Coastal Defence Strategy/JCDS 2012, Jakarta Flood Management System/JFMS 2014 dan National Capital Integrated Coastal Development /NCICD 2014 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2015)(Center for Infrastructure and Built Environment, 2020). Penanganan permasalahan Jakarta yang lebih terpadu dimulai dari studi JDCS pada 2010/2011 yang merupakan kerja sama Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Belanda, sejumlah rencana strategis pengamanan dan pengembangan wilayah pantai Jakarta termasuk di antaranya tanggul laut (Wibowo, 2018). Konsep ini kemudian diteruskan lagi di tahun 2012-2014 melalui program National Capital Integrated Coastal Development (NCICD) yang disusun dengan lebih terpadu dengan titik berat pada pemulihan dan peningkatan kualitas lingkungan Ibukota Negara (Center for Infrastructure and Built Environment, 2020).

Sampai saat ini terdapat indikasi kendala dalam implementasi masterplan pengendalian banjir 1973, 1997, dan 2007 (Center for Infrastructure and Built Environment ITB, 2020) dan kurang lancarnya pelaksanaan program NCICD secara nasional, maka rencanakan konsep waduk lepas pantai (WLP) atau *coastal reservoir* (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional RI, 2021). Waduk Pantai (*coastal reservoir*) yang selain dapat mencapai tujuan utama NCICD (yakni penanggulangan permasalahan banjir di kawasan pesisir), juga dapat menciptakan manfaat baru, yakni penanggulangan permasalahan kelangkaan air baku di kawasan pesisir (Permadi *et al.*, 2019).

Sebagai permulaan Bappenas merencanakan akan membangun pilot plant WLP di muara S. Cisadane yang kualitas airnya cukup baik dan kuantitasnya cukup besar (Permadi *et al.*, 2019). Berdasarkan pengamatan citra Google Earth terlihat bahwa kondisi morfologi muara Cisadane sangat dinamis. Dinamika morfologi muara sungai sangat terkait dengan proses sedimentasi yang terjadi area tersebut. Umumnya faktor hidrometeorologi, geologi dan vegetasi merupakan faktor utama penyebab sedimentasi dan perubahan morfologi pantai (Ozturk dan Sesli, 2015). Namun saat ini kegiatan manusia di sepanjang pantai juga sangat berdampak langsung terhadap morfologi pantai (Warnadi *et al.*, 2020).

Tarigan (2007) menyatakan bahwa berdasarkan hasil pengamatan garis pantai tahun 2005 di tumpang susun dengan hasil analisis digitasi garis pantai Cisadane dari Citra Landsat-5 tahun 1997 ditemukan ada beberapa lokasi yang terjadi abrasi dan akresi (Tarigan, 2007). Berdasarkan analisis citra Google Earth periode 2004-2019 secara umum Cisadane mengalami proses akresi (Suwandana, 2019). Berdasarkan citra Landsat multispektra 1972-2019 diketahui bahwa secara umum muara S. Cisadane mengalami akresi yang signifikan meskipun di beberapa lokasi terjadi abrasi terutama pada area tambak milik penduduk (Warnadi *et al.*, 2020). Sampai saat ini, kajian dan pemodelan pola sedimentasi di muara Cisadane belum pernah dilakukan. Kajian sedimentasi yang pernah dilakukan umumnya adalah perubahan erosi/sedimentasi akibat perubahan tutupan lahan terutama di daerah hulu Cisadane. Arini *et al.* (2007) menerapkan GIS dan penginderaan jauh untuk memprediksi erosi dan sedimentasi di Cisadane hulu (Arini *et al.*, 2007). Hasil penelitian tentang pengaruh hutan terhadap sedimentasi di DAS Cisadane, menyatakan bahwa pada DAS yang luas keberadaan hutan kurang berpengaruh terhadap sedimentasi sebaliknya pada DAS yang sedang dan sempit (Junaidi dan Tarigan, 2011).

Salah satu pertimbangan utama untuk merancang layout WLP adalah diketahuinya proses dan pola sedimentasi di sekitar muara Cisadane. Oleh karena itu sebagai tahap awal kajian ini dilakukan pemodelan numerik transpor sedimen di sekitar muara Cisadane. Pemodelan ini menggunakan software MIKE-21 module *MIKE21/3 Integrated Models*. Model ini pada dasarnya menggabungkan model hidrodinamika, model *spectral wave* dan transpor sedimen. Model ini sudah banyak digunakan baik di Indonesia maupun di luar negeri dengan hasil yang baik ketika divalidasi dengan data lapangan.

Penggunaan di luar negeri misalnya pemodelan morfodinamik di estuari Jade, Jerman (Gelfort *et al.*, 2010), pemodelan transpor sedimen kohesif di kawasan pasang surut Romo Dyb,

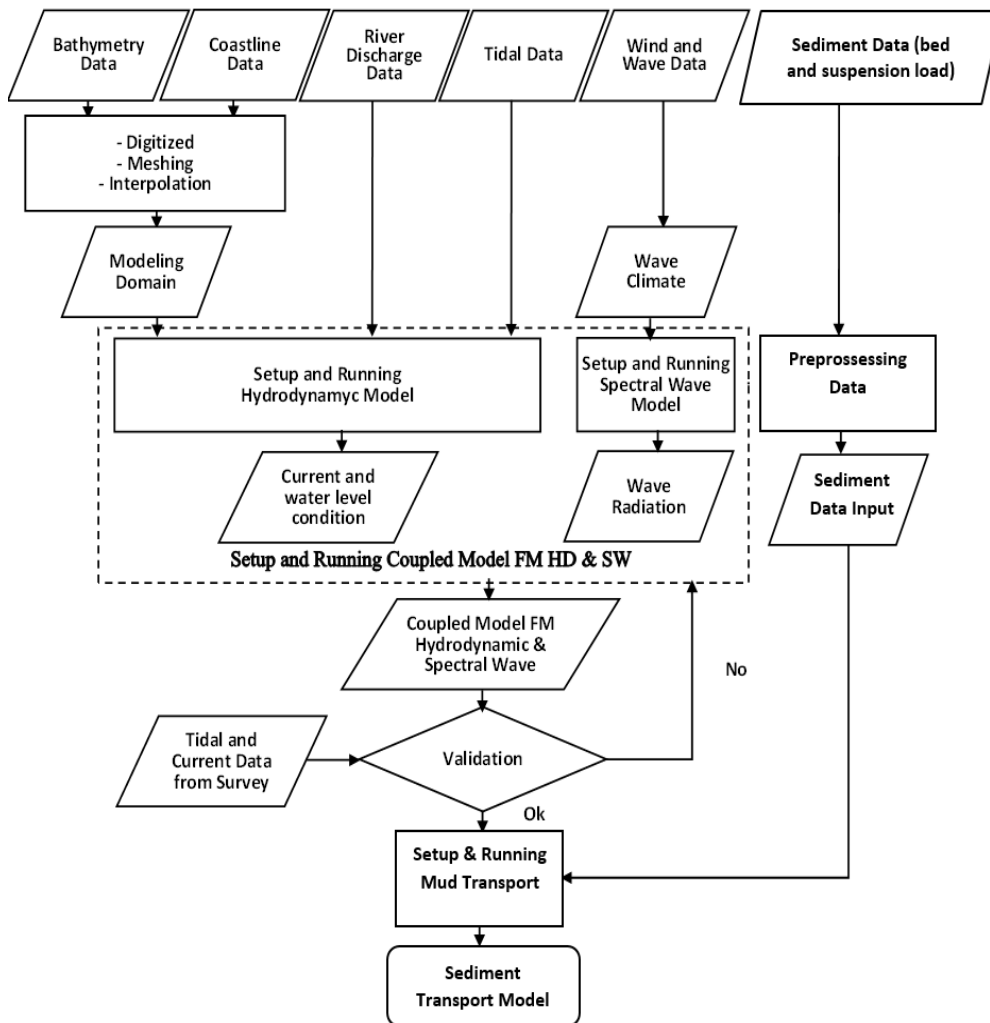
Denmark (Lumborg dan Windelin, 2012), studi transpor sedimen tersuspensi sepanjang pantai barat India (Sravanthi *et al.*, 2015), pemodelan deposisi sedimen halus di Fano Marina, Denmark (Stephensen, 2016), studi transport sedimen kohesif di Lagun Chilika, India (Pradhan *et al.*, 2018).

Penggunaan di dalam negeri misalnya analisis pola erosi dan sedimentasi di muara Sungai Kapuas Murung, Kalimantan tengah (Novico dan Priohandono, 2012), studi transpor sedimen di Teluk Lampung (Febiyan *et al.*, 2013), pemodelan transpor sedimen kohesif di Teluk Ambon Dalam (Noya *et al.*, 2016), studi distribusi sedimen di Teluk Ambon Luar (Lakatua, 2017), pemodelan numerik di Segara Anakan, Cilacap (Rohman, 2017), pemodelan sebaran sedimentasi akibat reklamasi di Teluk Jakarta (Aprilia dan Pratomo, 2017), pemodelan transpor sedimen di Tanjung Pontang, Banten (Prihantono *et al.*, 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola penyebaran sedimen dasar maupun sedimen tersuspensi baik secara horisontal dan vertikal) serta mengetahui total perubahan ketebalan sedimen dasar selama kurun waktu simulasi (1 tahun).

MATERI DAN METODE

Tahapan kajian ini dimulai dari mengumpulkan data sekunder dan *pre-processing* data untuk input model (DHI Software, 2017). Skema pelaksanaan kegiatan terlihat pada Gambar 1.



Gambar1. Skema tahapan pelaksanaan kegiatan (Wibowo *et al.*, 2020) dengan modifikasi

Tabel 1. Skenario dan setup model transpor sedimen

No	Parameter	Keterangan	Sumber
1	Domain	Ukuran 22 x 16 km, jumlah node 1966, jumlah elemen 3293, kedalaman antara 0-30 m dari msl, berdasarkan Hasil <i>pre-processing</i> , Peta Laut Teluk Jakarta	(Hydrographic and Oceanographic Centre, 2020) dan citra Google Earth, 2020
2	Waktu	1 Agustus 2020 – 31 Juli 2021, time step 1800 dt, jumlah time step 17520 (mencakup 4 musim yang ada)	Hasil analisis
3	Debit Sungai	22,8 – 494,03 m ³ /dt (nilai debit harian direrata dari data harian tahun 2008-2019)	(Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional RI, 2020b)
4	Sedimen Dasar	Sand 55,56%; Silt 30,35% dan Clay 14,09% (diambil nilai yang dominan dari 3 sampel yang ada)	
5	Jumlah fraksi	2 (mud and including sand fraction) (berdasarkan data analisis butir sedimen dasar)	
6	Kondisi awal	- fraction conc 0; layer thickness 0,5m, - fraction distribution sand 55%, mud 45%) - Diambil nilai yang dominan dari 3 sampel yang ada	
7	Sedimen Tersuspensi (TSS)	Musim Hujan 157,8 mg/l; Kemarau 42,1 mg/l (nilai rerata pada musim kemarau dan hujan dari data yang ada)	(Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional RI, 2020a)
8	Sumber Sedimen	fraksi sand 0, fraksi mud time series berdasarkan data rerata TSS pada musim hujan dan kemarau	
9	Batas Terbuka	3 open boundary, merupakan surface elevation yang bervariasi secara spasial dan time series	TMD-Tide Model Driver (Padman dan Erofeeva, 2005)
10	Angin dan Gelombang	Data arah dan ketinggian gelombang serta arah dan kecepatan angin dari data European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)	(Copernicus Climate Change Service, 2017)
11	Rerata kecepatan endap fraksi pasir	0,001 m/s (nilai default)	(DHI Software, 2019)
12	Parameter Kolom Air	settling: incl. flokulasi, densitas sed. 2650 kg/m ³ ; deposisi: critical shear stress konstan untuk sand 0,07 N/m ² dan mud 0,05 N/m ²	
13	Parameter Dasar	1 layer: soft mud, koefisien erosi 0,00002 kg/m ² /s, critical shear stress 0,06 N/m ² , density 220 kg/m ³ , bed roughness; 0,001m	
14	Dispersi	scaled eddy viscosity formulation	
15	Morfologi	include morphological calculation, speedup factor 1	

Penyusunan Desain Model menggunakan *MIKE 21/3 FM Integrated Model*, model ini dilakukan dalam 2 tahap yaitu pemodelan Coupled Model FM dan transpor sedimen. Model transpor sedimen dibangun untuk transpor sedimen kohesif yang berupa *module mud transport (MT)*. Modul MT dapat mensimulasikan erosi, transpor, settling dan deposisi sedimen kohesif di laut, kawasan perairan payau maupun tawar. Modul ini juga sudah memperhitungkan material berbutir halus yang non-kohesif (DHI, 2017) (DHI Software, 2021). Model MT dalam MIKE 3 FM ini pun mempertimbangkan sedimen yang berasal dari pasir (seperti yang ada di Muara Cisadane), sehingga penggunaan model ini sesuai untuk menginterpretasikan pola transpor sedimen di Muara Cisadane.

Penyusunan Skenario dan Setup Model dilakukan untuk kondisi garis pantai existing (Agustus 2021). Pemodelan dilakukan untuk kurun waktu 1 tahun dari 1 Agustus 2020 sampai dengan 31 Juli 2021 sehingga mencakup 4 musim yang ada. Pemodelan dilakukan secara 3 dimensi untuk mengetahui sebaran sedimen secara horizontal dan vertikal. Secara lengkap skenario dan setup pemodelan (Tabel 1.)

Validasi model pada penelitian ini menggunakan validasi RMS yang dapat digunakan untuk menunjukkan kecocokan dua jenis data yaitu antara data model dengan data lapangan. RMS adalah salah satu metode verifikasi untuk mengevaluasi teknik peramalan yang digunakan guna mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model yang sudah dibuat (Ismanto *et al.*, 2017). Persamaan menghitung RMS adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_m - x_e)^2}{n}}$$

Keterangan: RMSE = Nilai *Root Mean Square Error*; x_m = Data lapangan; x_e = Data hasil pemodelan; n = Jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Hasil Pemodelan Hidrodinamika

Berdasarkan hasil pemodelan, elevasi muka air pada musim barat berkisar -0,45 – 0,51m dan musim timur -0,44 – 0,49 m. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa tunggang pasang di pesisir Tangerang adalah 1,2 m (Sebayang dan Kurniadi, 2015). Hasil ini juga sejalan dengan hasil pemodelan hidrodinamika di Teluk Jakarta yang menyatakan bahwa elevasi muka air pada musim barat antara -0,524 – 0,496 m dan pada musim timur antara -0,474 – 0,506 m (Khoirunnisa *et al.*, 2021).

Validasi hasil elevasi muka air dari pemodelan hidrodinamik dilakukan dengan membandingkan terhadap prediksi elevasi muka air dari TMD (Tide Model Driver) (Padman dan Erofeeva, 2005). Perbandingan dilakukan untuk musim barat dan musim timur.

Berdasarkan perbandingan dan perhitungan deviasi antara hasil pemodelan pada musim barat dan TMD diperoleh nilai RMSD sebesar 0,0275 dan nilai NRMSD (Normalized Root Mean Square Deviasi) sebesar 0,46 % (Gambar 2a). Sedangkan untuk musim timur diperoleh nilai RMSD sebesar 0,0285 dan nilai NRMSD sebesar 0,47 % (Gambar 2b).

Kecepatan arus karena tidak tersedia data hasil pengukuran, maka validasi dilakukan dengan membandingkan secara terhadap hasil penelitian lain. Berdasarkan hasil pemodelan ini, pada saat menuju surut arus dominan menuju ke arah timur hingga tenggara, dengan kecepatan berkisar 0.23 m/s, pada kondisi menuju pasang arus dominan ke arah barat hingga barat laut dengan kisaran kecepatan arus pada kisaran 0.13 m/s. Hasil ini relatif sejalan dengan hasil penelitian (Yogaswara *et al.*, 2016), yang menyatakan bahwa pola pergerakan arus di Perairan Kepulauan Seribu di pengaruhi oleh pasang surut. Kecepatan arus permukaan berkisar antara 0,0341 – 0,277 m/det dengan arah dominan ke tenggara dan barat laut. Sedangkan hasil penelitian (Aprilia dan Pratomo, 2017) menyatakan bahwa kecepatan arus di perairan Teluk Jakarta berkisar 0 – 0,94 m/detik. Menurut (Aunillah *et al.*, 2014) kecepatan arus di perairan P Pari Kepulauan Seribu, pada kedalaman permukaan berkisar antara 0,0138-0.4082 m/s dan pada kedalaman rata-rata didapatkan nilai kecepatan arus berkisar antara 0,0135–0,4070 m/s dengan arah dominan ke barat daya dan timur laut.

Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi

Terbatasnya ketersediaan data untuk input model transpor sedimen ini baik jumlah maupun keterkiniannya, sehingga hasil model transpor sedimen ini belum tervalidasi dengan data

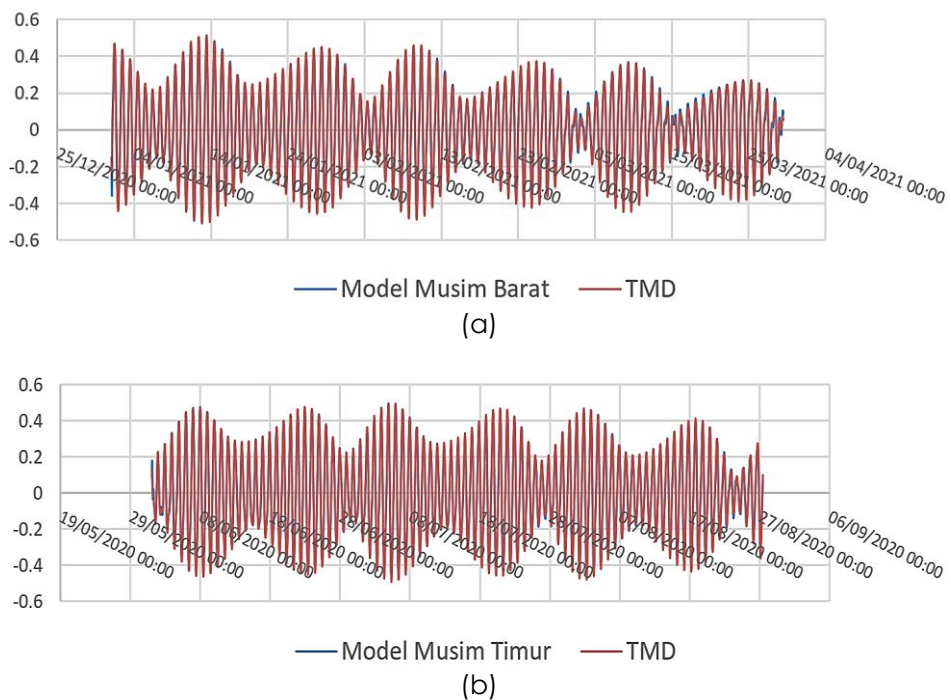
lapangan. Akan tetapi hasil pemodelan ini dapat memberikan gambaran pola kecenderungan sebaran sedimentasi baik sedimen tersuspensi maupun sedimen dari lapisan dasar.

Sebaran Horizontal Sedimen Tersuspensi

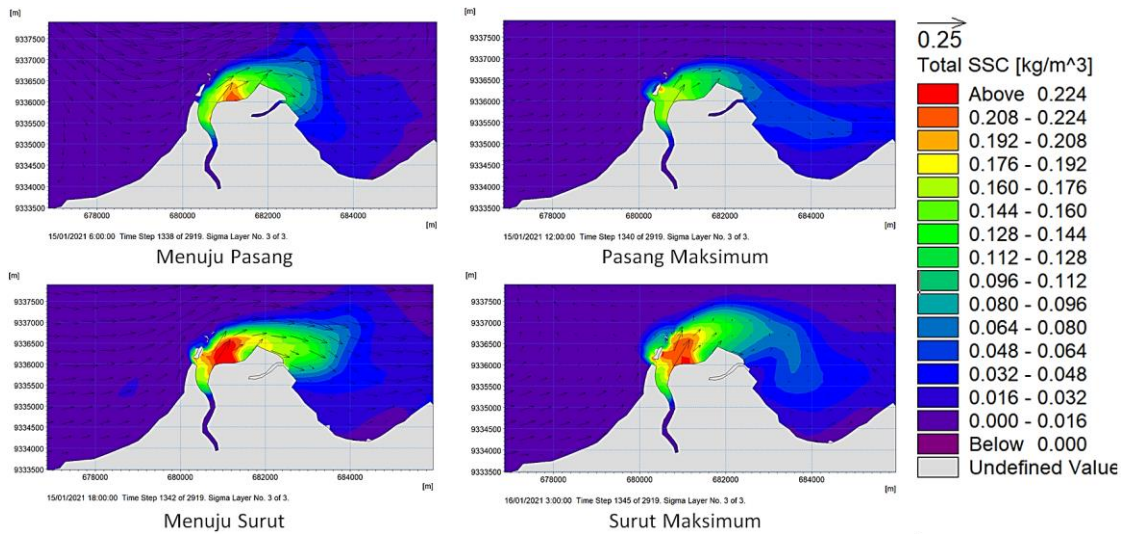
Gambar 3 dan 4 menunjukkan pola sebaran tersuspensi pada lapisan permukaan secara horisontal ketika musim barat pada tiap kondisi pasang surut. Ketika musim barat pola pergerakan sedimen tersuspensi dari S. Cisadane sangat terlihat dibandingkan sedimen tersuspensi di sekitarnya, hal ini dikarenakan konsentrasi sedimen tersuspensi dan debit sungai pada musim barat jauh lebih besar dibandingkan ketika musim timur. Ketika musim barat pola sebaran sedimen tersuspensi mengikuti pola pergerakan arus baik karena pengaruh pasang surut maupun karena debit sungai (Wisha dan Ondara, 2017)(Al-Hulail dan Neelamani, 2011). Ketika kondisi menuju pasang dan pasang maksimum sebaran sedimen tersuspensi cenderung terkonsentrasi di sekitar pantai dan dominan tersebar ke arah timur dari muara S. Cisadane. Konsentrasi sedimen tersuspensi di sekitar muara Cisadane dominan berkisar 0,12 kg/m³ dan yang paling tinggi mencapai sekitar 0,26 kg/m³ yang berada di muara Cisadane di sisi sebelah timur (pada gambar 3 ditunjukkan dengan warna merah).

Konsentrasi di sekitar muara Cisadane relatif lebih tinggi dan dapat menyebar jauh ke arah laut ketika kondisi surut dibandingkan ketika kondisi pasang. Hal ini dikarenakan air sungai tertahan di sekitar muara akibat adanya dorongan masa air laut, sebaliknya ketika air laut sedang surut (Wisha dan Heriati, 2016)(Purba et al., 2018).

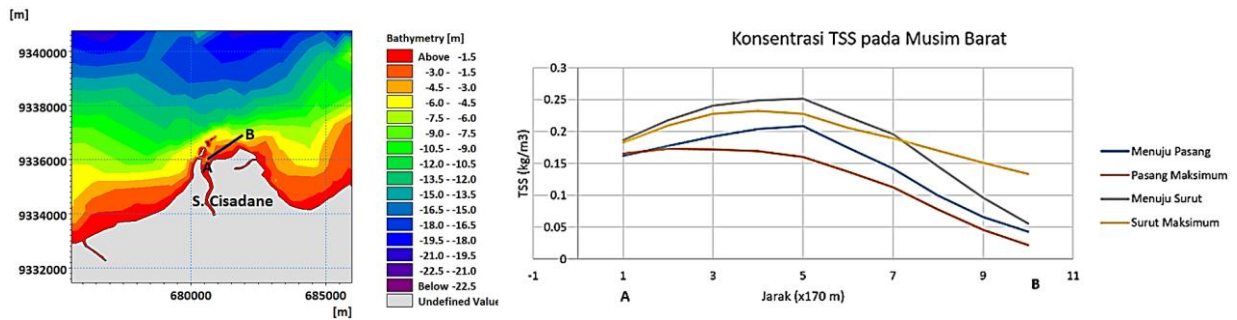
Berbeda dengan musim barat, ketika musim timur pola sebaran sedimen tersuspensi di muara Sungai Cisadane tidak terlihat karena selain disebabkan oleh konsentrasi sedimen tersuspensi yang sangat kecil juga debit sungai pembawa sedimen pada musim ini relatif kecil. Sedimen tersuspensi yang ada di muara Cisadane banyak dipengaruhi oleh sedimen tersuspensi dari laut terbuka hal ini terbukti ketika kondisi pasang konsentrasi di sekitar muara S. Cisadane lebih besar dibandingkan ketika surut (Gambar 5 dan 6).



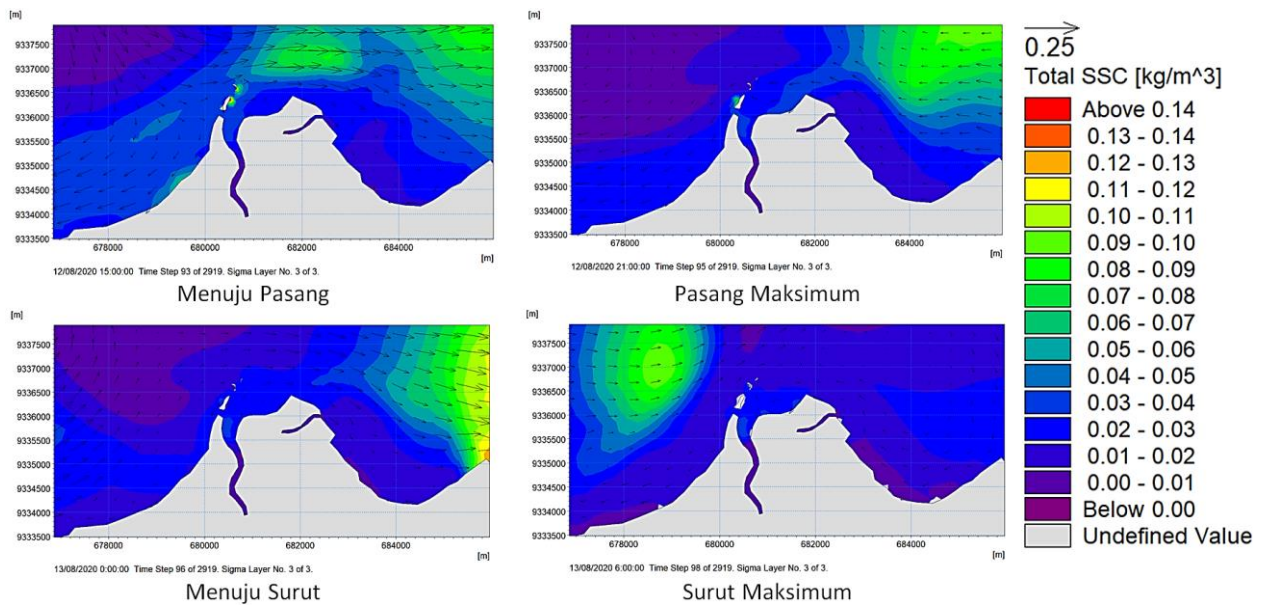
Gambar 2. Validasi tinggi muka air terhadap pasang surut TMD hasil pemodelan (a) musim barat dan (b) musim timur



Gambar 3. Pola sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi lapisan permukaan pada musim barat



Gambar 4. Grafik konsentrasi sedimen tersuspensi lapisan permukaan pada musim barat pada profil B



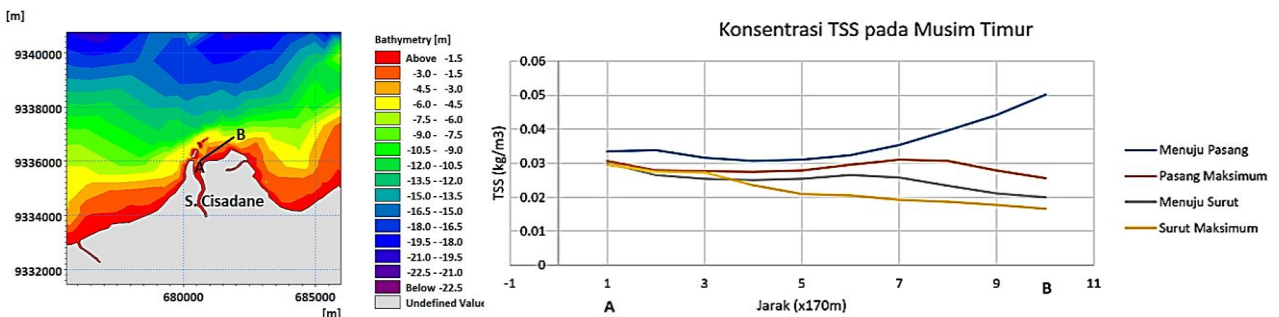
Gambar 5. Sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi lapisan permukaan pada musim timur

Sebaran Vertikal Sedimen Tersuspensi

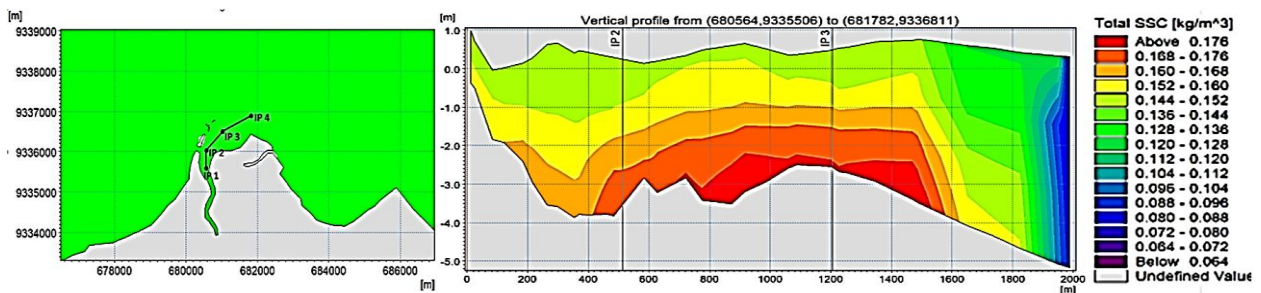
Gambar 7 dan 8 menunjukkan perbedaan pola sebaran sedimen tersuspensi pada lapisan air permukaan dan lapisan air dasar pada musim barat dan musim timur. Secara umum terlihat bahwa konsentrasi sedimen tersuspensi pada lapisan perairan dasar sedikit lebih tinggi dibandingkan lapisan perairan di permukaan, hal ini menunjukkan bahwa suplai sedimen tersuspensi dari lapisan dasar perairan cukup besar akibat arus yang ada mampu mengerosi dan mengangkut butiran sedimen yang ada di sedimen dasar (Al-Hulail dan Neelamani, 2011)(Wisha dan Heriati, 2016). Pada musim timur di dasar maupun permukaan, sedimen tersuspensi hanya menyebar di dekat muara sungai. Ketika musim barat sedimen tersuspensi menyebar cukup jauh (mencapai puluhan kilometer) terutama ke arah timur dari muara S. Cisadane.

Sebaran dan Pola Sedimentasi

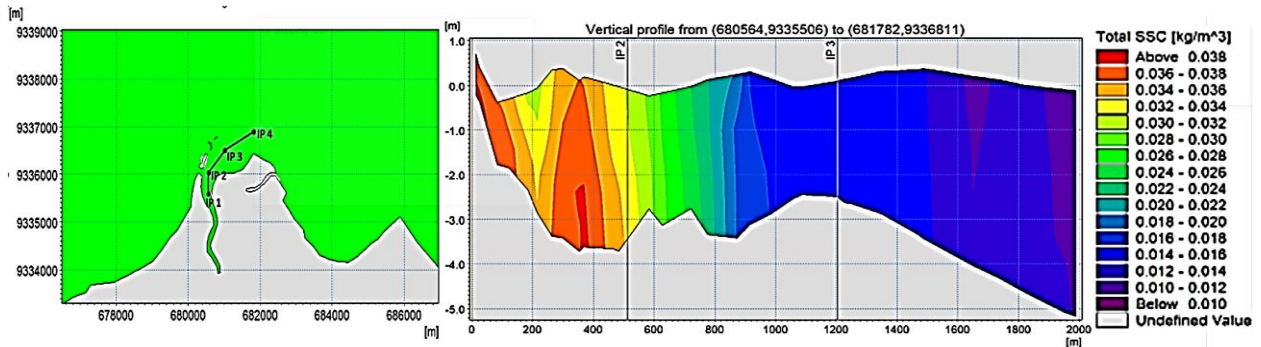
Berdasarkan hasil simulasi model selama kurun waktu 1 tahun, terlihat perubahan pola massa dasar maupun ketebalan dasar dari waktu ke waktu. Pada 3 bulan pertama simulasi (Agustus-Oktober) pola perubahan massa dasar dan ketebalan dasar lebih dipengaruhi atau didominasi oleh sedimen dari lapisan dasar. Hal ini disebabkan pada kurun waktu ini debit sungai dan konsentrasi TSS dari muara Cisadane relatif kecil (Gambar 9). Pengaruh sedimen dari muara Cisadane mulai terlihat ketika memasuki bulan November yang mana pada bulan ini debit sungai dan konsentrasi sedimen tersuspensi cukup besar. Pada akhir simulasi perubahan ketebalan dasar maksimal yang terjadi adalah 1,2 meter yang terjadi pada lokasi sumber debit sungai dan TSS. Secara umum total perubahan ketebalan dasar di muara Cisadane bervariasi antara -0,4 – 0,7 m. Total perubahan ketebalan dasar maksimum (sedimentasi) terjadi di depan muara sungai sisi timur yaitu mencapai sekitar 0,7m (lihat tanda lingkaran merah pada gambar 9b) sedangkan erosi maksimum mencapai -0,4 yang terjadi di muara Cisadane sisi timur (lihat lingkaran hitam pada gambar 9b). Secara kuantitatif nilai total perubahan massa dasar dan ketebalan dasar dilakukan ekatraksi di kawasan muara S. Cisadane (Gambar 10a).



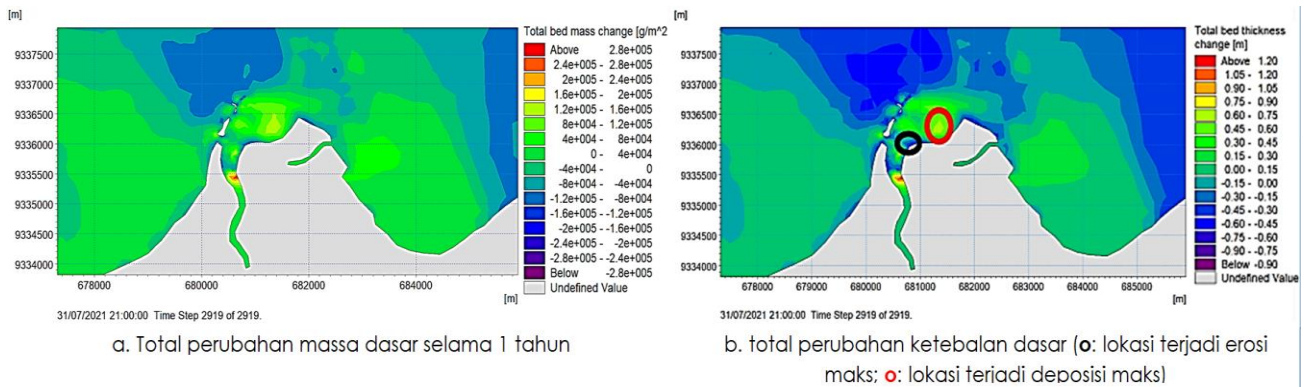
Gambar 6. Konsentrasi sedimen tersuspensi lapisan permukaan pada musim timur



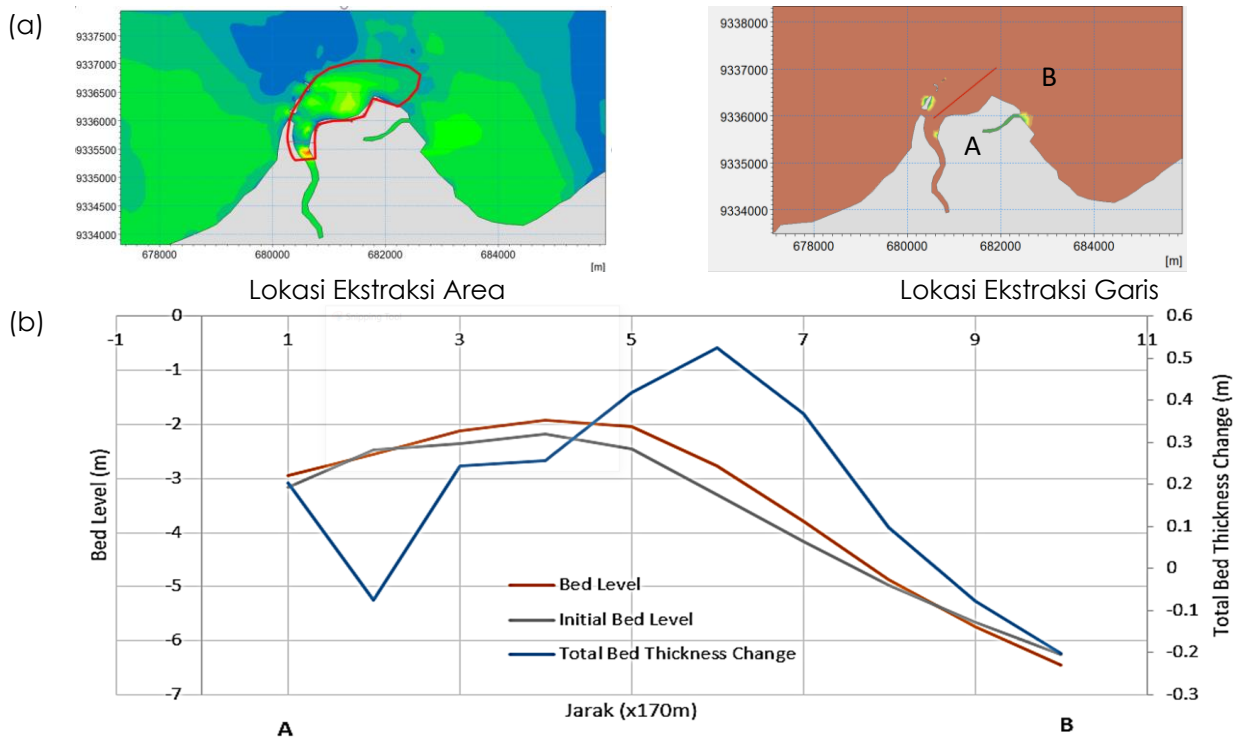
Gambar 7. Pola sebaran sedimen tersuspensi pada lapisan air permukaan dan lapisan air dasar pada musim barat



Gambar 8. Pola sebaran sedimen tersuspensi pada lapisan air permukaan dan lapisan air dasar pada musim timur



Gambar 9. Hasil pemodelan transpor sedimen selama 1 tahun



Gambar 10. (a) Lokasi ekstraksi (b) Grafik hubungan kedalaman dasar (*bed level*) dan total perubahan ketebalan dasar (*total bed thickness change*)

Luas area ekstraksi di muara Cisadane tersebut sekitar 2,2 km². Berdasarkan ekstraksi tersebut diketahui bahwa rerata total perubahan ketebalan dasar sekitar 0,086m sehingga volume total sedimen yang ada pada area ini sekitar 188.439 m³ selama kurun waktu 1 tahun. Sedangkan jika ditinjau berdasarkan total perubahan massa dasar, diketahui bahwa rerata total perubahan dasar di area ini sekitar 13.593 gr/m² (13,593 kg/m²), sehingga berat total sedimen yang ada di area ini ±29.903.957 kg (29.904 ton) selama kurun waktu 1 tahun. Grafik pada gambar 11b menunjukkan hampir semua area di muara S. Cisadane selama kurun waktu 1 tahun mengalami proses sedimentasi. Pada penampang AB tingkat sedimentasi yang paling besar terjadi pada jarak ±1 km di depan mulut sungai, dimana penambahan ketebalan sedimen mencapai 0,54 m dalam kurun waktu 1 tahun.

KESIMPULAN

Pada musim barat pola pergerakan sedimen tersuspensi dari S Cisadane sangat terlihat dibandingkan sedimen tersuspensi di sekitarnya, sebaliknya ketika musim timur. Selama simulasi, konsentrasi sedimen tersuspensi di sekitar muara Cisadane yang dominan berkisar 0,12 kg/m³ dan yang paling tinggi mencapai sekitar 0,26 kg/m³ yang berada di muara Cisadane di sisi sebelah timur. Konsentrasi di sekitar muara Cisadane relatif lebih tinggi dan dapat menyebar jauh ke arah laut ketika kondisi surut dibandingkan ketika kondisi pasang. Konsentrasi sedimen tersuspensi pada lapisan perairan dasar sedikit lebih tinggi dibandingkan lapisan perairan di permukaan. Pada musim timur di dasar maupun permukaan, sedimen tersuspensi hanya menyebar di dekat muara sungai, sedangkan ketika musim barat sedimen tersuspensi menyebar cukup jauh terutama ke arah timur dari muara S. Cisadane. Total perubahan ketebalan dasar di muara Cisadane bervariasi antara -0,4 – 0,7. m dengan nilai rerata 0,086m. Selama kurun waktu 1 tahun volume total sedimen yang ada pada area ini sekitar 188.439 m³. Selama 1 tahun rerata total perubahan dasar di area ini sekitar 13.593 gr/m² (13,593 kg/m²), sehingga berat total sedimen yang ada di area ini ± 29.903.957 kg (29.904 ton).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen BTIPDP dan Troika dan GL WBS 2 Kegiatan Kajian Alternatif Struktur Tanggul Waduk Laut untuk NCICD dengan Uji Model Fisik dan Numerik Tahun 2021 dan seluruh personil di Laboratorium Uji Komputasi Dinamika Pantai-BTIPDP.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hulail, F. & Neelamani, S. (2011). The Variation of Total Suspended Sediments Due to the Change in Sea Water Depth, Tidal Phase and Elevation of Sea Water Sample Collection in Khor Sabiya Inlet of the Arabian Gulf, Kuwait, *Journal of Coastal Research*, 61(Spec. Issue 61), 369–374. doi: 10.2112/SI61-001.41/12093/THE-VARIATION-OF-TOTAL-SUSPENDED-SEDIMENTS-DUE-TO
- Aprilia, E. & Pratomo, D.G. (2017). Pemodelan Hidrodinamika 3-Dimensi Pola Persebaran Sedimentasi Pra Dan Pasca Reklamasi Teluk Jakarta, *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 2337–3520.
- Arini, D.I.D., Prasetyo, L.B. & Rusdiana, O. (2007). Application of Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing for ANSWERS Hydrological Model in Predicting Erosion and Sedimentation. Case Study: Cipopokol Water Catchment Area, Cisadane Hulu Sub Watershed, Bogor District), *Media Konservasi*, 12(1), 1–10.
- Aunillah, H.N., Purwanto, P. & Sugianto, D.N. (2014). Pola Arus Di Perairan Pulau Pari Kepulauan Seribu DKI Jakarta, *Jurnal Oseanografi*, 3(4), 642–650.
- Center for Infrastructure and Built Environment. (2020) Kajian Pengelolaan Banjir DKI Dan Sekitarnya Bagi Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan, In CIBE-ITB (p. 63), CIBE-ITB.
- Copernicus Climate Change Service. (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate., Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS).
- DHI, (2017). MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Mud Transport Module Scientific Document (p. 31), DHI. doi: 10.1002/1097-0088(200008)20

- DHI Software. (2017). MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM, Mud Transport Module Step-by-step Training Guide (p. 46),DHI.
- DHI Software. (2019). MIKE 21 Flow Model Mud Transport Module User Guide (p. 90),DHI.
- DHI Software. (2021). MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM, Mud Transport Module Short Discription (p. 12),DHI.
- Febiyan, N., Atmodjo, W. & Hariyadi, H. (2013). Transpor Sedimen Di Perairan Teluk Lampung, *Journal of Oceanography*, 2(3), 361–368.
- Gelfort, A., Ladage, F. & Stoschek, O. (2010). Numerical Modeling of Morphodynamic Changes in the Jade Estuary - Germany, *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, p.1–11. doi: 10.9753/icce.v32.sediment.84
- Hydrographic and Oceanographic Centre. (2020). *Sea Map Teluk Jakarta Passage to Tanjung Priok Scale 1:50.000*. Hydrographic and Oceanographic Centre-Indonesian Navy, 1p.
- Ismanto, A., Zainuri, M., Hutabarat, S., Sugianto, D.N., Widada, S. & Wirasatriya, A. (2017). Sediment Transport Model in Sayung District, Demak, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 55(1), p.012007. doi: 10.1088/1755-1315/55/1/012007
- Junaidi, E. & Tarigan, S.D. (2011). Pengaruh Hutan Dalam Pengaturan Tata Air Dan Proses Sedimentasi Daerah Aliran Sungai (DAS): Studi Kasus Di DAS Cisadane, *Jurnal Penelitian Iklim Dan Konservasi Alam*, 8(2), 155–176.
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. (2014). Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara. 1, p. 93 ,Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2015). Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara (PTPIN),In Laporan Akhir (p. 22), Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional RI. (2020a). Laporan Akhir Pra-Studi Kelayakan Sistem Pengolahan Air Sungai Cisadane Pada Kegiatan Koordinasi Strategis Pengembangan Terpadu Pesisir Utara Jawa (PTPUJ), Bagian: Pengolahan Air Sungai Cisadane.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional RI, (2020b). Laporan Akhir Pra Studi Kelayakan Waduk Lepas Pantai (WLP) Sebagai Penyedia Air Bersih dan Pengendalian Banjir pada Sungai Cisadane.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional RI. (2021). Penyiapan Perwujudan Waduk Pantai Cisadane Sebagai Infrastruktur Pelopor Solusi Atas Permasalahan Ganda Banjir Pantai dan Kelangkaan Air Baku di Kawasan Pesisir Pantai Utara Pulau Jawa.
- Khoirunnisa, H., Wibowo, M., Hendriyono, W. & Wardani, S.K. (2021). Hydrodynamic and Boussinesq Wave Modeling for the N219 Amphibious Aircraft Seaplane Dock Development Plan in Panjang Island. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 15(2), 87-96. doi: 10.29122/mipi.v15i2.4769
- Lakatua, M.P. (2017). The Numerical Model of Sediment Distribution Pattern in Outer Ambon Bay. Hasanuddin University.
- Lumborg, U. & Windelin, A. (2012). Hydrography and Cohesive Sediment Modelling: Application to the Rømø Dyb Tidal Area. *Journal of Marine Systems*, 38(3–4), 287–303. doi: 10.1016/S0924-7963(02)00247-6
- Novico, F. & Prihandono, Y.A. (2012). Analysis of Erosion and Sedimentation Patterns Using Software of Mike 21 HDFM-MT in The Kapuas Murung River Mouth Central Kalimantan Province. *Bulletin of the Marine Geology*, 27(1), 35-53
- Noya, Y.A., Purba, M., Koropitan, A.F. & Prartono, T. (2016). Cohesive Sediment Transport Modeling on Inner Ambon Bay, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(2), 671-687
- Ozturk, D. & Sesli, F.A. (2015). Shoreline Change Analysis of the Kizilirmak Lagoon Series. *Ocean and Coastal Management*, 118, 290–308. doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2015.03.009
- Padman, L. & Erofeeva, L. (2005). Tide Model Driver (TMD) Manual. Arctic (pp. 1–12).Oregon State University. <http://www.coas.oregonstate.edu/research/po/research/tide/index.html>
- Permadi, A.S.C., Amrullah, C., Hazet, F.A., Sianturi, U.M. & Idris, A.M.S. (2019). Perencanaan Pembangunan Lepas Pantai: Strategi Pembangunan Berkelanjutan Di Teluk Jakarta Melalui Pembangunan Waduk Lepas Pantai. *Bappenas Working Papers*, 2(2), 158–175. doi: 10.47266/bwp.v2i2.37

- Pradhan, S., Samal, R.N., Choudhury, S.B. & Mohanty, P.K. (2018). Hydrodynamic and Cohesive Sediment Transport Modeling in Chilika Lagoon. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(5), 141–149. doi: 10.5194/isprs-annals-IV-5-141-2018
- Prihantono, J., Fajrianto, I.A. & Kurniadi, Y.N. (2018). Hydrodynamics and Sediment Transport Modelling Around Tanjung Pontang Coastal Waters, District of Serang-Banten. *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(2), 75–88.
- Purba, R.H., Mubarak, & Galib, M. (2018). Sebaran Total Suspended Solid (Tss) Di Kawasan Muara Sungai Kampar Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 23(1), 21–30.
- Rohman, S. (2017). Pemodelan Numerik Laguna Segara Ankan Menggunakan Software MIKE21, Kabupaten Cilacap, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sebayang, I.S.D., & Kurniadi, A. (2015). Identifikasi Dan Analisis Kerusakan Garis Pantai Yanung Pasir Di Kabupaten Tangerang, Banten. *Rekayasa Sipil*, 4(1), 11–20.
- Sravanthi, N., Ramakrishnan, R., Rajawat, A.S. & Narayana, A.C. (2015). Application of Numerical Model in Suspended Sediment Transport Studies along the Central Kerala, West-Coast of India. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 109–116. doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.016
- Stephensen, A.B. (2016). Numerical modelling of deposition of fine-grained sediment in Fanø Marina and possible remedial actions to reduce the annual sedimentation rate - A case study from Fanø Marina, in the Danish Wadden Sea, University of Copenhagen.
- Suwandana, E. (2019). Dinamika Morfologi Pantai Kabupaten Tangerang Banten Dan Pantai Indah Kapuk Jakarta Melalui Analisis Citra Google Earth. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 9(1), 55–68.
- Tarigan, M.S. (2007). Perubahan Garis Pantai Di Wilayah Pesisir Perairan Cisadane, Provinsi Banten. *MAKARA of Science Series*, 11(1), 49–55. doi: 10.7454/mss.v11i1.242
- Warnadi, A'Rachman, F.R. & Hijrawadi, S.N. (2020). Spatiotemporal Shoreline Change Analysis in the Downstream Area of Cisadane Watershed since 1972. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 412(1), p.012007. doi: 10.1088/1755-1315/412/1/012007
- Wibowo, M. (2018). Water Sea Quality Study at Jakarta Bay Due to Reclamtion and The Development of Giant Sea Wall (GSW). *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 9(1), 31–43.
- 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. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625(1), p.12042. doi: 10.1088/1742-6596/1625/1/012042
- Wisha, U.J. & Heriati, A. (2016). Analysis of Tidal Range and It's Effect on Distribution of Total Suspende Solid (TSS) in the Pare Bay Waters. *Jurnal Kelautan*, 9(1), 23–31. 6
- Wisha, U.J. & Ondara, K. (2017). Total Suspended Solid (TSS) Distributed by Tidal Currents during Low to High Tide Phase in the Waters of Sayung, Demak: Its Relations to Water Quality Parameters. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 3(2), 154. doi: 10.24843/JMAS.2017.V3.I02.154-162
- Yogaswara, G.M., Indrayanti, E. & Setiyono, H. (2016). Pola Arus Permukaan Di Perairan Pulau Tidung, Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta Pada Musim Peralihan (Maret-Mei). *Journal of Oceanography*, 5(2), 227–233.