

**PEMODELAN ANGKUTAN SEDIMEN DI PERAIRAN PATIMBAN
UNTUK RENCANA PEMBANGUNAN PELABUHAN**

***SEDIMENTATION MODELING OF PORT DEVELOPMENT
PLANNING IN PATIMBAN COASTAL WATERS***

Mardi Wibowo

Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai
Jl. Grafika No. 2, SEKIP, Yogyakarta (55284), Telp. 0274-586239, Fax. 0274-542789
E-mail : mardi.wibowo@bppt.go.id

Diterima tanggal: 29 November 2017 ; diterima setelah perbaikan: 21 Maret 2018 ; Disetujui tanggal: 27 Maret 2018
DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v1i1.6270>

ABSTRAK

Pembangunan pelabuhan internasional Patimban di Subang sudah sangat mendesak. Pelabuhan ini diharapkan sebagai penyokong pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan bongkar muat dari para pelaku usaha khususnya di Jawa Barat. Dalam perencanaan pelabuhan salah satu permasalahan utama dari aspek fisik yang harus diketahui adalah permasalahan proses sedimentasi dan erosi. Tujuan dari pemodelan ini untuk mengetahui pola sedimentasi dan erosi di sekitar rencana lokasi pembangunan pelabuhan. Hasil pemodelan diharapkan dapat menjadi pertimbangan awal dalam menyusun desain Pelabuhan Patimban. Pemodelan transpor sedimen ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MIKE21 *modul Sand Transport* dengan memasukan data-data geofisik hasil survei lapangan seperti batimetri, tinggi muka air laut, debit sungai dan karakteristik sedimen yang ada. Pemodelan dilakukan baik pada musim barat dan musim timur selama 1 tahun (Oktober 2016 - September 2017). Berdasarkan hasil pemodelan ini diketahui bahwa pada kondisi eksisting, di perairan rencana pembangunan kolam labuh terjadi sedimentasi sebesar 12,74 cm/th sedangkan ketika pelabuhan sudah dibangun terjadi sedikit erosi -0,34 cm/th. Sedangkan di rencana alur pelayaran pada kondisi eksisting terjadi sedimentasi 14,41 cm/th dan ketika pelabuhan sudah dibangun terjadi sedimentasi sebesar 6,06 cm/th.

Kata kunci: Pemodelan, angkutan Sedimen, perairan Patimban, kolam labuh, alur.

ABSTRACT

The development of the international port of Patimban in Subang is very urgent. The port is expected to support the Tanjung Priok port in Jakarta. Now, Tanjung Priok port is unable to fulfil the loading and unloading needs of business operators, especially in West Java. In port development, one of the main problems of physical aspects is sedimentation and erosion process. The purpose of this modeling is to understanding the sedimentation and erosion pattern around the location plan of port development. The result of modeling is expected to be the initial consideration in designing the Patimban Port. Modeling of sediment transport is done by using MIKE21 Sand Transport module software by inputing geophysical data of field survey result such as bathymetry, sea level, river flow and characteristic of existing sediment. Modeling is done both in west and east monsoons for 1 year (October 2016-September 2017). Based on the results of this modeling is known that the existing conditions, in seawater of harbour basin plan occur sedimentation of 12.74 cm/year, when the port has been built occur a little erosion -0.34 cm/year. Whereas at shipping channel plan in existing condition there is sedimentation 14.41 cm/year and when the port has been built there is sedimentation of 6.06 cm /year.

Keywords: Modelling, sedimentation, Patimban coastal waters, harbour basin, channel.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan atau maritim dimana pelayaran merupakan sektor penting bagi kehidupan sosial, ekonomi, pemerintahan, pertahanan/ keamanan, budaya dan sebagainya. Kegiatan pelayaran meliputi bidang yang sangat luas antara lain angkutan penumpang dan barang, penjagaan pantai, hidrografi, pariwisata, olah raga dan lain sebagainya (Saepuloh *et al.*, 2017). Secara garis besar, kegiatan pelayaran dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pelayaran niaga dan pelayaran bukan niaga (Saepuloh *et al.*, 2017). Pelayaran niaga adalah usaha pengangkutan barang terutama barang dagangan melalui laut antar pelabuhan.

Pelayaran bukan niaga meliputi pelayaran kapal patroli, survei kelautan dan sebagainya (Saepuloh *et al.*, 2017). Kapal sebagai sarana pelayaran mempunyai peran penting dalam sistem angkutan laut. Hampir semua barang impor, ekspor dan muatan dalam jumlah sangat besar diangkut dengan kapal laut (Saepuloh *et al.*, 2017). Kapal mempunyai kapasitas yang jauh lebih besar dari pada sarana angkutan lainnya. Untuk muatan dalam jumlah besar, angkutan dengan kapal akan memerlukan waktu lebih singkat, tenaga kerja lebih sedikit, dan biaya lebih murah. Untuk mendukung sarana angkutan laut tersebut diperlukan prasarana yang berupa pelabuhan.

Peningkatan kebutuhan transportasi laut di pantai utara Jawa sangat besar dan sementara ini sebagian besar hanya dilayani melalui Pelabuhan Tanjung Priuk di Jakarta. Sesuai dengan hasil Pra Studi Kelayakan Pengembangan Pelabuhan Baru di Pantai Utara Jawa Barat, Pelabuhan Patimban secara teknis (dari biaya pengerukan dan reklamasi), kriteria alur dan keselamatan pelayaran merupakan lokasi paling layak untuk menggantikan Pelabuhan Cilamaya sebagai alternatif untuk membagi beban kerja Pelabuhan Tanjung Priuk (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan-Kementerian Perhubungan, 2016). Pembangunan pelabuhan internasional Patimban di Kecamatan Pusanegara-Subang sudah sangat mendesak untuk dibangun. Sebab, para pelaku dunia usaha, baik ekportir dan importir yang berada di Jawa Barat, saat ini sudah mengeluh dengan tingginya ongkos bongkar muat pelabuhan Tanjung Priuk (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan-Kementerian Perhubungan, 2016).

Dalam perencanaan pelabuhan salah satu permasalahan utama (*main issues*) dari aspek fisik kimia yang harus diketahui adalah permasalahan proses sedimentasi dan

erosi (Fandeli, 2012). Semua bangunan pantai yang menjorok ke laut termasuk dermaga pelabuhan akan mengganggu keseimbangan transportasi sedimen sejajar pantai (*longshore current*) sehingga bangunan tersebut dapat mengurangi atau menghentikan pasokan sedimen (Diposaptono, 2011). Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan karakteristik gelombang (*transformasi*) karena berkurangnya kedalaman laut dan adanya fasilitas pelabuhan juga menyebabkan gelombang menjadi terganggu sehingga merubah angkutan sedimen dan kondisi pantai di sekitar pelabuhan (Pradjoko dkk, 2015).

Proses sedimentasi di pelabuhan sangat terkait erat dengan proses pengerukan pada tahap operasional pelabuhan karena pengerukan akan sangat mempengaruhi daya saing dari suatu pelabuhan karena dapat meningkatkan efisiensi antara 3-10%, biaya pelabuhan turun 1-24% dan pendapatan operator pelabuhan meningkat 3-19% (Rosyidi dkk, 2015). Sebagai contoh biaya pengerukan untuk mengatasi pendangkalan di Pelabuhan Pulau Baai-Bengkulu yang mencapai Rp. 28-30 milyar/tahun (Supiyati dkk, 2011). Kecepatan pengendapan di Pelabuhan Pulau Baai sama dengan laju pembangunan *breakwater* yang panjangnya 390 m dari pantai padahal dalam desain jarak 400 m baru akan tercapai setelah 10 tahun tetapi pada kenyataannya baru 3 tahun endapan pasir sudah mencapai ujung *breakwater* (Hamdani, 2013).

Transpor sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya, sehingga prediksi transpor sedimen sepanjang pantai sangat penting untuk dilakukan (Triatmodjo, 1999). Transpor sedimen di daerah dekat pantai terdiri dari transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) dan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) (Triatmodjo, 1999). Prediksi transpor sedimen dapat dilakukan dengan cara menggunakan rumus empiris yang ada. Untuk mempermudah penyelesaian rumus empiris tersebut dapat dilakukan dengan model matematis untuk menyelesaikan persamaan kontinuitas, persamaan energi dan persamaan momentum dengan menggunakan metode beda hingga atau metode elemen hingga (Triatmodjo, 1999).

Penyebab utama pola arus dan gerakan sedimen di daerah pantai tertutup adalah fluktuasi muka air laut karena pasang surut (Wahyudi & Jupantara, 2004). Arus pasang surut juga efektif bila bekerja di daerah

muara, mulut teluk atau selat yang terlindung dari gelombang (Wahyudi & Jupantara, 2004). Pasang surut mempengaruhi elevasi tinggi gelombang yang membawa material sedimen dari dan menuju kearah pantai (Wahyudi & Jupantara, 2004). Selain itu pasang surut juga berpengaruh pada kecepatan dan arah arus. Arus yang ditimbulkan oleh pasang surut cukup kuat untuk membawa material sedimen dalam jumlah yang cukup besar sedangkan untuk pantai yang terbuka selain arus akibat pasang surut, energi gelombang juga sangat berpengaruh terhadap proses sedimentasi di suatu kawasan pantai (Wahyudi & Jupantara, 2004). Sifat-sifat sedimen pantai sangat mempengaruhi laju transpor sedimen sepanjang pantai seperti distribusi dan gradasi butir, kohesifitas, bentuk, ukuran, dan rapat massa (Khatib dkk, 2013).

Selama ini kajian tentang sedimentasi di sekitar lokasi rencana pembangunan Pelabuhan Patimban ini belum banyak dilakukan (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan-Kementerian Perhubungan, 2016) oleh karena itu sebagai kajian awal dilakukanlah pemodelan transpor sedimen di sekitar rencana lokasi pembangunan Pelabuhan Patimban. Tujuan dari pemodelan ini untuk mengetahui pola sedimentasi dan abrasi di lokasi dan sekitar lokasi rencana lokasi pembangunan Pelabuhan Patimban sehingga diharapkan dalam operasionalnya nanti dapat lebih efektif dan efisien. Terutama pada kolam labuh dan rencana alur pelayaran Pelabuhan Patimban.

BAHAN DAN METODE

Berdasarkan hasil survei dan analisis laboratorium sedimen dasar di sekitar rencana pembangunan pelabuhan tekstur sedimen tergolong sebagai pasir halus dengan d50 berkisar antara 0,09 mm – 0,35 mm (BTIPDP, 2016). Hal tersebut diperkuat dengan hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa sedimen dasar di perairan Patimban didominasi oleh lempung lanau-pasir lempungan (JICA, 2017). Oleh karena itu proses angkutan sedimen di perairan laut Patimban dikaji menggunakan pemodelan Sand Transport (ST) pada perangkat lunak MIKE 21. Model ST pada MIKE 21 merupakan aplikasi model angkutan untuk jenis sedimen non-kohesif. Model ST dijalankan bersamaan (*couple*) dengan MIKE 21 *Hydrodynamics Flexible Mesh* (HD FM) (DHI, 2011 dan Leys & Mulligan, 2003). Persamaan untuk model hidrodinamika tidak dipaparkan pada tulisan ini. Salah satu kelebihan model MIKE 21 HD FM dibandingkan dengan MIKE 21 HD *Classic* adalah kemampuan pembuatan *grid* secara *flexible* sehingga kontur domain yang kompleks

dapat digambarkan secara utuh (DHI, 2011 dan DHI, 2012b). Model ini menunjukkan korelasi yang baik untuk dasar yang mempunyai nilai *Manning number* tinggi (50 m^{1/3}/s) dan sesuai untuk daerah yang transport sedimen utamanya dipengaruhi oleh adanya gelombang sehingga model kombinasi gelombang dan arus memberikan hasil yang lebih realistik (Kulkarni, 2013).

Persamaan Pengatur

Persamaan yang digunakan dalam module ST adalah persamaan *Engelund-Hansen, Van-Rijn, Engelund-Fredsøe* dan persamaan *Meyer-Peter-Müller* (DHI, 2012a dan Zavatiero et al, 2016). Persamaan pembangunan model ST ditunjukkan pada persamaan 1 berikut :

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+a-e^z)}{e^z(z-1)+1} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 + U_{f0}^2 + 2K_z U_{f0} U_0 \cos \gamma}}{e^z(z-1)+1} \dots (1)$$

dimana

- K = Konstanta Von Karman
- t = Waktu
- z = Tebal *boundary layer*
- U₀ = Kecepatan orbit dasar gelombang terdekat
- U_{f0} = Kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang
- = Sudut antara arus dan gelombang
- k = Kekasaran dasar permukaan 2.5 d₅₀ untuk lapisan plane bed dan 2.5 d₅₀ + k_R untuk *ripple covered bed*
- d₅₀ = Ukuran diameter
- k_R = *Ripple* yang berkaitan dengan kekasaran

Nilai angkutan sedimen vertikal pada modul ST kemudian dihitung menggunakan persamaan difusi sebagai berikut (DHI, 2012):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = w \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial y} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- ε_s = Koefisien turbulensi
- c = Konsentrasi sedimen
- w = Kecepatan vertikal

untuk menyelesaikan persamaan (1), diperlukan dua syarat batas. Syarat batas pertama digunakan pada permukaan (Z=D) dengan tidak adanya *flux* sedimen, persamaan 1 kemudian menjadi (DHI, 2012) :

$$wc + \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \dots \text{dengan} \dots z = D \dots (3)$$

Syarat batas lain digunakan pada lapisan dasar (cb) dengan nilai skala kekasaran dasar (k) terhadap nilai rata-rata butiran sedimen (d) adalah

$$k = 2,5xd$$

Konsep di atas valid pada aliran searah. Penelitian Dingle dan Inman mendapatkan hasil bahwa gelombang pembangkit riak menghilang pada kecepatan aliran dekat dasar yang cepat. Pada kajian ini digunakan simulasi ST dengan tipe sumber simulasi *wave and current* dan jenis angkutan *bed load* dan *suspended load transport* (DHI, 2012b).

Skenario Pemodelan

Pemodelan dilakukan menggunakan kondisi eksisting dan setelah ada pelabuhan dan alur. Domain meliputi koordinat 818200 mE - 828594 mE, 9306000 mN - 9319258 mN, yang masuk zona UTM 49S. Untuk domain model tiap skenario terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

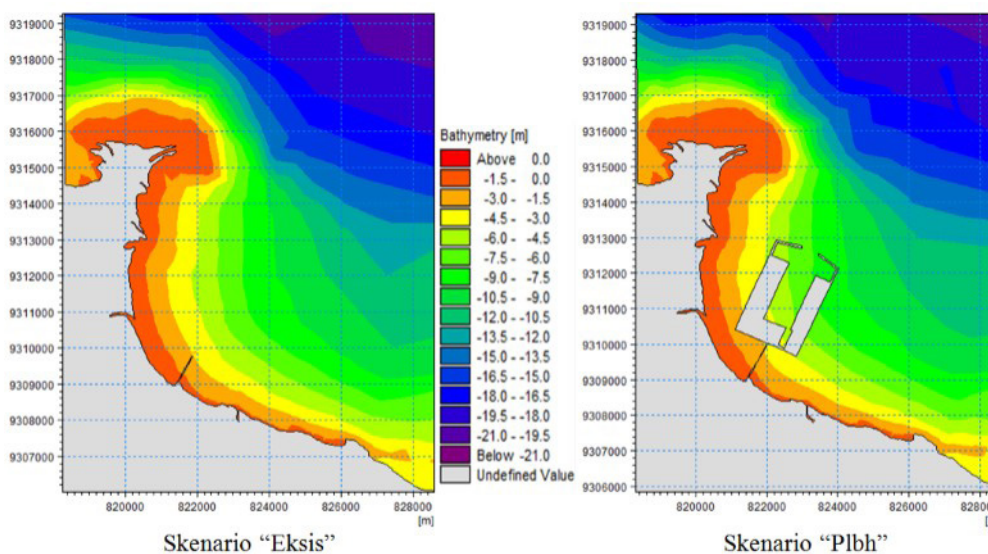
Selain skenario di atas pemodelan ST membutuhkan tabel sebaran nilai angkutan sedimen. Nilai tersebut digunakan sebagai ambang batas nilai sebaran sedimen pada domain model. Pembuatan tabel angkutan sedimen dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter seperti pada Tabel 2. Persamaan yang digunakan untuk diskritisasi pada domain waktu adalah Persamaan Stoke orde 1 dengan parameter gelombang pecah 1 dan 0,8 (Kulkarni, 2013). Penghitungan tabel angkutan sedimen kemudian dilakukan dengan menggunakan skenario seperti Tabel 3. Dari hasil penghitungan tabel angkutan sedimen nantinya akan didapatkan parameter input untuk model ST.

Data Input Pemodelan

Data-data masukan yang dibutuhkan dalam pemodelan ST ini adalah: Debit sungai-sungai utama, terdapat 5 aliran sungai yang masuk ke dalam domain model sebagai *source* (sumber) baik sumber aliran maupun sumber *total suspended solid* (TSS) (lihat Tabel 3).

Tabel 1. Skenario model umum transpor sedimen di perairan laut Patimban
Table 1. General model scenario of sediment transport in marine waters Patimban

No	Penamaan	Waktu Simulasi	Domain (m)	Gaya pembangkit	Keterangan
1.	Eksis	Agustus 2016 – Agustus 2017	10.394 x 13.258	Hidrodinamika dari Model HD, gelombang dari Model SW dan karakteristik sedimen dari Modul Generation of Q3D Sediment Table	Kondisi saat ini (<i>eksisting</i>) Sudah ada pelabuhan dan alur pelayaran dengan kedalaman -17 m.
2.	Plbh				



Gambar 1. Domain pemodelan transpor sedimen di Patimban.
Figure 1. Modeling domain of sediment transport in Patimban coastal waters.
Left : *eksisting*. right : *port plant*.

Tabel 2. Parameter pemodelan angkutan sedimen
Table 2. Sediment transport modeling parameters

No	Parameter	Nilai	Referensi
1	Toleransi nilai konsentrasi sedimen	0,0001	BTIPDP, 2016
2	Jumlah maksimum periode gelombang	150	Hasil analisis, 2017
3	Interval per periode gelombang	140	Hasil analisis, 2017
4	Densitas sedimen (kg/m ³)	2.28	BTIPDP, 2016
5	Shield parameter	0,05	BTIPDP, 2016
6	Suhu (°C)	30	BTIPDP, 2016

Tabel 3. Skenario penggerak angkutan sedimen
Table 3. Scenario generation of sediment transport

Parameter	Nilai minimum	Interval	Jmlh titik	Referensi
Kecepatan arus (m/s)	0,01	0,15	7	Hasil analisis, 2017
Tinggi gelombang (m)	0,01	0,2	8	
Periode gelombang (s)	1	2	5	
Tinggi gelombang/ kedalaman	0,01	0,2	8	
Sudut arus/gelmb (°)	0	30	12	
Ukuran butiran (mm)	0,06	2	4	
Sediment grading	1,1	1	8	

Batimetri dan garis pantai (batas air dan darat) ini sangat penting untuk menentukan domain dari pemodelan ini. Berdasarkan skenario yang ada terdapat 4 jenis batimetri (domain) (Gambar 1). Pada model ST Patimban ini terdapat 3 *open boundary* dengan data masukan berupa pasang surut “*varian in domain and time series*” yang di-generate dari *Tide Model Driver* (TMD)(Syahputra & Nugraha, 2016). Tipe pasang surut di Patimban adalah campuran dominan harian tunggal dengan tinggi maksimum +0,37 m dan minimum -0,37 m (BTIPDP, 2016). Berdasarkan hasil analisis laboratorium di BTIPDP sedimen dasar di perairan Patimban mempunyai ukuran d_{50} antara 0,09 - 0,35 mm dengan koefisien gradasi antara 1,44 - 9,49 serta berat jenis 2,65 gr/cm³. *Bed resistance* (kekasaran dasar) : default dengan *Manning Number konstan* 32 m^{0,333}/s. Gaya yang bekerja adalah gaya dari arus (dari hasil pemodelan HD atau hidrodinamika) dan gaya

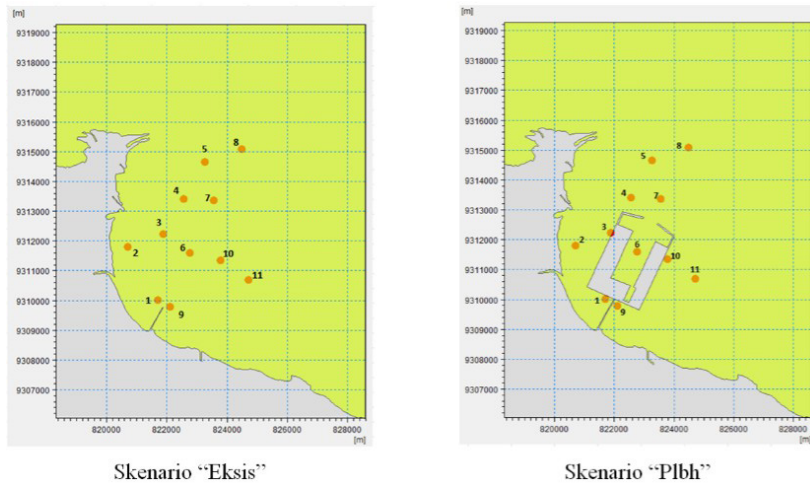
gelombang (tinggi gelombang signifikan, periode dan arah gelombang dari hasil pemodelan SW atau *spectral wave*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang surut di Patimban tergolong campuran dominan harian tunggal dengan tinggi maksimum +0,37 m dan minimum -0,37 m (BTIPDP, 2016). Pada kondisi tertentu pasang dan surut terjadi satu kali, namun saat-saat tertentu pasang dan surut dapat terjadi dua kali dalam satu hari. Arah arus di Pantai Patimban bergerak ke Utara pada arah 8° saat kondisi menuju surut. Kondisi sebaliknya terjadi saat menuju pasang dimana arus bergerak ke selatan pada arah 184,5°. Kecepatan arus tertinggi hasil survei sebesar 0,55 m/s terjadi pada saat surut. Kecepatan arus saat surut secara rata-rata

Tabel 4. Debit aliran sungai utama pada domain model
Table 4. The main river flow discharge in the model domain

No	Nama Sungai	Koordinat		Lebar (m)	Kedalaman Rata ² (m)	Kecepatan Arus (m/dt)	Debit (m ³ /dt)	Refe- rensi
		x (m)	Y (m)					
1	S. Cipunegara	821453	9315503	40	Varian in time (Data 2005-2013)			Hasil
2	S. Dalian	820634	9313108	20	1,45	0,2	5,8	Analisis,
3	S. Genteng	820274	9310682	20	1,16	0,05	1,16	2017.
4	S. Terumtung	823143	9308297	20	0,85	0,06	1,02	BTIPDP, 2016
5	S. Cipu Barat	819394	9315700				5	



Skenario “Eksis”

Skenario “Plbh”

Gambar 2. Lokasi ekstraksi data hasil pemodelan.

Figure 2. Location of data modeling extraction.

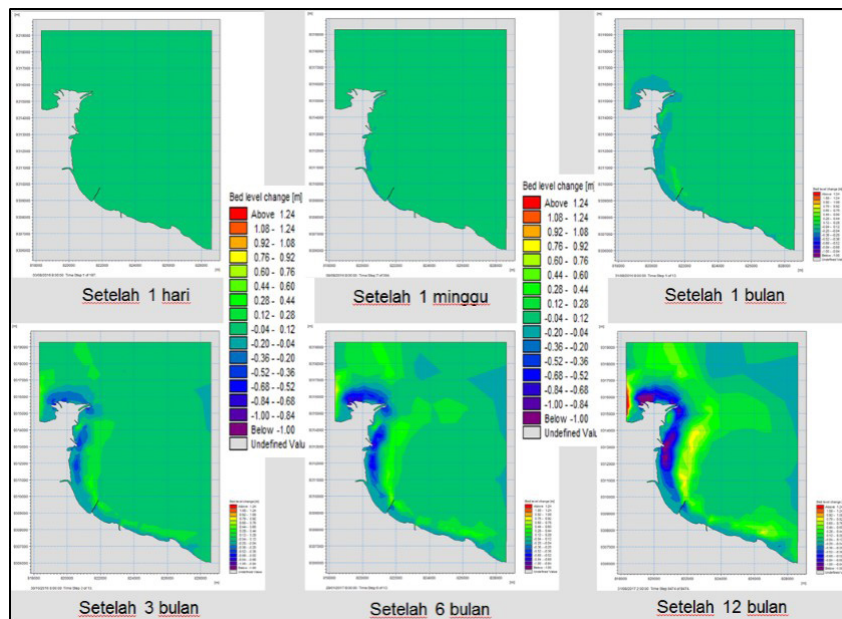
0,2 m/s lebih tinggi dibandingkan pada saat pasang. Area dengan kecepatan arus tertinggi terjadi di sekitar Muara Cipunegara. Berdasarkan hasil pemodelan *spectral wave* (SW) selama Januari 2016 - Agustus 2017 diketahui bahwa kondisi gelombang di perairan laut Patimban adalah tinggi gelombang signifikan maksimum 1,4 m, periode gelombang antara 1 - 8 detik dengan arah gelombang dominan dari barat laut.

laju perubahan dasar perairan bernilai negatif. Untuk memahami perubahan dasar perairan pada domain pemodelan, ekstrak data dilakukan pada beberapa titik di sekitar rencana pembangunan pelabuhan (lihat Gambar 2).

Perubahan Level Dasar Sebelum Dibangun pelabuhan (Skenario “Eksis”)

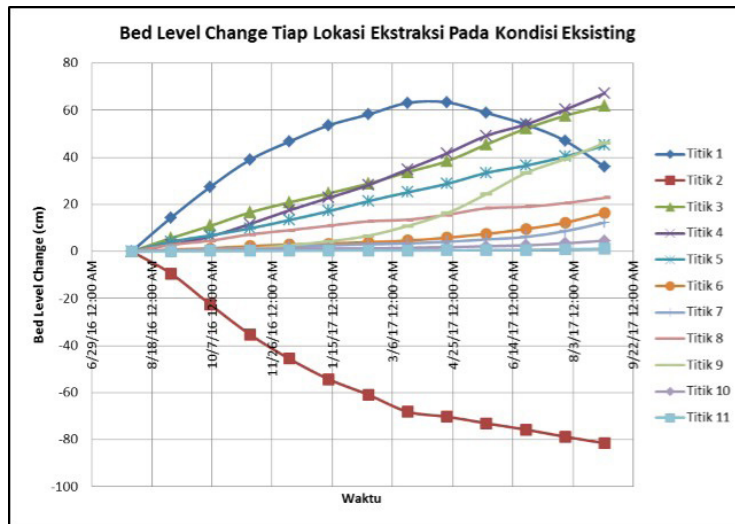
Perubahan kedalaman laut/dasar perairan mengindikasikan perubahan dasar perairan selama waktu simulasi berlangsung. Perubahan yang terjadi di dasar perairan dapat berupa proses sedimentasi yang ditandai dengan laju perubahan dasar perairan bernilai positif atau proses abrasi yang ditandai dengan

Hasil ekstraksi pemodelan transpor sedimen kondisi eksisting disajikan pada gambar dan grafik berikut (Gambar 3 dan 4). Berdasarkan grafik terlihat bahwa sebagian besar pada lokasi yang diamati terjadi proses sedimentasi dengan tingkat sedimentasi yang berbeda-beda. Hanya pada lokasi 2 yang terjadi proses erosi



Gambar 3. Snapshot hasil pemodelan perubahan kedalaman kondisi sebelum ada pelabuhan.

Figure 3. Snapshot of modeling result on bed level change before harbor construction.

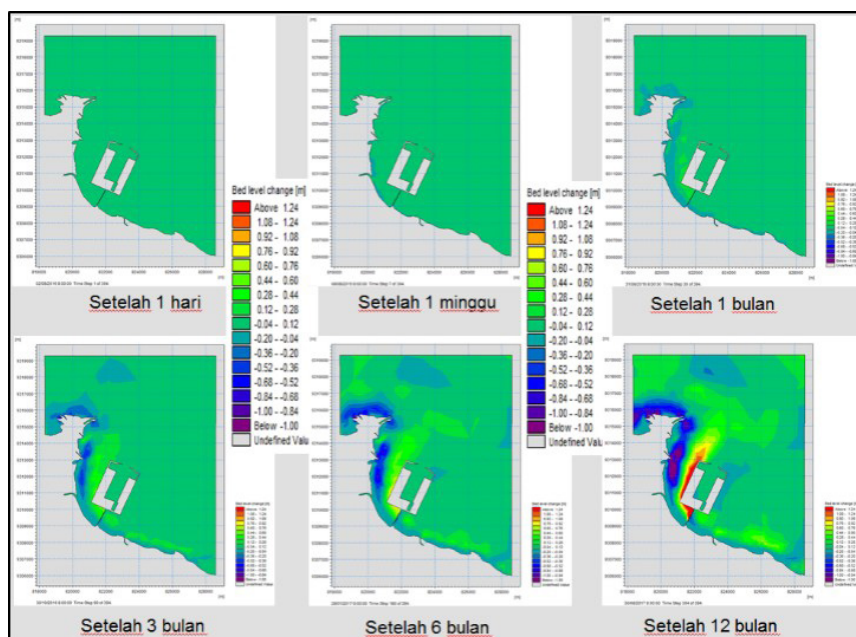


Gambar 4. Perubahan kedalaman laut pada kondisi sebelum dibangun pelabuhan.
 Figure 4. Bed level change at before harbor construction.

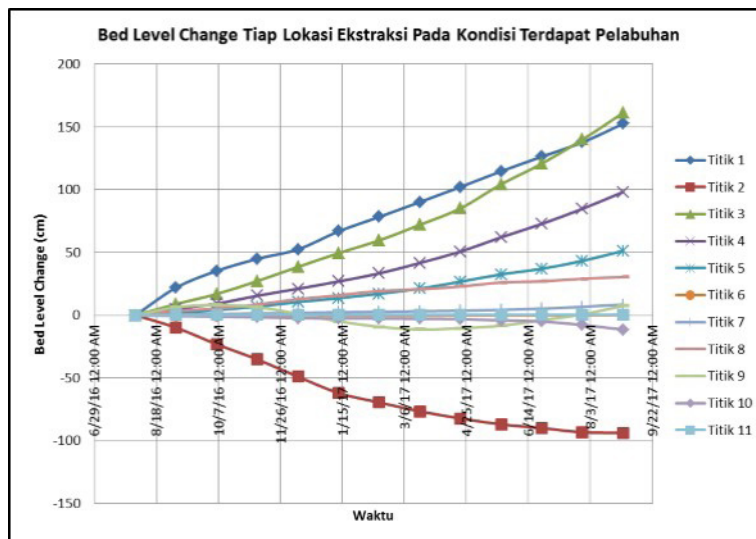
dengan tingkat perubahan level dasar sebesar lebih dari 80 cm/tahun. Proses sedimentasi terbesar selama 1 tahun terjadi pada lokasi 4 dan 3 dengan penambahan dasar perairan lebih dari 60 cm/th. Perubahan dasar perairan terkecil terjadi pada lokasi 11 dengan penambahan dasar perairan hanya sebesar 1,16 cm/th (lihat Gambar 3 dan Gambar 4). Hasil analisis sedimentasi yang dilakukan oleh JICA pada tahun 2017 menyatakan bahwa pada kawasan alur pelabuhan penambahan volume sedimen mencapai 135.000 m³/th (7,8 cm/th), sedangkan di kolam labuh utama mencapai 26.000 m³/th (1,1 cm/tahun)(JICA, 2017).

Perubahan Level Dasar Setelah Dibangun Pelabuhan (Skenario “Plbh”)

Hasil ekstraksi pemodelan transport sedimen kondisi ketika sudah dibangun pelabuhan dan alur pelayaran sudah dikeruk dengan kedalaman sampai -17 m disajikan pada gambar dan grafik berikut (Gambar 5 dan 6). Berdasarkan grafik terlihat bahwa sebagian besar pada lokasi yang diamati terjadi proses sedimentasi dengan tingkat sedimentasi yang berbeda-beda. Hanya pada lokasi 2 dan 10 yang terjadi proses erosi dengan tingkat perubahan dasar perairan sebesar lebih dari 93,7



Gambar 5. Snapshot hasil pemodelan perubahan kedalaman setelah dibangun pelabuhan.
 Figure 5. Snapshot of modeling result on bed level change after harbor construction.



Gambar 6. Perubahan kedalaman laut setelah dibangun pelabuhan.
 Figure 6. Bed level change after harbour construction.

dan 11,5 cm/tahun. Proses sedimentasi terbesar selama 1 tahun terjadi pada lokasi 3 dan 1 dengan penambahan dasar perairan secara berurutan adalah 161,3 dan 152,6 cm/th. Perubahan dasar perairan terkecil terjadi pada lokasi 6 yang berada di dalam kolam labuh dengan penambahan dasar hanya sebesar 0,22 cm/th hal ini sangat logis karena lokasi ini sangat terlindung (lihat Gambar 5 dan 6).

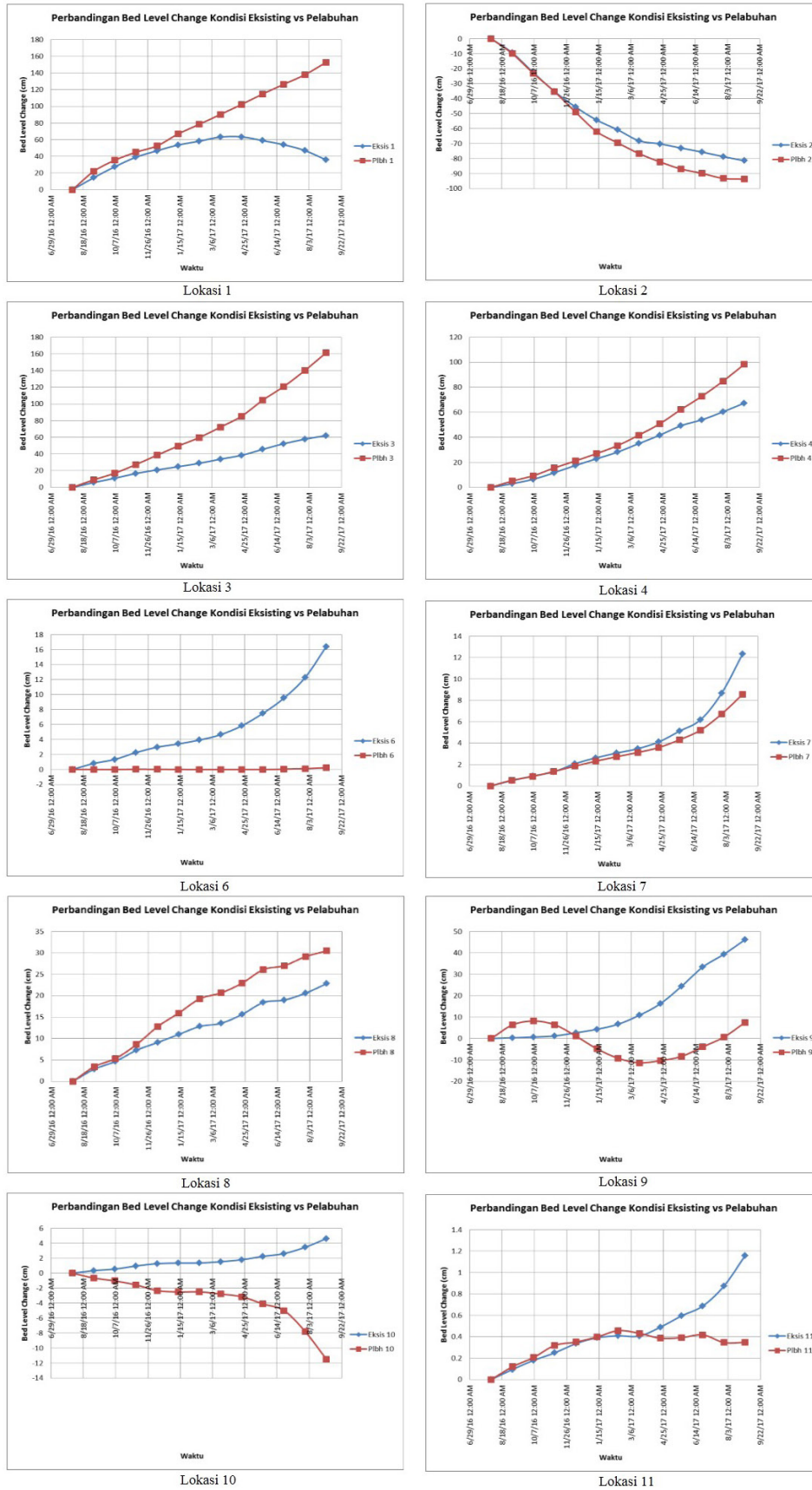
Perbandingan Perubahan Dasar Perairan Sebelum dan Sesudah Dibangun Pelabuhan

Dampak adanya pelabuhan dan alur pelayaran ternyata berpengaruh pada perubahan dasar perairan hampir di semua lokasi pengamatan. Lokasi yang perbedaan perubahannya tidak terlalu besar adalah pada lokasi 2, 4, 5, 8 dan 11. Perubahan yang signifikan (lebih dari 80%) selama simulasi 1 tahun terjadi pada lokasi 1 dimana pada kondisi eksisting perubahan level dasarnya mencapai hanya 35,86 cm setelah ada pelabuhan dan alur pelayaran menjadi sekitar 152,59 cm. Sedangkan pada lokasi 3 yang semula perubahan dasarnya sebesar 61,96 menjadi 161,29 cm. Pada lokasi 6 yang terletak dalam kolam labuh pada kondisi eksisting perubahan dasarnya mencapai lebih 16,41 cm setelah ada pelabuhan dan alur pelayaran menjadi sekitar 0,22 cm. Di alur pelayaran (lokasi 7 dan lokasi 8) setelah dibangun pelabuhan hanya terjadi sedikit perubahan dasar perairan dibandingkan kondisi eksisting. Pada lokasi 10 terjadi kebalikan perubahan dasar dimana pada kondisi eksisting terjadi sedimentasi setelah ada pelabuhan menjadi erosi. Pada lokasi 11 dengan adanya pelabuhan terjadi sedikit pengurangan dasar (lihat gambar 7).

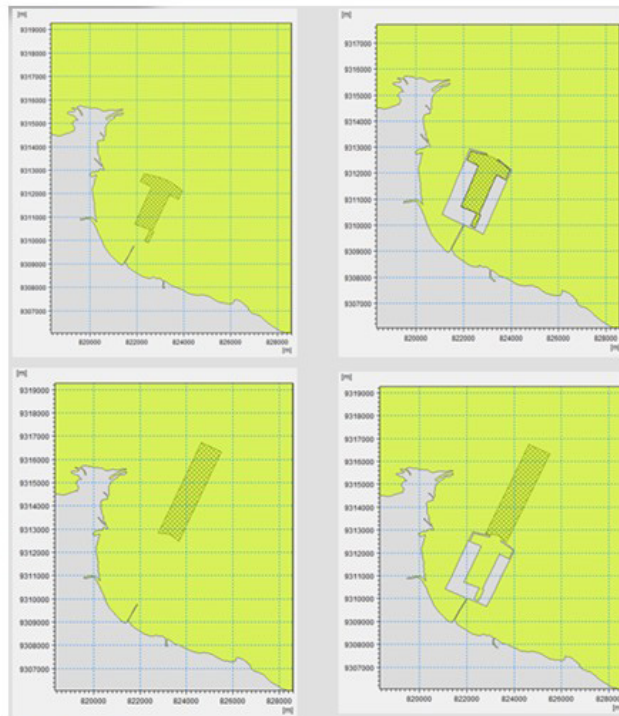
Perubahan dasar perairan pada dasarnya sangat terkait dengan terjadinya perubahan garis pantai, berdasarkan hasil kajian antara tahun 1996 – 2010 garis pantai di Kabupaten Subang mengalami dinamika perubahan garis pantai dimana pada suatu bagian terjadi akresi rata-rata sejauh 686,53 m sedangkan di bagian lain terjadi abrasi dengan garis pantai rata-rata mundur + 565,63 m (Taofiqurohman & Ismail, 2012). Hal menunjukkan masih adanya kesetimbangan angkutan sedimen di perairan pantai Kabupaten Subang. Hasil penelitian tentang perubahan garis pantai khusus di Delta Sungai Cipunegara yang merupakan sungai utama di dekat Pelabuhan Patimban menunjukkan bahwa Delta Cipunegara selalu mengalami peluasan yaitu 138,9 ha (1962-1972), 757,3 ha (1972-1990) dan 623 ha (1990-2008) (Munibah dkk., 2010). Akan tetapi jika melihat hasil pemodelan yang ada sampai saat ini sedimentasi yang besar dan membentuk Delta Cipunegara tidak terlalu berpengaruh terhadap pola sedimentasi di rencana pembangunan Pelabuhan Patimban.

Untuk mengetahui rerata perubahan dasar perairannya di kolam labuh dan alur pelayaran pelabuhan dilakukan ekstraksi area pada kawasan tersebut (Gambar 8). Area ekstraksi ditunjukkan oleh gambar yang diarsir (Gambar 8).

Berdasarkan ekstraksi area tersebut diketahui bahwa dengan adanya pelabuhan akan mengurangi perubahan dasar di dalam kolam labuh maupun di dalam alur pelabuhan (lihat Tabel 5 dan Tabel 6).



Gambar 7. Perbandingan perubahan kedalaman laut sebelum dan sesudah dibangun pelabuhan.
 Figure 7. Bed level change comparison before and after harbor construction.



Sebelum dibangun pelabuhan Setelah dibangun pelabuhan

Gambar 8. Lokasi Ekstraksi area di kolam labuh dan alur pelabuhan.
Figure 8. Area extraction at basin and channel of harbour.

Tabel 5. Rerata perubahan dasar perairan di kolam labuh
Table 5. Mean of bed level change at harbor basin

No	Skenario	Rerata BLC (cm/ th)
1	“Eksis” : Eksisting	12.7371
2	“Plbh” : Pelabuhan, alur pelayaran	-0.3442

Tabel 6. Rerata perubahan dasar perairan di alur pelabuhan
Table 6. Mean of bed level change at harbor channel

No	Skenario	Rerata BLC (cm/ th)
1	“Eksis” : Eksisting	14.4124
2	“Plbh” : Pelabuhan, alur pelayaran	6.0589

Verifikasi Model

Karena tidak ada data pengukuran perubahan ketebalan sedimen maka validasi model dilakukan dengan membandingkan kepada hasil kajian lain. Hasil analisis sedimentasi yang dilakukan oleh JICA pada tahun 2017 menyatakan bahwa pada kawasan alur pelabuhan penambahan volume sedimen mencapai 135.000 m³/th

(7,8 cm/th), sedangkan di kolam labuh utama mencapai 26.000 m³/th (1,1 cm/tahun)(JICA, 2017). Hal ini menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil pemodelan ini dimana di kolam labuh utama proses sedimentasi jauh lebih kecil dibandingkan dengan di alur pelabuhan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pembangunan pelabuhan (kolam dan alur pelabuhan) mempengaruhi pola dan kecepatan perubahan dasar perairan di semua lokasi pengamatan.

Pada lokasi 6 yang terletak dalam kolam pelabuhan pada kondisi sebelum dibangun pelabuhan, perubahan level dasarnya mencapai lebih 16,41 cm setelah ada pelabuhan dan alur pelayaran menjadi sekitar 0,22 cm. Pada lokasi yang akan menjadi alur pelayaran (lokasi 7 dan lokasi 8) setelah dibangun pelabuhan hanya terjadi sedikit perubahan dasar perairannya dibandingkan kondisi eksisting.

Berdasarkan ekstraksi area untuk mengetahui rerata perubahan dasar, dengan adanya pelabuhan dan alur pelayaran, rerata perubahan dasar di kolam labuh berkurang dari awalnya sebesar 12,7371 menjadi -0,3442 cm/th, sedangkan di alur pelayaran berkurang

dari awalnya sebesar 14,4124 menjadi 6,0589 cm/th.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada jajaran manajemen Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai-BPPT atas segala dukungannya terutama atas ijin pemanfaatan lisensi perangkat lunak MIKE-21. Terima kasih juga diucapkan kepada seluruh pelaksana kegiatan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Rekayasa Industri Maritim-Inovasi Teknologi Pelabuhan TA 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- BTIPDP. (2016). *Laporan Survei Hidrooseanografi Patimban*, Laporan internal BTIPDP-BPPT.
- DHI. (2011). *MIKE 21 Hydrodynamic Flow Model FM, User Guide*, MIKE BY DHI, Edition 2011.
- DHI. (2012a). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Sand Transpor Module*, Scientific Documentation, MIKE BY DHI, Edition 2012.
- DHI. (2012b). *MIKE 21 Flow Model FM, Sand Transpor Module*, User Guide, MIKE BY DHI, Edition 2012.
- Diposaptono, S. (2011). *Sebuah Kumpulan Pemikiran-Mitigasi Bencana dan Adaptasi Perubahan Iklim*, Direktorat Pesisir dan Lautan-Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan-Direktorat Jenderal Perhubungan Laut-Kementerian Perhubungan. (2016). *Pre-Feasibility Study Pengembangan Pelabuhan Baru di Pantai Utara Jawa Barat*.
- Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan-Direktorat Jenderal Perhubungan Laut-Kementerian Perhubungan. (2016). *Studi Kelayakan (FS) Pembangunan Pelabuhan Patimban di Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat*.
- Fandeli, C. (2012). *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Pembangunan Pelabuhan*, Cetakan kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hamdani. (2013). *Kajian Teknologi Sand By Passing Penanggulangan Sedimentasi dan Erosi Pantai Bengkulu (Pelabuhan Pulau Baai)*. *Jurnal MKTS Media Komunikasi Teknik Sipil* Vol. 19, No. 1, Juli 2013 : 77-87.
- JICA. (2017). *The Preparation Survey on Patimban Port Development Project, Japan International Cooperation Agency (JICA)-Directorate General of Sea Transportation, The Ministry of Transportation (DGST)*, Ides Inc-Oriental Consultants Global Co., Ltd (OCG)-The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), February 2017.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2016). *Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. KP 190 Tahun 2016 tentang Pengesahan Dokumen Pra Studi Kelayakan (Pra FS) Pembangunan Pelabuhan Baru di Pantai Utara Jawa Barat dan Studi Kelayakan (FS) Pembangunan Pelabuhan Patimban di Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat*.
- Khatib, A., Adriati Y., & Wahyudi AE. (2013). *Analisis Sedimentasi dan Alternatif Penanganannya di Pelabuhan Selat Baru Bengkalis*. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (Jurnal KoNTeKS 7)*, Universitas Sebelas Maret-Surakarta, 24-26 Oktober 2013.
- Kulkarni R. (2013). *Numerical Modeling of Coastal Erosion Using MIKE21*, Master Thesis Erasmus Mundus MSc Program, Coastal and Marine Engineering and Management (CoMEM)-Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Leys, V., & Mulligan, RP. (2003). *Modelling Coastal Sediment Transport for Harbpor Planning : Selected Case Studies*. World's Largest Science, Technology & Medicine. INTECH Publisher
- Munibah, K., Iswati, A., & Tjahjono B. (2010). *Perubahan Garis Pantai dan Regulasi Pengelolaan Lahan Baru di Delta Cipunegara, Subang, Jawa Barat*, *Jurnal Globe* Vol. 12, No. 2, Desember 2010, Badan Informasi Geospasial, Bogor, 2010 : 151-159.
- Pradjoko, E., Prayoga, H., & Setyandito, O. (2015). *Pengaruh Fasilitas Pelabuhan Terhadap Pantai Labuhan Haji*, *Jurnal Spektrum Sipil* Vol. 2, No. 1, Maret 2015: 68-78.
- Rosyidi H, Achmadi T, & Pratidinatri NP. (2015). *Analisis Dampak Pengerukan Alur Pelayaran Pada Daya Saing Pelabuhan-Studi Kasus Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.
- Saepuloh A, Pebrina D, Utami EN, Kurniawan H, Ramdhan M, Oktaviani N, Saely S & Sutrisno (2017). *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) Studi Kasus Proyek Infrastruktur Pelabuhan*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma.
- Supiyati, Suwarsono, & Setiawan I. (2011) *Angkutan Sedimen Penyebab Pendangkalan Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu dengan Model Diskritisasi Dinamika Oseanografi*, *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, V. 11, No. 2, Mei 2011: 172-180.
- Syahputra H., & Nugraha BA. (2016). *Analisis Perbandingan Akurasi Model Prediksi Pasang Surut : Studi Kasus di Selat Larantuka, Flores Timur, Nusa Tenggara Timur*, *Maspri Journal*, Vol 8 No 2 Juli 2016 : 119-126
- Taofiqurohman A., & Ismail MFA. (2012). *Analisis Spasial Perubahan Garis Pantai di Pesisir Kabupaten Subang Jawa Barat*, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 4, No. 2, Desember 2012, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB: 280-289.
- Triatmodjo B. (1999). *Teknik Pantai*. Penerbit BETA OFFSET, Edisi Pertama, Yogyakarta.
- Wahyudi & Jupantara D. (2004). *Studi Simulasi Sedimentasi Akibat Pengembangan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya*, *Jurnal Teknologi Kelautan* Vol. 8, No. 2, Juli 2004, ITS, Surabaya : 74-85.
- Zavattero E, Du M, Ma Q, Delestre O & Gourbesville P.

(2016). *2D Sediment Transport Modelling in High Energy River- Application to Var River, France*. 12th International Conference on Hydroinformatics (HIC) 2016. Procedia Engineering 154 (2016): 536-543.