

STUDI TRANSPORTASI SEDIMEN PADA ALUR PELAYARAN DI MUARA SUNGAI DONAN, CILACAP - JAWA TENGAH

Asep Irwan^{1*}, Nita Yuanita²

Program Studi Magister Teknik Kelautan, FTSL ITB
Jalan Ganesha 10, Lebak Siliwangi, Cobleng, Lb. Siliwangi, Cobleng,
Kota Bandung, Jawa Barat 40132
*Email: asepirwan.marine@gmail.com

Abstrak

The purpose of this research is to model sediment deposition at a site on the waterway of the Donan River Estuary, Cilacap-Central Java. The research carried out in this thesis, aims to create a model to represent the hydrodynamics and sediment transport patterns prevalent at the site, using MIKE 21 Flow Model (FM) developed by DHI. The model is calibrated using the available data. The model is built using two scenarios, where the first scenario using existing bathymetry and the second one using the data after maintenance dredging -17 m LWS for big vessel in Donan River. Water depths and sediment patterns should be considered by the vessels that will use the navigation channel at a river mouth. Based on field observation and simulation results, the calibration of tidal has an 3.53% correlation while the river current correlation has 15.46%. Concentration and sedimentation rate will be analysis to bed level change and sludge of sedimentation volume with cross section calculation. Sedimentation rate from simulation along one year is 0 - 0.0006 m/day so 0.219 m/year or 21.9 cm/year. Where, the result of sediment deposition using first scenario is 227,912.00 m³/year and second scenario is 225,216.60 m³/year with observation data average/year that is 217,321.756 m³/year, so result of the model equal to the actual situation in field data. It can be concluded that maintenance dredging plan in location every five year is needed to support draft full vessels available capacity 115,000 DWT with water depth – 17 m LWS and waterway width 130 m.

Keyword : deposition, maintenance dredging, sedimentation, waterway

PENDAHULUAN

Perairan muara Sungai Donan memiliki fungsi sebagai jalur transportasi laut di Kabupaten Cilacap. Data kapal terbesar yang masuk ke dalam alur pelayaran muara Sungai Donan yaitu kapal *cargo* dengan kapasitas 115.000 DWT milik PT. PERTAMINA (Persero) dimana kedalaman yang dibutuhkan yaitu -17 m LWS dengan lebar alur 130 m. Didapatkan data kedalaman perairan sungai Donan tahun 2014 berkisar antara -15.5 s.d -16.5 m LWS (Hasil Survey PT. PERTAMINA), sehingga berdasarkan data tersebut diperlukan kewaspadaan kebutuhan *draft full* kapal terhadap kedalaman eksisting untuk mencegah terjadinya kapal kandas atau karam. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan sedimentasi pada alur pelayaran di Muara Sungai Donan untuk mengetahui pola dan besar sedimentasi yang terjadi pada alur tersebut dengan menggunakan software MIKE 21 dengan dilakukan pada 2 skenario yaitu skenario 1 dengan menggunakan peta batimetri hasil survey dan skenario 2 dengan menggunakan peta batimetri dengan asumsi setelah dilakukan pengerukan dimana target kedalaman -17 mLWS. Kemudian setelah mendapatkan hasil pemodelan sedimentasi tahap selanjutnya melakukan perhitungan volume endapan sedimen untuk tujuannya adalah estimasi rencana pemeliharaan alur pelayaran (*maintenance dredging*) dengan berdasarkan nilai volume endapan sedimen yang didapatkan.

METODE PENELITIAN

Pemodelan ini dibangun melalui model matematik secara numerik, dimana persamaan dasar pada model hidrodinamika adalah persamaan kekekalan massa dan kekekalan momentum. Persamaan-persamaan ini nantinya diintegrasikan terhadap kedalaman untuk mengubah persamaan dari tiga dimensi menjadi dua dimensi. Model ini mensimulasi aliran dua dimensi tidak langgeng dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen) yang sudah terdapat dalam menu MIKE 21. Persamaan berikut, konservasi massa dan momentum, menggambarkan aliran dan perbedaan muka air :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial y}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial x}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \quad (3)$$

Dengan :

- h (x,y,z) = kedalaman air
d (x,y,z) = kedalaman air dalam berbagai waktu (m)
 ζ (x,y,z) = Elevasi permukaan (m)
p, q = Flux density dalam arah x dan y ($m^3/s/m$) = (uh,vh); (u,v) = depth averaged velocity dalam arah x dan y
 p_a (x, y, z) = Tekanan atmosfer (kg/m^2)
 ρ_w = Berat jenis air (kg/m^3)
x,y = Koordinat ruang (m)
C(x,y) = Tahanan Chezy ($m^{1/2}/s$)
g = percepatan gravitasi bumi = 9.81 (m/s^2)
f(V) = Faktor gesekan angin
 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = Komponen effective shear stress

Kemudian untuk menghitung hasil dari pergerakan material kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam modul hidrodinamik. Persamaan pengatur yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+a-e^z)}{e^z(z-1)+1} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 + z^2 U_{f0}^2} U_0 \cos \gamma}{e^z(z-1)+1} \quad (4)$$

Dimana :

- K = Konstanta Von Karman
t = waktu
z = Parameter tebal boundary layer
 U_0 = Kecepatan orbit dasar gelombang terdekat
 U_{f0} = Kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang
k = kekasaran dasar permukaan
 d_{50} = rata ukuran diameter
 k_R = Ripple yang berkaitan dengan kekasaran

Konfigurasi Model

Dalam pemodelan ini akan dilakukan 2 buah skenario model dengan waktu simulasi pemodelan dalam 1 tahun mulai dari 1 Jan 2014 s.d 31 Des 2014) dimana :

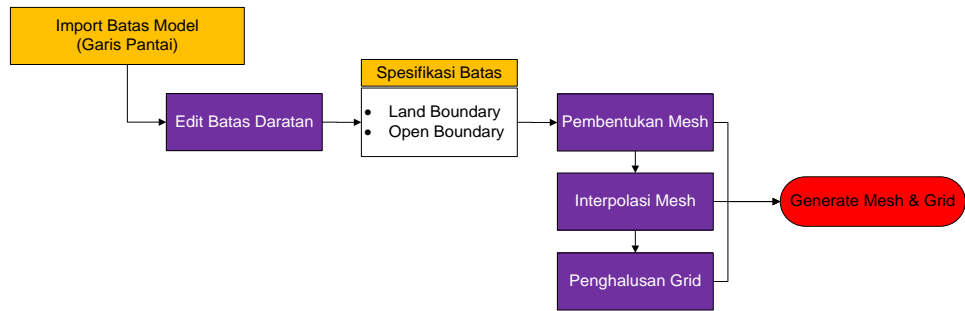
a. Skenario 1 :

Dimana pemodelan skenario 1 menggunakan data batimetri eksisting hasil pengukuran dan digunakan sebagai kalibrasi dan verifikasi model.

b. Skenario 2 :

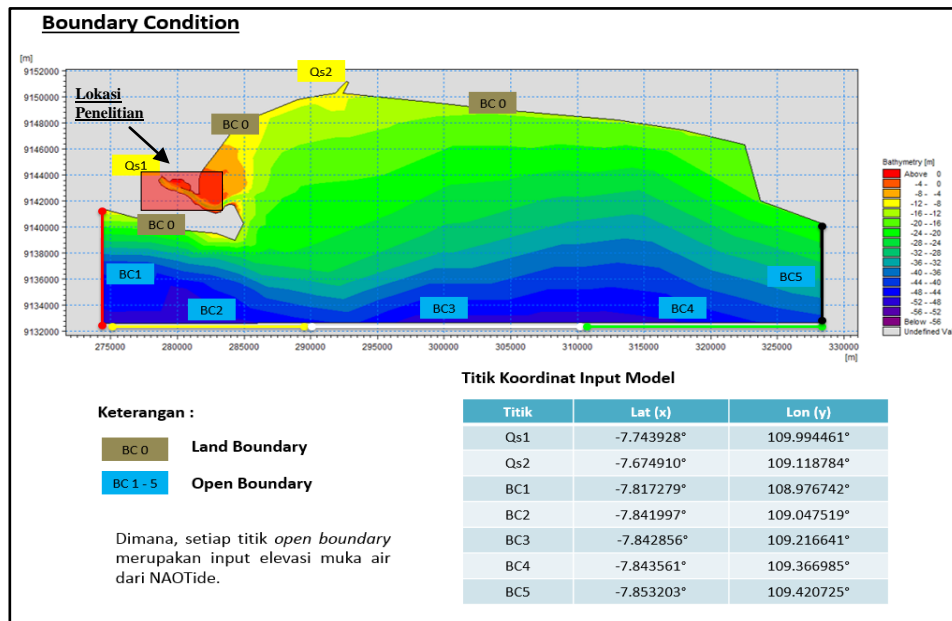
Dimana pemodelan skenario 2 menggunakan data Batimetri setelah dilakukan pengerukan dengan kedalaman -17 m LWS khusus pada jalur alur pelayarannya saja.

Tahap-tahap dalam pembentukan mesh model :



Gambar 1. Generate Mesh Model

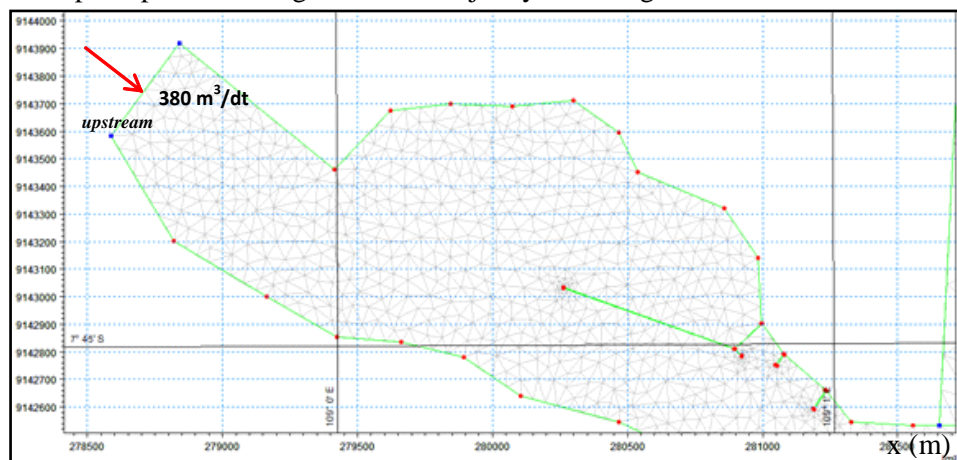
Dimana, syarat batas yang digunakan dalam pemodelan baik untuk skenario 1 maupun skenario 2 dimulai dari bagian Utara, Barat, Selatan dan Timur. Masing-masing kondisi syarat batas dapat dilihat pada gambar 2 berikut :



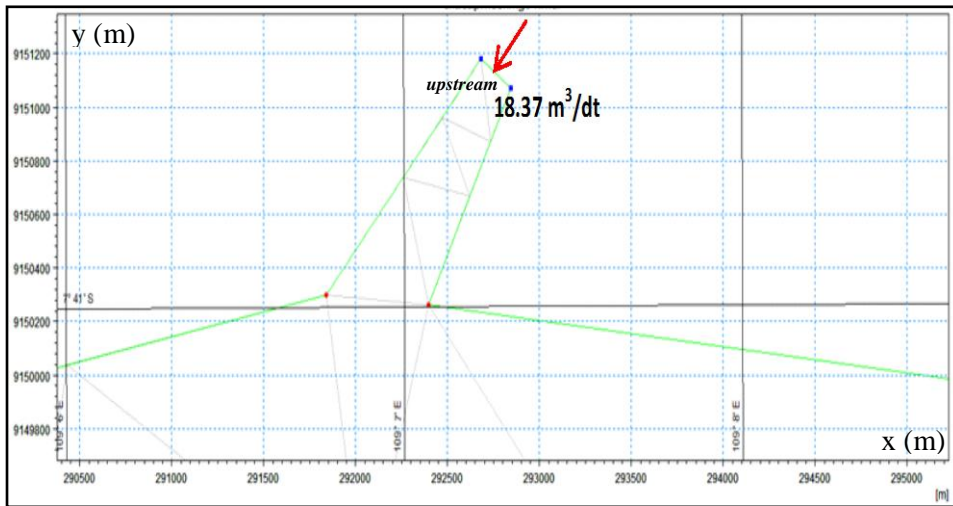
Gambar 2. Syarat Batas Model

Input Data Debit Sungai

Terdapat input debit sungai di lokasi kajian yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. Input Data Debit Sungai Donan



Gambar 4. Input Data Debit Sungai di Luar Muara Sungai Donan

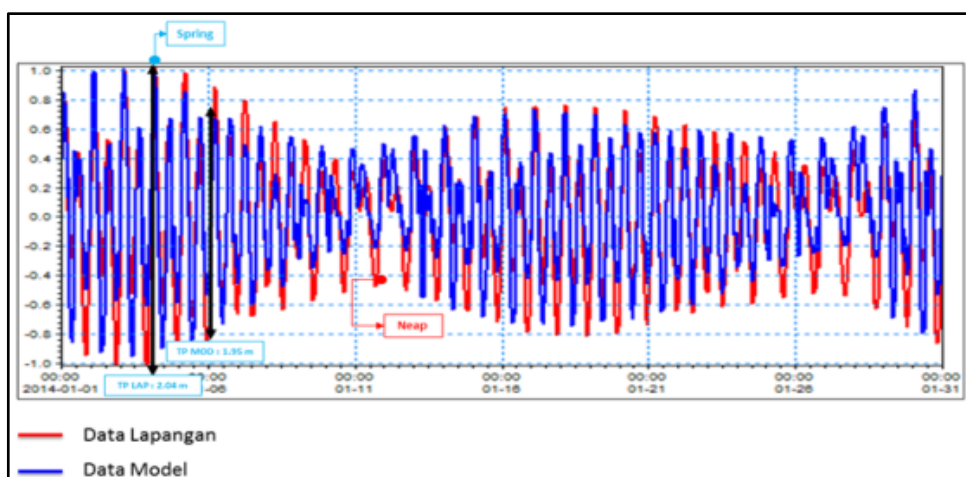
Data debit sungai didapatkan dari PSDA Jawa Tengah dengan rata-rata debit maksimum di tahun 2014.

Tabel 1. Set-up Model Sand Transport

Parameter	Value
ST: Model Type	Hydrodynamic HD
ST: Sediment Properties	Porosity : 0.4 Grain Diameter : d50=0.2 mm Relative density : 2.65
ST: Bed Resistance	Chezy number : 44
ST: Morphology	Include Feedback on hydrodynamic
ST: Boundaries	Zero sediment flux gradient
ST : OUTPUT	ST : AreaST.dsfu

Kalibrasi dan Verifikasi Model

Kalibrasi & verifikasi Model dilakukan pada model hidrodinamika dan sedimentasi dengan membandingkan hasil simulasi dengan data lapangan.



Gambar 5. Tinggi Muka Air Lapangan dengan Pemodelan

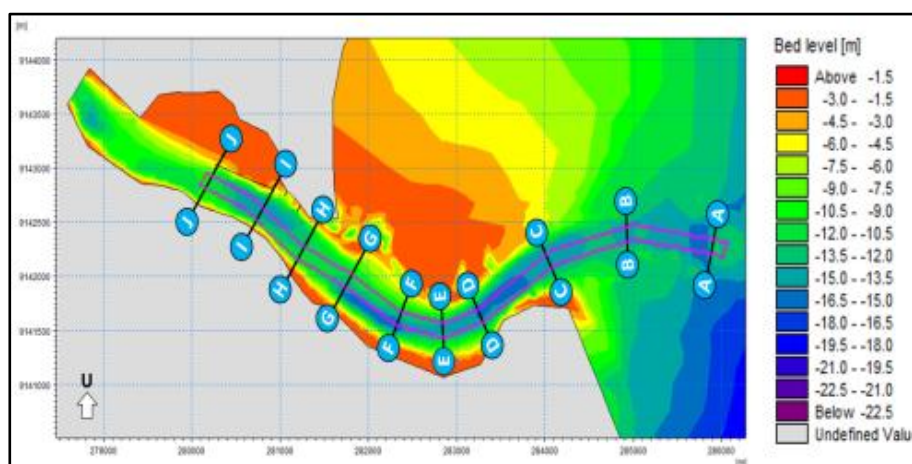
Didapatkan nilai tunggang pasut untuk data lapangan didapatkan 2.04 m sedangkan untuk hasil pemodelan didapatkan tunggang pasut 1.95 m. Sehingga menunjukkan fasa pasang surut yang cenderung tidak ada perbedaan yang signifikan. Dapat disimpulkan bahwa pada lokasi titik

pengamatan pasang surut pergerakan massa air masih dipengaruhi oleh massa air yang bergerak dari laut menuju sungai Donan. Kecepatan arus di area lokasi penelitian berkisar antara 0.11 m/s sampai dengan 0.55 m/s dimana pergerakan arus yang terjadi lebih besar dapat diakibatkan adanya penyempitan area perairan di lokasi kajian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perbandingan simulasi pemodelan hidrodinamika dan sedimentasi pada dua skenario didapatkan hasil model hidrodinamika yang tidak terlalu jauh antara skenario 1 dan 2 begitu juga hasil pemodelan sedimentasi. Perbedaan hanya terlihat pada pola perubahan pola distribusi arus yaitu pada skenario 1 dominan arah arus dari tenggara dan timur laut dan skenario 2 dominan arah arus dari tenggara dan timur. Kemudian untuk hasil perhitungan volume endapan sedimen dilakukan dengan menggunakan perhitungan *section*. Berdasarkan Van Rijn (2004) terjadinya peningkatan sedimentasi dapat diakibatkan adanya faktor-faktor dinamika perairan di area lokasi seperti halnya aktivitas di sekitar lokasi, pola dan kecepatan arus atau debit, musim serta banjir. Perhitungan Volume Sedimentasi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\sum \left(\frac{\text{LuasPenampang}_n + \text{LuasPenampang}_{n+1}}{2} \right) \times \text{PanjangAlur} \quad (5)$$



Gambar 6. Section A-A s.d J-J untuk Pengamatan *Bed Level Change*

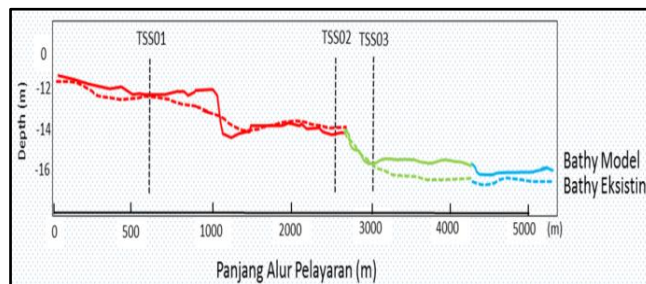
Tabel 2. Rekapitulasi Volume Sedimentasi (Skenario 1)

No	Potongan	Luas Penampang (m ²)	Panjang Alur (m)	Tebal Endapan (m)	Total Sedimentasi (m ³)
1	A-A	20.69	1042.93	0.18	-
2	B-B	17.84	932.05	0.29	20,092.05
3	C-C	23.78	949.92	0.28	19,395.96
4	D-D	25.42	384.97	0.25	23,368.03
5	E-E	27.14	534.53	0.23	10,117.01
6	F-F	31.26	651.66	0.45	15,608.28
7	G-G	36.48	605.62	1.13	22,071.72
8	H-H	76.1	733.81	0.39	34,090.35
9	I-I	64.29	493.32	0.42	51,509.79
10	J-J	64.06	-	0.62	31,658.81
TOTAL					227,912.00

Tabel 3. Rekapitulasi Volume Sedimentasi (Skenario 2)

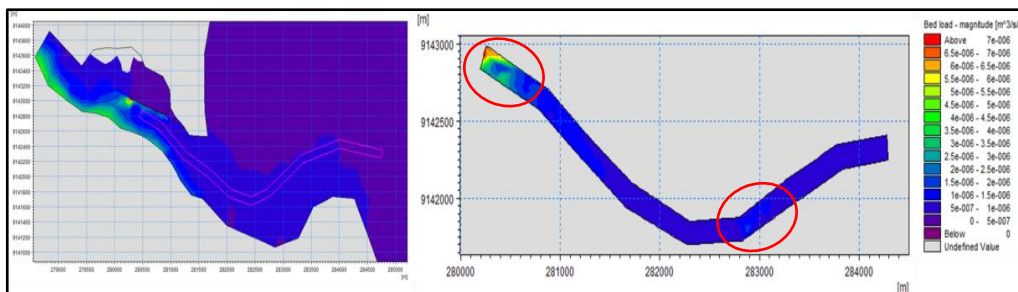
No	Potongan	Luas Penampang (m ²)	Panjang Alur (m)	Tebal Endapan (m)	Total Sedimentasi (m ³)
1	A-A	8.87	1042.93	0.4	-
2	B-B	15.75	932.05	0.28	12,838.47
3	C-C	14.44	949.92	0.39	14,069.29
4	D-D	20.2	384.97	0.35	16,452.61
5	E-E	38.64	534.53	0.35	11,325.82
6	F-F	59.46	651.66	0.46	26,218.70
7	G-G	62.27	605.62	0.4	39,663.29
8	H-H	52.3	733.81	0.33	34,692.94
9	I-I	57.96	493.32	0.37	40,454.95
10	J-J	61.64	1071.63	0.48	29,500.54
				TOTAL	225,216.60

Berdasarkan perhitungan volume endapan sedimen pada skenario 1 dan 2 didapatkan kesimpulan bahwa volume endapan sedimen yang terjadi di lokasi kajian menunjukkan peningkatan namun tidak terlalu signifikan. Perbedaan antara volume endapan sedimen skenario 1 lebih besar daripada skenario 2, hal ini terjadi karena perbedaan data batimetri awal yang digunakan sehingga mempengaruhi terhadap perubahan dinamika perairan. Selanjutnya analisa dilanjutkan pada analisa topografi untuk melihat profil dari kedalaman di alur pelayaran sungai. Analisis topografi diambil salah satu dari skenario yang dilakukan yaitu skenario 2 yang memiliki nilai perbandingan error terkecil dengan hasil data pengerukan lapangan sebesar 4%. Perbandingan dilakukan dengan membandingkan nilai *bed level* awal dan akhir pada nilai chezy 44 dimana hasil tersebut menunjukkan semakin besar nilai chezy maka nilai *error* nya pun semakin meningkat. Hal ini disebabkan terjadinya perbedaan kekasaran dasar perairan.



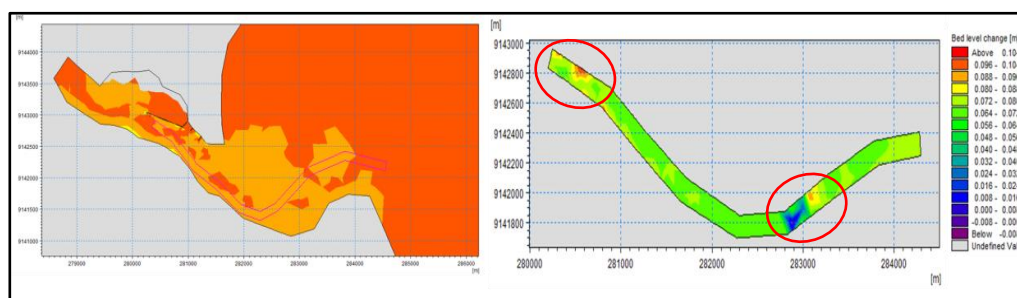
Gambar 7. Potongan Melintang Pengamatan Bed Level

Selama simulasi 1 (satu) tahun perubahan topografi akhir didapatkan seperti pada gambar 4, dimana pada alur pelayaran pada area kolam pelabuhan (garis merah) kedalaman didapatkan kisaran -14 s/d -18 m LWS. Semakin ke luar alur pelayaran muara sungai Donan Cilacap Jawa Tengah kedalaman semakin dalam. Pada daerah TSS01 kedalaman kisaran -12.8 m LWS, TSS02 didapatkan nilai kedalaman di area tersebut adalah 14.5 m LWS kemudian untuk TSS03 kedalaman perairan lebih dalam yaitu -16 m LWS. Maka dari hasil simulasi adanya perubahan batimetri selama 1 (satu) tahun dengan perubahan 0 – 0.0006 m/day yaitu 0.219 m/th atau 21.9 cm/th.



Gambar 8. Analisis High Spot Sedimentation Rate

High Spot terjadi pada area kolam pelabuhan yang terdapat di dalam alur sungai Donan dan pada lekukan belokan alur pelayaran di muara sungai Donan (lingkaran merah). Kemudian untuk perubahan kedalamannya yaitu sebagai berikut :



Gambar 9. Analisis High Spot Bed Level Change

Perubahan batimetri terlihat sama memiliki lokasi *high spot* dengan *sediment rate* hal ini dapat dikatakan bahwa pada daerah tersebut memang terjadi pendangkalan akibat sedimentasi. Dimana nilai *bed thickness* berkisar 0.0006 m/day yaitu 0.219 m/th atau 21.9 cm/th selama 1 tahun (Jan-Des 2014).

Perencanaan *maintenance dredging* dilakukan dengan tahap kesesuaian kebutuhan design kapal yang masuk ke area alur pelayaran Sungai Donan. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan referensi dari OCDI dan PIANC didapatkan lebar *channel* 130 m dan kebutuhan kedalaman -17 mLWS. Dimana data volume pengerukan dalam penelitian ini dengan menggunakan data hasil perhitungan volume endapan sedimen pada skenario 2 yaitu 225,216.60 m³ (Simulasi 1 Tahun: Jan-Des 2014) diasumsikan hasil data tersebut dikalikan selama 5 tahun yaitu menjadi 1,126,083 m³.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi pemodelan HD & ST untuk skenario 1 & 2 didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Kalibrasi hasil pemodelan HD yaitu Elevasi Muka Air (EMA) diperoleh parameter chezy number 32 yang memiliki nilai error terkecil yaitu 3.53%. Kalibrasi hasil pemodelan ST didapatkan nilai error cukup tinggi yaitu untuk TSS01 didapat nilai error 15.69% serta TSS02 didapat 39.58% dan TSS03 didapat 38.13%.
- 2) Hasil akhir volume endapan sedimen hasil simulasi skenario 1 yaitu 227,912.00 m³/th dan skenario 2 sebesar 225,216.60 m³/th dengan data observasi rata-rata pertahun 217,321.756 m³/th dapat dikatakan sesuai dengan keadaan sebenarnya di lapangan.
- 3) Laju perubahan sedimentasi di area alur pelayaran muara Sungai Donan didapatkan kisaran perubahan 0 – 0.0006 m/day yaitu 0.219 m/th atau 21.9 cm/th.
- 4) Rencana *Maintenance Dredging* berdasarkan volume endapan sedimen 217,321.756 m³/th dikalikan menjadi 5 (lima) tahun menjadi 1,126,083 m³.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2014. Port Information PT PERTAMINA (Persero) Cilacap.
DHI Water & Environment, 2012. *MIKE 21 FM Sand Transport: Scientific Document*. New York.
DHI Water & Environment. 2012. *MIKE 21 FM Hydrodynamic: Scientific Document*. New York.
Leo C. VAN RIJN, 2004. *Estuarine and Coastal Sedimentation Problems*.
PIANC, 2014. Harbour Approach Channels – Design Guidelines, Report of PIANC-MARCOM WG 121, January 2014
PIANC, *Approach Channels, a Guide for Design, Final Report of the Joint Working Group PIANC-IAPH*, Supplement to Bulletin no 95, (June 1997).
The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), Technical Standards For Port And Harbour Facilities in Japan Daikousha Printing Co. Ltd., Tokyo Japan. 2002.