

Studi Sedimentasi Serta Penanggulangannya Pada Pantai Santolo, Jawa Barat

ARI SETIAWAN, FITRI SUCIATY

Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional
Email : Ari246947@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan sedimentasi dan pendangkalan pada mulut muara Sungai Cilauteureun yang berada di kawasan Pantai Santolo membuat ketidaklancaran arus lalu lintas pelayaran. Jetty sepanjang 185 m yang dibangun pada bagian timur mulut sungai harus dipotong pada akhir tahun 2019 karena adanya tombolo yang menutup alur lalu lintas kapal. Pemodelan hidrodinamika 2-dimensi dan pemodelan transpor sedimen dilakukan pada studi ini dengan menggunakan software Delft3D untuk menganalisis faktor-faktor hidrodinamika yang berpengaruh terhadap proses sedimentasi yang terjadi di Pantai Santolo terutama di area muara Sungai Cilauteureun sehingga dapat diketahui penanggulangan yang sesuai untuk permasalahan tersebut. Simulasi pemodelan hidrodinamika dilakukan untuk skenario musim barat dan musim timur, sedangkan pemodelan transpor sedimen dilakukan dengan durasi selama satu tahun. Jetty sepanjang 120 m di bagian utara Pulau Santolo dan "sand by passing" pada tombolo yang terbentuk di belakang potongan jetty direkomendasikan pada studi ini untuk mengatasi permasalahan yang terjadi.

Kata kunci: *hidrodinamika, sedimentasi, Delft3D, jetty.*

ABSTRACT

Sedimentation and silting problems at the mouth of the Cilauteureun River estuary in the Santolo Beach area make shipping traffic uneventful. The 185 m long jetty built in the eastern part of the river mouth had to be cut by the end of 2019 due to a tombolo that closed off the boat traffic. 2-dimensional hydrodynamic modeling and sediment transport modeling were carried out in this study using Delft3D software to analyze the hydrodynamic factors that affect the sedimentation process that occurs at Santolo Beach, especially in the area of the Cilauteureun River estuary so that appropriate countermeasures can be found for this problem. Hydrodynamic modeling simulations were carried out for the west monsoon and east monsoon scenarios, while sediment transport modeling was carried out with a duration of one year. A 120 m long jetty in the northern part of Santolo Island and "sand by passing" on the tombolo formed behind the jetty cut is recommended in this study to solve the problems that occur.

Keywords: *hydrodynamics, sedimentation, Delft3D, jetty.*

1. PENDAHULUAN

Wilayah Perairan Santolo merupakan kawasan yang memiliki tingkat sedimentasi yang cukup tinggi (Pratomo, dkk., 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pratomo, dkk., diketahui laju sedimentasi rata-rata di muara Sungai Cilauteureun yang berada di kawasan Pantai Santolo sebesar $13,827 \text{ gr/m}^2/\text{hari}$ – $15,260 \text{ gr/m}^2/\text{hari}$. Soedjana (2002) menyatakan sedimentasi pada muara Sungai Cilauteureun merupakan kendala dalam lalu lintas nelayan, sehingga pada saat air surut Kapal Motor (KM) tidak bisa berlabuh di Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Cilauteureun. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut maka pada bagian timur mulut sungai dibangun jetty sepanjang 185 m. Namun, pada akhir tahun 2019 jetty tersebut harus dipotong karena tombolo yang terbentuk di dekat ujung jetty menutup alur lalu lintas kapal. Alur lalu lintas kapal yang ada saat ini hanya sebesar 15 m. Lebar alur ini hanya cukup untuk 1 jalur KM saja. Akibatnya alur lalu lintas kapal menjadi terhambat.

Pada studi ini, pemodelan hidrodinamika 2-dimensi dan pemodelan transpor sedimen menggunakan *software* Delft3D (Deltares, 2004) dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor hidrodinamika yang berpengaruh terhadap sedimentasi yang terjadi dan merencanakan struktur yang sesuai untuk penanganan permasalahan tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Angkutan Sedimen

Kombinasi antara gelombang dan arus menyebabkan angkutan sedimen menyusur pantai. Arus menyusur pantai adalah arus yang disebabkan oleh gelombang yang datangnya menyudut terhadap pantai. Arus pantai ini terjadi terutama di daerah *surf zone*, yaitu daerah yang terletak di antara gelombang yang mulai pecah sampai ke garis pantai. Gelombang yang menuju pantai menyebabkan perpindahan energi dari laut ke pantai dan pada saat gelombang pecah di daerah *surf zone*, energi tersebut sebagian berubah menjadi arus menyusur pantai (Syamsudin, dkk., 2004).

Selain dipengaruhi oleh angkutan sedimen menyusur pantai, muara sungai juga dipengaruhi oleh angkutan sedimen tegak lurus pantai. Menurut Syamsudin, dkk. (2004), angkutan tersebut dapat disebabkan:

- 1) aliran air sungai yang menimbulkan pendangkalan muara atau erosi setempat
- 2) angkutan sedimen yang bergerak keluar masuk muara karena pasang surut,
- 3) gerakan sedimen akibat gelombang di sekitar muara.

2.2 Analisis dan desain hidraulik perbaikan muara sungai

Analisis dan desain hidraulik untuk perbaikan muara sungai pada studi ini berdasarkan pedoman umum perbaikan muara sungai dengan jetty yang diterbitkan oleh Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, KemenPUPR, pada tahun 2004.

a) Kedalaman minimum alur pelayaran

Muara sungai biasanya dimanfaatkan untuk keperluan lalu lintas perahu nelayan sehingga kedalaman alur harus disesuaikan dengan kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, jika memungkinkan (ditinjau dari segi dana), kapal terbesar yang lewat di muara tersebut akan dipergunakan sebagai referensi penentuan ukuran kedalaman alur. Rumus penentuan kedalaman alur pelayaran tersebut adalah sebagai berikut:

$$ELbed = LLWL - dn \quad \dots\dots\dots (1a)$$

$$dn = df + gl + rb \quad \dots\dots\dots (1b)$$

ELbed adalah elevasi dasar alur (pada kedalaman minimum) (m); *LLWL* adalah elevasi muka air pada surut terendah ($\pm 0,00$) (m); *dn* adalah kedalaman alur nominal (m); *df* adalah draft kapal pada muatan penuh (m), *gl* adalah gerakan kapal akibat gelombang (m); *rb* adalah ruang bebas di bawah kapal (m). $gl+rb$ bisa diambil = 50% *df*.

b) Lebar minimum alur pelayaran

Lebar minimum alur ini sangat tergantung pada ukuran kapal, kecepatan arus di muara, keadaan gelombang dan kepandaian nelayan dalam melakukan manuver. Bruun (1985) dalam Syamsudin, dkk.,(2005) memperkenalkan rumus sederhana untuk menentukan lebar alur minimum, yaitu sebagai berikut.

i) Untuk lalu lintas satu jalur

$$Wn > 4,8 B \dots\dots\dots (2a)$$

ii) Untuk lalu lintas dua jalur

$$Wn > 7,6 B \dots\dots\dots (2b)$$

Wn adalah lebar alur minimum (m); *B* adalah lebar kapal yang berukuran terbesar (m).

2.3 Jetty

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada satu atau kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk menahan angkutan pasir menyusur pantai yang akan masuk ke mulut muara. Panjang bangunan jetty sangat ditentukan oleh untuk tujuan apa bangunan jetty tersebut dibuat.

Perencanaan jetty pada studi ini mengacu pada pedoman perencanaan jetty tipe rubble mound untuk penanggulangan penutupan muara sungai oleh sedimen yang diterbitkan oleh Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan Sipil, Departemen Pekerjaan Umum, KemenPUPR pada tahun 2005.

2.2.1 Elevasi mercu bangunan jetty

Elevasi mercu bangunan jetty dapat ditentukan sebagai berikut (Syamsudin, 2005):

$$ELmercu = HAT + R \dots\dots\dots (3)$$

ELmercu adalah elevasi mercu bangunan jetty (m); *HAT* adalah muka air pasang tertinggi, (m); *R* adalah tambahan ketinggian yang besarnya, yaitu : 1,00 meter pada bagian pangkal dan tengah; 1,50 meter untuk bagian ujung (kepala). Untuk lokasi yang mempunyai angkutan pasir sangat besar, nilai *R* minimum diambil sama dengan tinggi gelombang rencana (*Hrencana*). Jika *R* terlalu kecil, pasir akan masuk ke alur lewat mercu bangunan jetty pada saat terjadi gelombang besar (lewat proses *overtopping*) sehingga dapat menutup alur tersebut.

2.2.2 Stabilitas Armor

Bagian konstruksi pada bangunan pengarah dan penahan gelombang di outlet muara sungai, secara garis besar bisa dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu bagian konstruksi pokok dan bagian konstruksi pelindung. Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan armor jetty dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan armor jetty.

	Rumus	Keterangan
Berat Butir Batu Pelindung	$W_A = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$	WA : berat batu pelindung (armour)/unit (ton), Ws : berat batu lapis kedua (armour)/unit (ton), yr : berat jenibatu, ra : berat jenis air laut,
Tebal Lapis Pelindung	$t_1 = n K \Delta \left[\frac{W_A}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$	H : tinggi gelombang rencana, θ : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang, n : Jumlah susunan butir batu lapis pelindung,
Perhitungan Diameter Batu	$D = K \Delta \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$	Sr : Specific gravity t : Tebal lapis pelindung n : jumlah lapis batu pelindung kA : Koefisien bentuk D : Diameter batu B : Lebar mercu
Lebar Bangunan Jetty	$B = n K \Delta \left[\frac{W_A}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$	

2.4 Delft3D

2.4.1 Delft3D-Flow

Modul Flow pada Delft3D adalah multi-dimensi 2D dan 3D hidrodinamik yang mensimulasikan program untuk menghitung fenomena aliran yang dinamis karena pasang surut dan meteorologis. Persamaan pengatur model hidrodinamika 2D di dalam modul flow model diatur berdasarkan persamaan kontinuitas dan momentum di dalam sumbu $-x$ dan $-y$ berturut-turut di dalam grid curvilinier (Lesser, et al., 2004).

a. Persamaan momentum dalam arah horizontal

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{uv \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \quad \text{.....(4a)}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{uv \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{V^2 \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \quad \text{.....(4b)}$$

b. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G\eta\eta}]}{\partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G\zeta\zeta}]}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad \text{.....(5)}$$

Dengan U dan V dirata-ratakan terhadap kedalaman:

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad \text{.....(6a)}$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad \text{.....(6b)}$$

Dimana Q menunjukan faktor per unit area:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad \dots(7)$$

Keterangan:

- $\sqrt{G\zeta\zeta}$ = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m),
- $\sqrt{G\eta\eta}$ = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m),
- G = percepatan gravitasi (m/s^2),
- $M\zeta$ = sumber/keluaran momentum dalam arah X/ζ (kg m/s),
- $M\eta$ = sumber/keluaran momentum dalam arah Y/η (kg m/s),
- U = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah X/ζ (m/s),
- u = kecepatan aliran dalam tanah X/ζ (m/s),
- V = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah Y/η (m/s),
- ω = frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen Fourier,
- ζ = elevasi muka air (m).

2.3.2 Delft3D-Wave

Delft3D-WAVE adalah sistem bagian dari Delft3D yang berfungsi untuk mensimulasikan perambatan gelombang yang dihasilkan di perairan pantai. Delft3D-WAVE juga dapat diterapkan di perairan dalam, menengah dan dangkal.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang menjadi obyek pada penelitian ini adalah Pantai Santolo yang berada di bagian selatan Jawa Barat. Santolo terletak pada $107^{\circ} 37'BT-107^{\circ} 46'BT$ dan $07^{\circ} 28'LS-07^{\circ} 40'LS$.



Gambar 1. Kondisi lokasi penelitian saat ini

Gambar 1 menunjukkan kondisi area studi saat ini, dimana jetty yang telah dibangun sepanjang 185 m harus dipotong menjadi 65 m dan dibuat alur kapal dengan lebar 15 m pada akhir tahun 2019 karena adanya tombolo yang menutup alur lalu lintas kapal yang seharusnya berada di ujung jetty. Garis biru adalah garis pantai di belakang struktur pada tahun 2011, garis merah adalah garis pantai pada tahun 2018, sedangkan garis kuning adalah garis pantai pada pertengahan tahun 2019. Pada akhir tahun 2019 sedimen sepenuhnya menutup alur kapal.

3.2 Model Setup

Grid yang digunakan pada pemodelan menggunakan Delft3D, yaitu panjang grid ± 2250 meter dengan lebar ± 1560 meter sebelah utara dan ± 1980 meter sebelah selatan dengan interval grid yaitu ± 30 meter. Simulasi pemodelan hidrodinamika dilakukan untuk musim barat dan musim timur, sedangkan pemodelan transpor sedimen dilakukan selama 1 tahun yaitu pada 1 Januari 2018 sampai dengan 31 desember 2018.

3.2.1. Model Input

a. Data batimetri

Peta batimetri yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Gebco yang memiliki resolusi sebesar 15 arc second atau setara dengan 450 m. Data ini kemudian di *re-gridding* sehingga resolusinya menjadi 30 m.

b. Data pasang surut

Data pasang surut yang diperoleh dari DELFT Dashboard yaitu data komponen pasang surut M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, Mf, Mm, M4, Ms4, dan Mn4 yang kemudian dimasukkan sebagai syarat batas pemodelan pada boundary model.

c. Data Angin.

Data angin dibutuhkan dalam penentuan distribusi arah angin dan kecepatan angin yang terjadi di lokasi. Data angin diperoleh dari ECMFW (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Data angin yang diambil yaitu data angin selama 10 tahun pada tanggal 1 januari 2010 sampai dengan 31 desember 2019.

d. Data Gelombang

Data gelombang yang digunakan berasal dari data gelombang hasil hindcasting dengan menggunakan data angin. Tinggi gelombang signifikan periode ulang 2, 5, 10, 15, 25, dan 50 tahun dihitung. Selanjutnya tinggi gelombang periode ulang 50 tahun dijadikan sebagai input nilai awal tinggi dan periode gelombang pada pemodelan dengan Delft3D-Wave, yaitu sebesar 1,32 m dengan periode 4,72 detik.

e. Data Debit Sungai

Data debit sungai yang digunakan berdasarkan data obeservasi pada penelitian yang dilakukan oleh Pratomo, dkk (2017). Pengukuran debit sungai dilakukan pada 2 buah stasiun yang berada di aliran Sungai Cilauteureun. Pada studi ini nilai debit sungai pada kedua stasiun selama waktu observasi dirata-ratakan kemudian dijadikan sebagai input pada pemodelan hidrodinamika. Nilai debit sungai yang diinput pada model yaitu sebesar $19,93 \text{ m}^3/\text{detik}$.

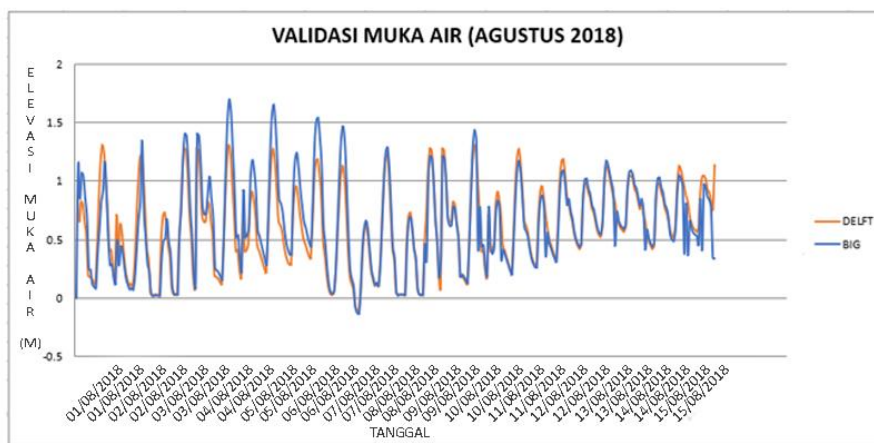
f. Data Sedimen.

Data sedimen yang digunakan yaitu data observasi pada penelitian yang dilakukan oleh Pratomo, dkk (2017). Pengukuran laju sedimentasi di tujuh stasiun di sekitar muara dilakukan Sungai Cilauteureun. Pada studi ini nilai laju sedimentasi pada ke-tujuh stasiun selama waktu observasi dirata-ratakan kemudian dijadikan sebagai input pada pemodelan transpor sedimen. Nilai laju sedimentasi yang diinput kedalam model yaitu sebesar $0.4648 \text{ kg/m}^3/\text{jam}$.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Pemodelan

Hasil simulasi pemodelan dengan menggunakan Delft3D-FLOW terlebih dahulu diverifikasi dengan menggunakan data observasi dari Badan Informasi Geospasial (BIG) selama 15 hari yaitu tanggal 1 Agustus 2018 sampai 15 Agustus 2018. Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan elevasi muka air laut hasil model dan data observasi dari BIG.

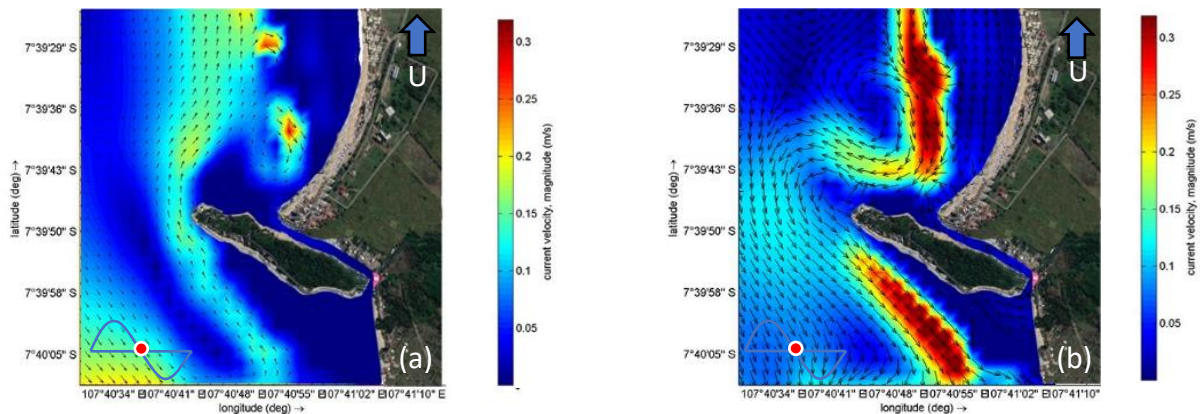


Gambar 2. Perbandingan Elevasi Muka Air Hasil Pemodelan dengan Data BIG

Pada grafik terlihat adanya perbedaan ketinggian muka air hasil model dengan data dari BIG yaitu sekitar 10 sampai 30 cm pada beberapa waktu. Namun dari hasil perbandingan tersebut dapat dikatakan hasil model sudah sesuai dengan kondisi lapangan dan model tervalidasi dengan cukup baik.

4.3 Hasil Pemodelan Hidrodinamika

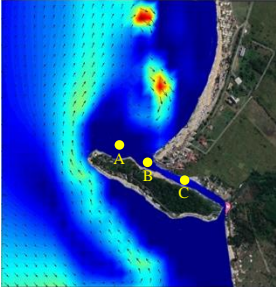
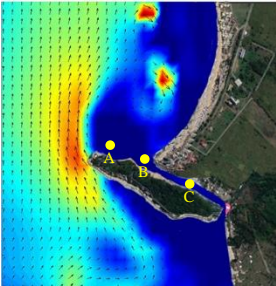
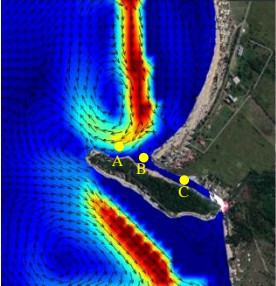
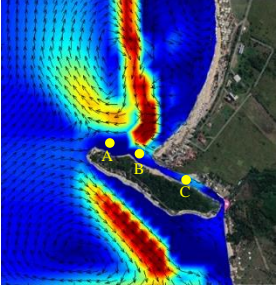
Pemodelan hidrodinamika pada penelitian ini dilihat dari dua kondisi, yaitu pada saat kondisi musim barat yang diwakili oleh bulan Januari dan pada saat kondisi musim timur yang diwakili oleh bulan Agustus. Terlihat pada Gambar 3, kecepatan arus di mulut muara sungai berkisar antara 0 – 0,1 m/s. Kecepatan arus saat musim barat di sekitar muara Sungai Cilauteureun terutama di bagian mulutnya lebih besar dibandingkan saat musim timur. Saat musim timur kecepatan arus di muara sungai mencapai 0,1 m/s. Kecepatan arus ini relatif kecil sehingga memungkinkan sedimen di lokasi tersebut terendapkan dan menyebabkan terbentuknya tombolo di sekitar bagian ujung jetty.



Gambar 3. Kecepatan arus kondisi pasang menuju surut saat musim timur (a) dan saat musim barat (b)

Analisis perbandingan kecepatan arus ditinjau pada kondisi pasang menuju surut dan pada kondisi surut menuju pasang di tiga buah titik, yaitu titik A , titik B, dan titik C pada musim barat dan musim timur. Ketiga titik tersebut berada di lajur lalu lintas pelayaran kapal nelayan di sekitaran mulut muara Sungai Cilauteureun. Perbandingan nilai kecepatan arus dapat dilihat pada Tabel 2. Kecepatan arus rata-rata saat musim timur pada titik A yaitu 0,045 m/s, sedangkan pada titik B yaitu 0,0135 m/s, dan pada titik C yaitu 0,0045 m/s. Sementara kecepatan arus rata-rata saat musim barat pada titik A yaitu 0,125 m/s, sedangkan pada titik B yaitu 0,75 m/s, dan pada titik C yaitu 0,0035 m/s. Dapat dilihat dari kecepatan arus pada ketiga titik tersebut yang relatif kecil menyebabkan jumlah sedimen yang terbawa oleh arus pun menjadi sedikit sehingga menyebabkan sedimen terendapkan di lajur lalu lintas pelayaran kapal nelayan di sekitaran mulut muara Sungai Cilauteureun yang menyebabkan terjadinya tombolo pada mulut muara sungai.

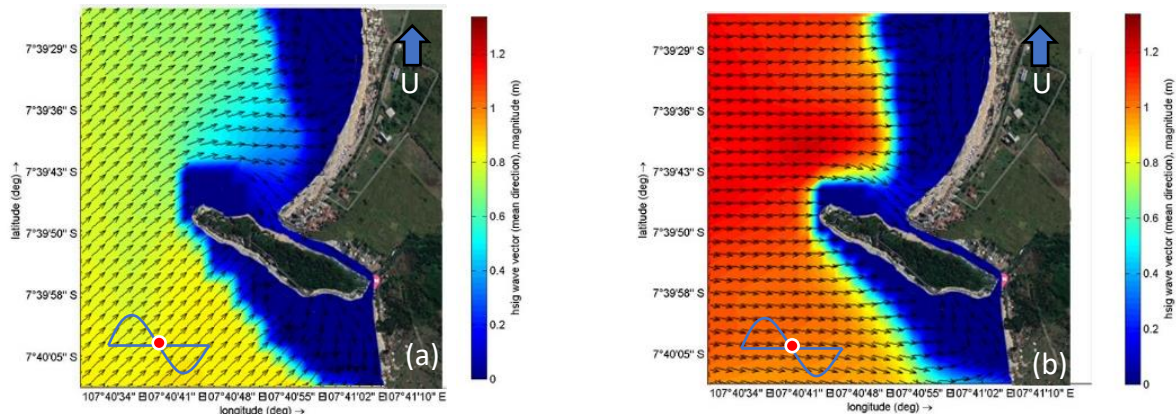
Tabel 2. Perbandingan Tinggi Gelombang pada Titik A, titik B, dan titik C pada Kondisi Pasang Menuju Surut dan Kondisi Surut Menuju Pasang

Model	Kondisi Pasut	Kecepatan Arus di Titik A (m/s)	Kecepatan Arus di Titik B (m/s)	Kecepatan Arus di Titik C (m/s)
	Pasang menuju surut (musim timur)	0,048	0,014	0,006
	Surut menuju pasang (musim timur)	0,042	0,013	0,003
	Pasang menuju surut (musim barat)	0,14	0,07	0,002
	Surut menuju pasang (musim barat)	0,11	0,08	0,005

4.4 Hasil Pemodelan Gelombang

Sama halnya seperti pemodelan hidrodinamika, pemodelan gelombang pada studi ini pun dilihat dari dua kondisi, yaitu pada yaitu pada saat kondisi musim barat yang diwakili oleh bulan Januari dan pada saat kondisi musim timur yang diwakili oleh bulan Agustus. Pada

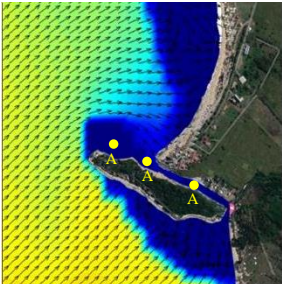
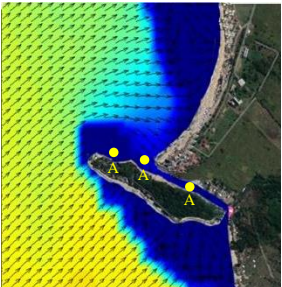
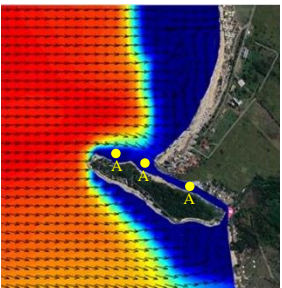
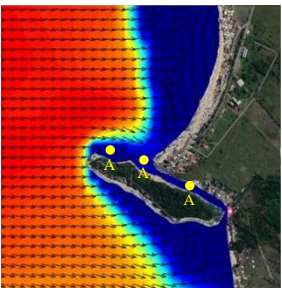
Gambar 4 terlihat adanya refraksi gelombang baik pada musim barat maupun musim timur di mulut muara sungai Cilauteureun. Gelombang datang dari arah barat laut di muara sungai. Gelombang ini membawa sedimen dari laut dan kemudian terendapkan di area tersebut. Tinggi gelombang saat musim barat cenderung lebih tinggi dibandingkan saat musim timur. Hal ini sesuai dengan pernyataan Jayanti (2009) dimana sebagian besar nelayan tidak melaut pada musim barat. Nelayan lebih banyak melaut pada musim timur karena kondisi perairan yang tenang. Tinggi gelombang di mulut muara sungai pada saat musim barat mencapai 1,2 m, sedangkan pada saat musim timur sebesar 0,4 m.



Gambar 4. Tinggi gelombang signifikan arus kondisi pasang menuju surut saat musim timur (a) dan saat musim barat (b)

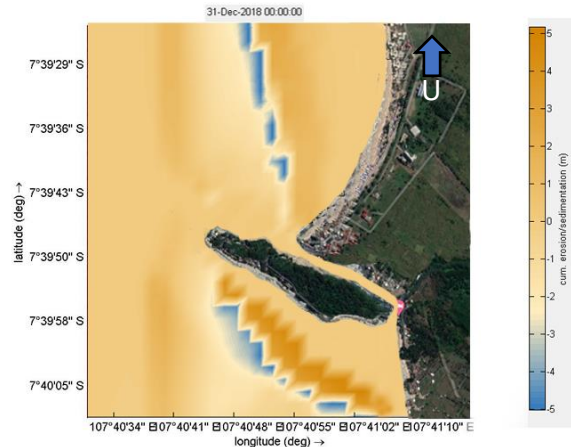
Analisis perbandingan tinggi gelombang ditinjau pada kondisi pasang menuju surut dan pada kondisi surut menuju pasang di tiga buah titik, yaitu titik A, titik B, dan titik C pada musim barat dan musim timur. Ketiga titik tersebut berada di lajur lalu lintas pelayaran kapal nelayan di sekitaran mulut muara Sungai Cilauteureun. Perbandingan nilai tinggi gelombang dapat dilihat pada Tabel 3. Tinggi gelombang rata-rata saat musim timur pada titik A yaitu 0,507 m, sedangkan pada titik B yaitu 0,220 m, dan pada titik C yaitu 0,097 m. Sementara kecepatan arus rata-rata saat musim barat pada titik A yaitu 1,218 m, sedangkan pada titik B yaitu 0,437 m, dan pada titik C yaitu 0,260 m. Dapat dilihat dari tinggi gelombang pada ketiga titik tersebut, hasil ini juga sesuai dengan pernyataan Jayanti (2009) dimana sebagian besar nelayan tidak melaut pada musim barat. Nelayan lebih banyak melaut pada musim timur karena kondisi mulut muara sungai yang tinggi gelombang nya relatif lebih kecil pada musim tersebut.

Tabel 3. Perbandingan Tinggi Gelombang pada Titik A, titik B, dan titik C pada Kondisi Pasang Menuju Surut dan Kondisi Surut Menuju Pasang

Model	Kondisi Pasut	Tinggi Gelombang di Titik A (m)	Tinggi Gelombang di Titik B (m)	Tinggi Gelombang di Titik C (m)
	Pasang menuju surut (musim timur)	0,521	0,232	0,105
	Surut menuju pasang (musim timur)	0,493	0,207	0,089
	Pasang menuju surut (musim barat)	1,152	0,402	0,237
	Surut menuju pasang (musim barat)	1,283	0,471	0,282

4.5 Hasil Pemodelan Erosi Dan Sedimentasi

Selain menghasilkan nilai tinggi gelombang, studi ini juga menghasilkan kondisi sedimentasi dan erosi yang terjadi di sekitaran pantai santolo. Dari hasil pemodelan simulasi erosi dan sedimentasi selama satu tahun sedimentasi yang terjadi di muara Sungai Cilauteureun mencapai 1 m. Hasil kumulatif sedimentasi dan erosi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kumulatif Erosi dan Sedimentasi (m) selama 1 tahun

4.6 Penanggulangan permasalahan sedimentasi dan perencanaan jetty

Solusi yang direkomendasikan untuk mengatasi permasalahan tersebut pada studi ini yaitu dibangun jetty didekat jetty eksisting peninggalan Belanda. *Sand by passing* juga dilakukan pada tombolo yang terbentuk di belakang jetty ke pantai yang terlihat mengalami erosi. Pada studi ini, tipe jetty yang direncanakan yaitu jetty tipe rubble mound. Adapun perhitungan desain jetty mencakup perhitungan kedalaman minimum, perhitungan lebar alur pelayaran minimum, perhitungan elevasi mercu, perhitungan panjang jetty, dan perhitungan dimensi armor.

Data kapal yang digunakan pada perhitungan perencanaan jetty ini yaitu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jayanti (2009). Kapal yang ada di muara Sungai Cilauteureun sebagian besar adalah kapal jenis kapal motor tempel berkatur dengan panjang kapal berkisar 9-10 meter, lebar kapal 1-1,8 meter, draft kapal antara 0,5-0,8 meter, dan lebar katir $\pm 1,5$ meter. Pada studi ini lebar kapal diasumsikan sebesar 4,8 m.

Selain data kapal, pada perencanaan jetty diperlukan juga data-data hidroceanografi, dimana data-data ini didapatkan dari hasil pemodelan yang telah dilakukan sebelumnya.

4.6.1. Kedalaman minimum dan lebar alur pelayaran minimum

(a) Kedalaman alur menurut rumus Nur Yuwono :

$$EL_{bed} = LLWL - dn$$

$$dn = df + gl + rb$$

$$df = 0,8 \text{ m}$$

$$gl + rb \text{ bisa diambil } 50\%(df)$$

$$50\% \times (0,8) = 0,4 \text{ m}$$

$$dn = 0,8 + 0,4 = 1,2$$

$$EL_{bed} = 0.049 + 1,2 = 1,249 \text{ m}$$

Maka kedalaman alur $> 1,249 \text{ m}$ di bawah LLWL

(b) Lebar alur untuk lalu lintas 2 jalur menurut rumus *Bruun* :

$$b = 7,6B$$

$$b = 7,6 \times (1,8 + 1,5 + 1,5) = 36,48 \approx 37 \text{ m}$$

Maka lebar alur untuk lalu lintas 2 jalur $> 37 \text{ m}$

4.6.2. Panjang Jetty

Pangkal jetty direncanakan ditempatkan pada ujung jetty eksisting peninggalan Belanda yang terletak di bagian ujung barat Pulau Santolo. Untuk meredam gelombang refraksi dari arah

barat laut maka ujung jetty ditempatkan pada arah 67° dengan jarak 120 m dari pangkal jetty, sehingga terdapat celah antara ujung jetty yang direncanakan dengan sisa potongan jetty eksisting sebesar 60 meter untuk alur lalulintas kapal.

4.6.3. Elevasi Mercu

Elevasi mercu dihitung pada bagian pangkal jetty dan juga pada bagian ujung/kepala jetty dengan perhitungan sebagai berikut:

(a) Bagian Pangkal

$$EL_{\text{mercu}} = HHWL + R$$

$$El_{\text{mercu}} = 1,3584 + 1,00 = 2,3584 \text{ m}$$

(b) Bagian Kepala

$$EL_{\text{mercu}} = HHWL + R$$

$$El_{\text{mercu}} = 1,3584 + 1,50 = 2,8584 \text{ m}$$

4.6.4. Dimensi Armor dan Lapisan Pengisi

Perhitungan dimensi armor dan lapisan pengisi dilakukan untuk 2 buah bagian, yaitu bagian I yang merupakan struktur bagian kepala, dan bagian II yang merupakan struktur bagian badan. Tinggi gelombang di sekitar struktur didapatkan dari hasil pemodelan gelombang, dimana pada perhitungan ini besarnya tinggi gelombang di dekat struktur yang digunakan adalah sebesar 1,36 m di bagian badan dan 1,75 m di bagian kepala. Armor yang digunakan batu belah bulat kasar (batu pecah). Perhitungan berat butir batu (W), diameter batu (D), lebar mercu (B), dimensi lapisan kedua dan lapisan pengisi dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada Tabel 1. Hasil perhitungan dimensi armor dan lapisan pengisi untuk bagian I dan bagian II dapat dilihat pada Tabel 2. dan Tabel 3.

Tabel 4. Dimensi armor dan lapisan pengisi struktur bagian kepala (bagian I)
Struktur Bagian Kepala (Bagian I)

Hd	W	D	Lebar Mercu	W Lapis kedua	D	W Lapisan Pengisi	D
1,75 m	1300 Kg	0,8 m	3 m	130 Kg	0,6 m	6,5 kg	10-20 cm

Tabel 5. Dimensi armor dan lapisan pengisi struktur bagian badan (bagian II)
Struktur Bagian Badan (Bagian II)

Hd	W	D	B
1,36 m	600 Kg	0,6 m	3 m

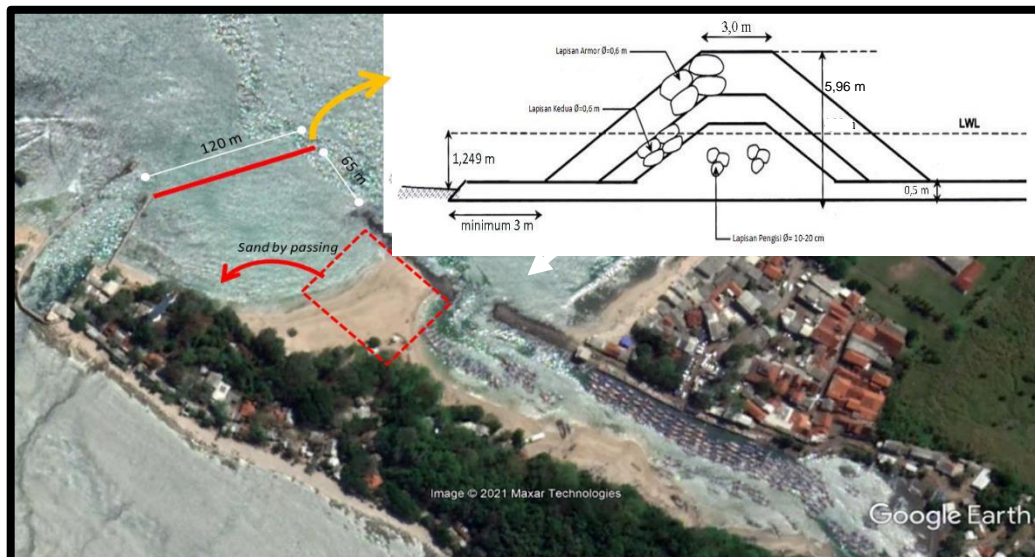
4.6.5. Runup, gerusan lokal dan total tinggi struktur

Pada saat gelombang menghantam suatu bangunan maka pada permukaan bangunan gelombang tersebut akan naik. Oleh karena itu tinggi suatu bangunan harus memperhitungkan besarnya tinggi rayapan/runup (Ru). Untuk menghitung besar rayapan pada bangunan digunakan fungsi bilangan irribaren.

Tabel 6. Tinggi runup, gerusan lokal dan total tinggi struktur

Ru	Gerusan Lokal	Tinggi struktur total	Tinggi struktur berdasarkan kedalaman alur
1,93 m	0,35 m	5,96 m	4,99 m

Selain itu, bangunan jetty juga harus aman dari gerusan lokal. Gerusan lokal pada perencanaan jetty ini diasumsikan hanya gerusan yang diakibatkan oleh hempasan gelombang. Koefisien gerusan yang digunakan yaitu sebesar 0,5. Selanjutnya, tinggi struktur total dihitung berdasarkan besarnya cadangan penurunan struktur, tinggi rayapan, beda pasang surut, kedalaman air saat LLWL, dan gerusan lokal. Cadangan untuk kemungkinan penurunan struktur diambil 0,5 m. Hasil perhitungan tinggi runup, gerusan lokal dan total tinggi struktur dapat dilihat pada Tabel 4. Layout penempatan jetty dan penampang melintang jetty bagian kepala ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Layout penempatan jetty dan penampang melintang jetty bagian kepala

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil pemodelan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Refraksi gelombang yang terjadi di Pantai Santolo dan mulut muara Sungai Cilauteureun membawa sedimen dari laut dan kemudian sedimen tersebut terendapkan di area tersebut karena kecepatan arus yang relatif rendah yaitu sekitar 0-0,1 m/s baik pada musim barat maupun musim timur.
2. Rekomendasi penanggulangan terhadap permasalahan penumpukan sedimen di mulut muara sungai yang ada saat ini yaitu dengan menggunakan bangunan pelindung pantai berupa jetty tipe rubble mound sepanjang 120 m dengan ujung jetty menghadap sudut 67° yang ditempatkan pada ujung jetty eksisting peninggalan Belanda yang berada di bagian ujung barat Pulau Santolo. Sand by passing juga dilakukan pada tombolo yang saat ini terdapat di belakang jetty eksisting yang terpotong.
3. Jetty direncanakan dibangun tegak lurus pantai, dengan berat butir batu pelindung bagian kepala 1300 Kg, berat butir batu pelindung bagian badan 600 Kg, lebar mercu 3 m, diameter batu pelindung bagian kepala 0,8 m, diameter batu pelindung bagian badan 0,6 m, tinggi struktur total 5,96 m.

DAFTAR RUJUKAN

- Deltares. (2014). Delft3D-Flow, Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments, *User Manual*, Version 3.15.34158, May 2014, 684 pp
- Jayanti, P.D. dan Wiyono, E.S. (2009). Pola Usaha Perikanan Tangkap di PPP Cilauteureun Kabupaten Garut, Jawa Barat. *Skripsi Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*. IPB (Bogor Agricultural Technology).
- Lesser, G. R., Roelvink, J. A., van Kester, J. A. T. M., & Stelling, G. S. (2004). Development And Validation Of A Three Dimensional Morphological Model. *Journal of Coastal Engineering*, 51, 883-915.
- Pratomo, F. K., Hariadi, H., & Widada, S. (2017). Analisa Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Cilauteureun Garut. *Journal of Oceanography*, 6(1), 54-60.
- Soedjana, K. (2002). Kajian Penanganan Masalah Sedimentasi Di Muara Sungai Cilauteureun, Kecamatan Cikelet Kabupaten Garut. *Tesis Magister Program Studi Teknik Sipil*. Institut Teknologi Bandung.
- Syamsudin, Yuwono, N., Hoedijatmoko, dan Riandini, F. (2004). Perbaikan Muara Sungai Dengan Jetty. Pedoman Konstruksi dan Bangunan. Badan Litbang PU Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Syamsudin, Yuwono, N. dan Azhar, R. M. (2005). Pedoman Perencanaan Jetty Tipe Rubble Mound Untuk Penanggulangan Penutupan Muara Sungai oleh Sedimen. Pedoman Konstruksi dan Bangunan. Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.