
ANALISIS PENGARUH PASANG SURUT TERHADAP SEBARAN MUATAN PADATAN TERSUSPENSI DI SEKITAR PERAIRAN MUARA SUNGAI WULAN, KABUPATEN DEMAK, JAWA TENGAH

Jefri Gunawan Manurung¹⁾, Agus Anugroho Dwi Suryoputro^{*} dan Hariadi^{*}

^{1*)}Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas DiponegoroJl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang – 50275. Telp/Fax (024) 7474698
Email: jgmanurung95@gmail.comagusmanugrohodwis@yahoo.comhariadimpi@yahoo.com

Abstrak

Sedimen tersuspensi yang mengalir dari hulu ke hilir menambah kandungan sedimen tersuspensi yang diterima di muara Sungai Wulan dan menyebabkan pendangkalan. Penelitian mengenai pola persebaran material padatan tersuspensi sangat perlu dilakukan, dengan mengetahui sebaran sedimen maka dapat dibuat suatu penanggulangan maupun tindakan pencegahan di daerah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pasang dan surut terhadap pola sebaran muatan padatan tersuspensi di sekitar perairan muara Sungai Wulan. Sampel air laut untuk analisis material padatan tersuspensi dilakukan mulai tanggal 10 - 19 Maret 2016 di laboratorium Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi surut menuju pasang di kedalaman 0,2d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun enam sebesar 129 mg/l dan terendah pada stasiun 18 sebesar 55 mg/l. Di kedalaman 0,6d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun empat yaitu sebesar 154 mg/l dan terendah pada stasiun 19 sebesar 87 mg/l. Di kedalaman 0,8d, konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun satu sebesar 156 mg/l dan terendah pada stasiun 18 sebesar 72 mg/l. Sedangkan pada kondisi pasang menuju surut di kedalaman 0,2d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun empat sebesar 130 mg/l dan terendah pada stasiun 20 sebesar 30 mg/l. Di kedalaman 0,6d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun empat sebesar 130 mg/l dan terendah pada stasiun 20 sebesar 43 mg/l. Di kedalaman 0,8d, konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun empat sebesar 144 mg/l dan terendah pada stasiun 18 sebesar 30 mg/l. Pola sebaran sedimen tersuspensi terjadi pada musim peralihan pertama di bulan Maret, sehingga sebaran sedimen suspensi bergerak dominan dari barat ke timur. Sedimen tersuspensi bergerak dominan menuju selatan pada kondisi surut menuju pasang dan dominan menuju barat daya pada kondisi pasang menuju surut.

Kata Kunci: Material Padatan Tersuspensi, Muara Sungai Wulan, Pasang Surut

Abstract

Suspended sediment that flowing from upstream to downstream adds the amount of suspended sediment loads in the Wulan River and to cause silting. Research on the distribution pattern of suspended solids material is very necessary, by knowing the distribution of sediment may use as a prevention and precaution in the area. The purpose of this study to analyze the influence of ups and downs to the distribution pattern of suspended solids in waters around the Wulan River. Samples started to be analyzed from March 10-19, 2016 at Environmental Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Diponegoro University. The results showed that at low tide conditions towards tide in depth of 0,2d, the value of the highest concentrations is in the station of sixth amounted to 129 mg/l and the lowest one at 18 by 55 mg/l. In the depths of 0,6d, the value of the highest concentrations is at the fourth of 154 mg/l and the lowest is located at 19 of 87 mg/l. In the depth of 0,8d, the highest concentration of SST is at station one of 156 mg / l and the lowest at station 18 by 72 mg/l. While the ebb tidal conditions in depth towards 0,2d, the value of the highest concentrations of MPT is located at fourth amounted to 130 mg/l and the lowest one at 20 by 30 mg / l. In the depths of 0,6d, the value of the highest concentrations of MPT is at the fourth station by 130 mg/l and the lowest at station 20 by 43 mg/l. In the depth of 0,8d, the highest concentration of SST is located at the fourth station of 144 mg/l and the lowest one at 18 by 30 mg/l. Suspended sediment distribution pattern occurs in the first transition of March, so the distribution of sediment suspension dominant moving from west coast to the east coast. The movement of suspended

sediment was dominant to the southbound at condition of ebb tide and headed toward to the southwest at the low tide.

Keywords: *Suspended Sediment Solids, Tides, Wulan River Estuary.*

1. Pendahuluan

Sungai Wulan adalah salah satu sungai yang ada di Kabupaten Demak dan digunakan sebagai saluran pembuangan utama (*main drain*). Berdasarkan data Balai PSDA Serang Lusi Juana (2010), Sungai Wulan menampung debit lepasan dari Pintu Wilalung sebesar (*flood way* $Q_{max} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$), sebelum mendapat *in-flow* dari Sungai Gelis, debit maksimal Sungai Wulan adalah sebesar (Q_{max}) = $840 \text{ m}^3/\text{s}$. Ketika Sungai Wulan mendapat pasokan air dari Sungai Gelis dengan debit sebesar $Q = 215 \text{ m}^3/\text{s}$, Sungai wulan harus menampung debit (Q_{max}) = $760 \text{ m}^3/\text{s}$. Kondisi yang demikian kompleks menyebabkan parahnya sistem saluran pembuangan yang ada di Sungai Wulan dan berdampak pada bagian hilir sungai yang mengarah ke laut. Adanya sedimentasi, berupa pasir halus dan campuran lumpur di aliran sungai tersebut menyebabkan munculnya material padatan tersuspensi di muara Sungai Wulan dan menyebabkan terganggunya aktivitas makhluk hidup di sekitar, termasuk para nelayan.

Material-material anorganik yang membentuk padatan tersuspensi berasal dari campuran-campuran berbagai macam pelarutan batuan, liat, lumpur, kuarsa dan berbagai mineral lainnya. Sebaliknya, bahan-bahan organik berasal dari ion-ion sisa tumbuh-tumbuhan, buangan limbah organik dari pabrik/rumah tangga dan berbagai sumber dari organisme laut lainnya. Adanya limbah, baik yang berasal dari sumber organik dan anorganik ini tentu memengaruhi tingkat kekeruhan. Semakin tinggi konsentrasi cemaran yang terkandung di dalamnya, semakin tinggi pula tingkat sedimentasi yang mengendap. Sedimen tersuspensi yang mengalir dari hulu ke hilir menambah kandungan sedimen tersuspensi yang diterima di muara. Penambahan jumlah sedimen tersuspensi ditambah dengan proses transpor sedimen dari pantai mengakibatkan terjadinya pendangkalan. Pendangkalan terjadi karena kecepatan arus di muara berkurang. Kecepatan arus yang berkurang menyebabkan energi untuk membawa sedimen tersuspensi lemah, sehingga sedimen perlahan terendap akibat gaya gravitasi di dasar perairan. Endapan yang bertambah seiring berjalannya waktu menyebabkan terjadinya sedimentasi dan membentuk lahan baru (Triatmodjo, 2012).

Untuk mengetahui daerah dengan kemungkinan terjadinya endapan sedimen, maka perlu diketahui dulu sebaran sedimennya. Dengan mengetahui sebaran sedimen maka dapat dibuat suatu penanggulangan maupun tindakan pencegahan di daerah tersebut. Untuk mengetahui arah persebaran dan daerah yang memiliki kemungkinan sedimentasi tertinggi, maka dilakukan pemetaan.

2. Materi dan Metode Penelitian

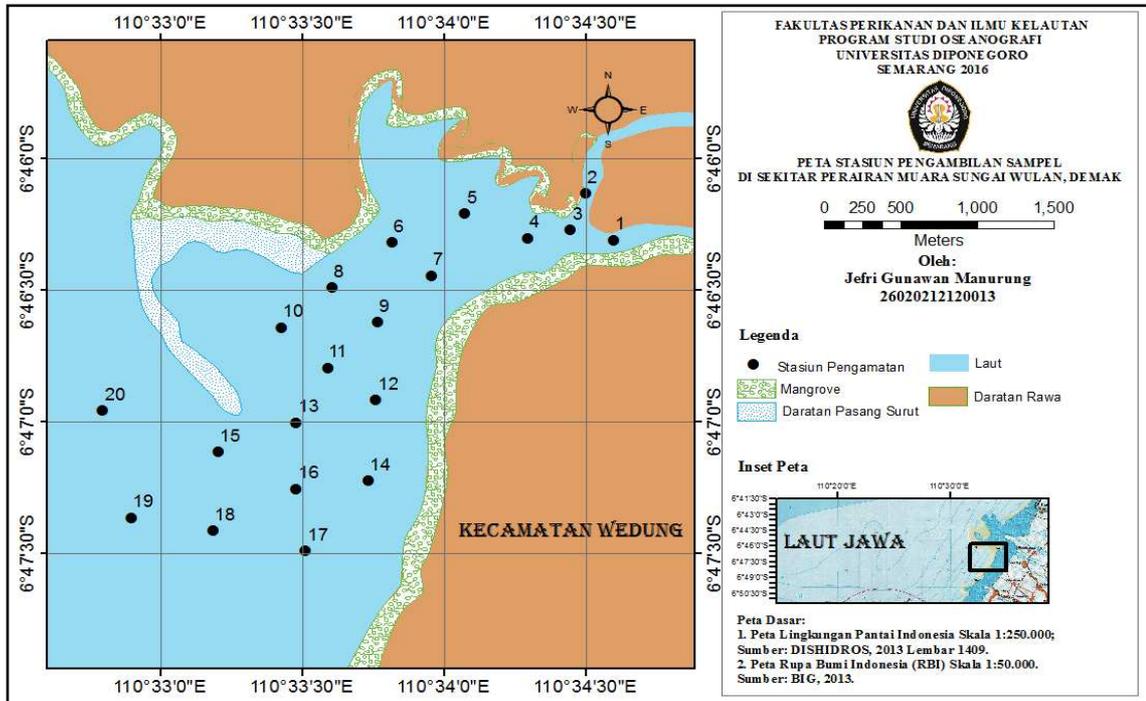
Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder berdasarkan kepentingan datanya. Data primer dikumpulkan dengan melakukan pengamatan secara langsung dan merupakan data utama yang dibutuhkan, yaitu sample air laut (sedimen tersuspensi), kecepatan arus laut, debit aliran sesaat dan pasang surut saat itu. Data sekunder berupa kecepatan dan arah arus laut di sekitar perairan muara Sungai Wulan Data sekunder sebagai data pendukung adalah data yang didapatkan dari instansi terkait yang meliputi Peta Lingkungan Pantai, Peta Rupa Bumi Wilayah Pantai Utara Demak dan data pasang surut peramalan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yaitu metode penelitian ilmiah atau *scientific* karena memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yaitu bersifat konkrit atau empiris, obyektif, terukur, rasional dan sistematis (Sugiyono, 2009). Pengambilan sampel material padatan tersuspensi menggunakan metode *non-random sample* dengan pertimbangan *proportional sampling area*. Metode ini digunakan karena pengambilan sampel sedimen tersuspensi hanya dilakukan di suatu wilayah dengan kemungkinan konsentrasi sedimen tersuspensi terbanyak. Cara pengambilan sampel yang tidak semua anggota sampel diberi kesempatan untuk dipilih sebagai anggota sampel dan stasiun pengambilan data dilakukan dengan bebas atau tidak memiliki pola tertentu. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung di sekitar perairan Muara Sungai Wulan, dimana hasil pengambilan sampel kemudian dianalisis konsentrasi sebarannya menggunakan analisis *gravimetric* yang dilakukan di laboratorium. Hasil analisis tersebut kemudian dijadikan data primer atau data inputan utama dalam pembuatan pola sebaran sedimen tersuspensi (Gray *et al.*, 2000).

Pengambilan sampel material padatan tersuspensi di sekitar Muara Sungai Wulan dilakukan di 20 titik yang terbagi dalam empat wilayah yang dimulai dari kepala muara sungai. Pemilihan titik pengambilan sampel mempertimbangkan empat aspek daerah penelitian. Pembagian daerah tersebut adalah: a) Daerah tepat sebelum bibir sungai (stasiun 1 dan 2); b) Daerah penyempitan muara sungai (stasiun 3 dan 4); c) Daerah setelah penyempitan muara sungai (stasiun 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13); dan d) Daerah menuju Laut Jawa (stasiun 14, 15, 16, 17, 18, 19 dan 20). Dalam analisis sedimen tersuspensi menggunakan analisis *gravimetric*, tahapan analisis sedimen tersuspensi menurut *Standard Method 2540*

D, USEPA (1999). Data pasang surut yang diperoleh dari BMKG Semarang dianalisis dengan menggunakan metode *Admiralty*. Pengolahan dengan metode *Admiralty* menghasilkan komponen harmonik pasang surut. Komponen pasang surut yang didapat yaitu komponen utama seperti S_0 , M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 , M_4 , MS_4 , K_2 , dan P_1 (Ongkosongo dan Suyarso, 1986)

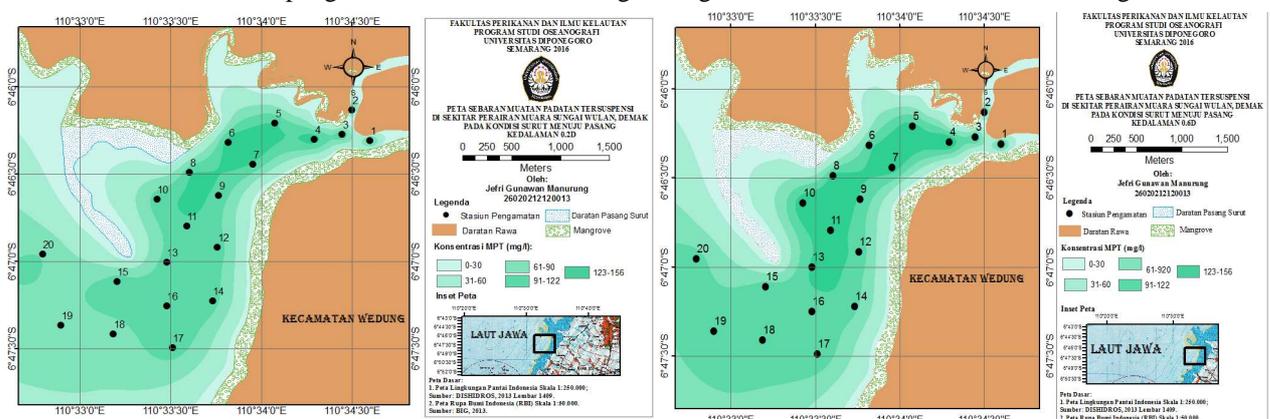
Komponen pasang surut tersebut dapat digunakan untuk mencari kedudukan muka air laut yaitu *MSL* (*Mean Sea Level*), *HHWL* (*Highest High Water Level*), dan *LLWL* (*Lowest Lower Water Level*). Model arus laut dibuat dengan menggunakan *software MIKE 21* dengan menggunakan modul hidrodinamika *Flow Model FM*.



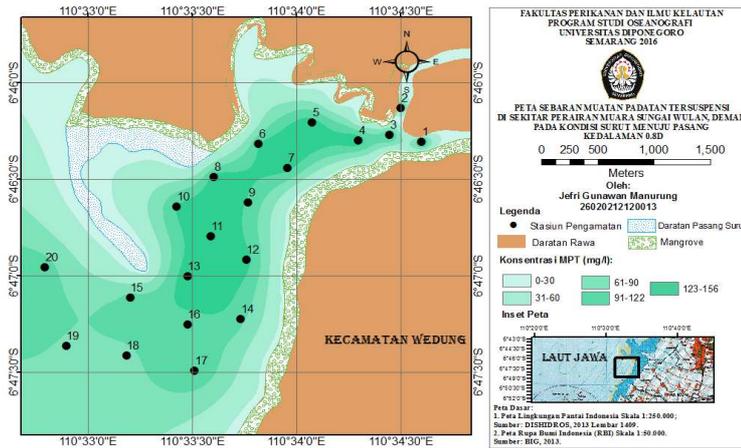
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dan Stasiun Pengambilan Sampel

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a, 2.b dan 2.c diperoleh bahwa pada kondisi surut menuju pasang di kedalaman 0,2d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun pengamatan keenam sebesar 129 mg/l dan terendah pada stasiun pengamatan 18 sebesar 55 mg/l. Jumlah keseluruhan MPT di 20 stasiun pengamatan sebesar 1.886 mg/l dengan rata-rata sebesar 94,30 mg/l. Di kedalaman 0,6d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun pengamatan keempat sebesar 154 mg/l dan terendah pada stasiun pengamatan 19 sebesar 87 mg/l. Jumlah keseluruhan MPT di 20 stasiun pengamatan sebesar 2.358 mg/l dengan nilai rata-rata sebesar 117,90 mg/l. Di



kedalaman 0,8d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama yaitu sebesar 156 mg/l dan terendah pada stasiun pengamatan 18 sebesar 72 mg/l. Jumlah keseluruhan MPT di 20 stasiun pengamatan sebesar 2.357 mg/l dengan nilai rata-rata sebesar 117,85 mg/l.

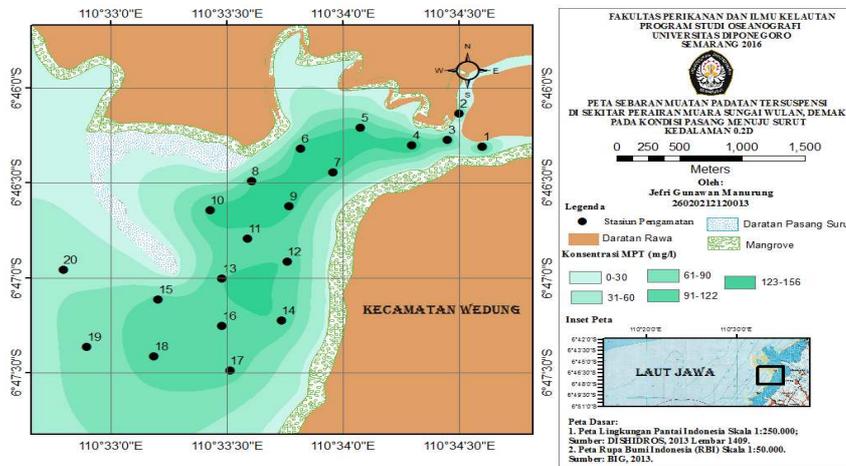


C

Gambar 2. (a) Sebaran Horizontal MPT di Kedalaman 0,2d pada Kondisi Surut Menuju Pasang; (b) Sebaran Horizontal MPT di Kedalaman 0,6d pada Kondisi Surut Menuju Pasang dan (c) Sebaran Horizontal MPT di Kedalaman 0,6d pada Kondisi Surut Menuju Pasang.

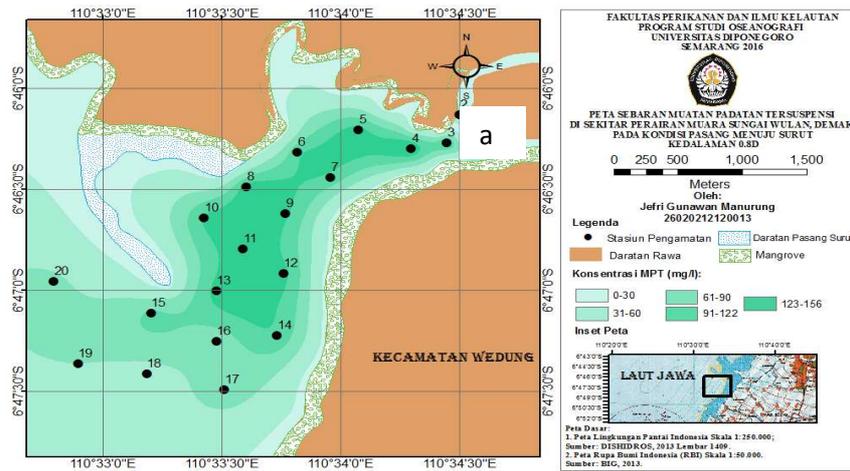
Pada kondisi pasang menuju surut di kedalaman 0,2d, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a, 3b dan 3c diperoleh bahwa nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun pengamatan keempat sebesar 130 mg/l dan terendah pada stasiun pengamatan 20 sebesar 30 mg/l. Jumlah keseluruhan MPT di 20 stasiun pengamatan adalah sebesar 1.888 mg/l dengan rata-rata sebesar 94,40 mg/l. Di kedalaman

0,6d, nilai konsentrasi tertinggi pada stasiun pengamatan keempat sebesar 130 mg/l terendah stasiun pengamatan sebesar 43 mg/l. Jumlah keseluruhan di 20 stasiun pengamatan sebesar 1.839 mg/l



MPT berada sebesar dan pada 20 mg/l. MPT sebesar dengan

rata-rata sebesar 91,95 mg/l. Di kedalaman 0,8d, nilai konsentrasi MPT tertinggi berada pada stasiun pengamatan keempat sebesar 144 mg/l dan terendah pada stasiun pengamatan 18 sebesar 30 mg/l. Jumlah keseluruhan MPT di 20 stasiun pengamatan sebesar 1.970 mg/l dengan rata-rata sebesar 98,50 mg/l.



b

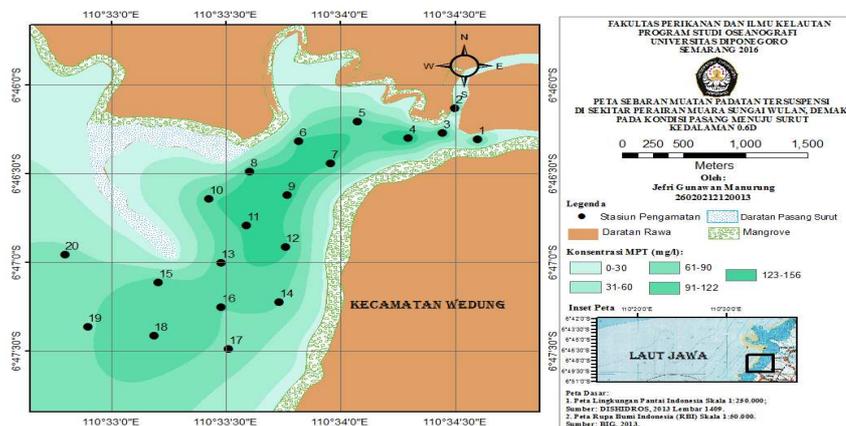
c

Gambar 3. (a) Sebaran Horizontal MPT di Kedalaman 0,2d pada Kondisi Pasang Menuju Surut; (b) Sebaran Horizontal MPT di Kedalaman 0,6d pada Kondisi Pasang Menuju Surut dan (c) Sebaran Horizontal MPT di Kedalaman 0,6d pada Kondisi Pasang Menuju Surut.

Tabel 1 merupakan komponen Pasang Surut di Sekitar Perairan Muara Sungai Wulan, Demak.

Tabel 1. Komponen Pasang Surut di Sekitar Perairan Muara Sungai Wulan, Demak

Komponen	Amplitudo (cm)
S_0	69,8



M_2

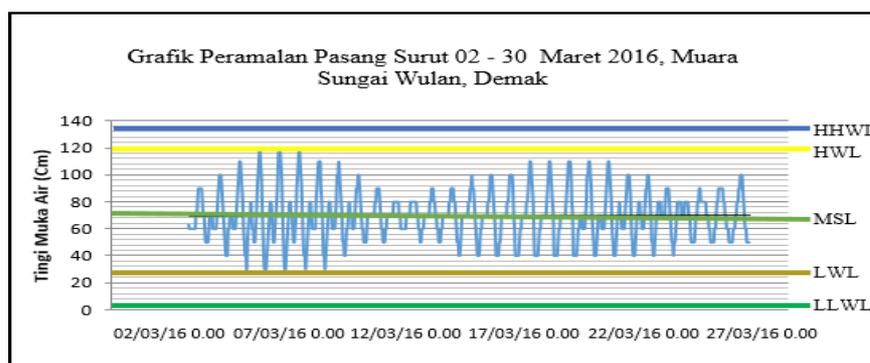
9,5

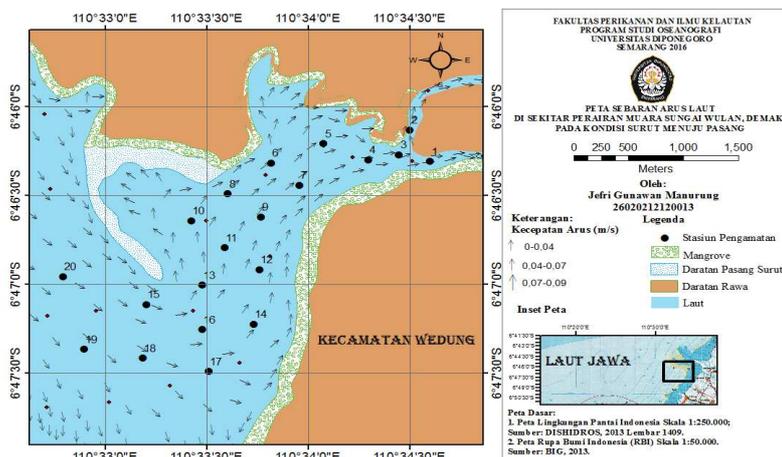
S ₂	12,0
N ₂	2,0
K ₁	20,0
O ₁	16,0
M ₄	0,28
MS ₄	0,46
K ₂	3,0
P ₁	5,0

Nilai komponen pasang surut seperti yang tertera pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai muka air rata-rata (*MSL*) sebesar 70 cm, nilai muka air tertinggi (*HWL*) sebesar 120 cm, nilai muka air terendah (*LWL*) sebesar 30 cm, nilai muka air rendah terendah (*LLWL*) sebesar 2 cm dan nilai muka air tinggi tertinggi (*HHWL*) sebesar 138 cm. Melalui komponen pasang surut tersebut dapat diketahui bahwa tipe pasang dan surut di sekitar perairan Muara Sungai Wulan, Demak dengan nilai *Formzahl* sebesar 1,67 termasuk ke dalam perairan dengan tipe pasang surut campuran condong harian tunggal. Pada tipe ini, dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda.

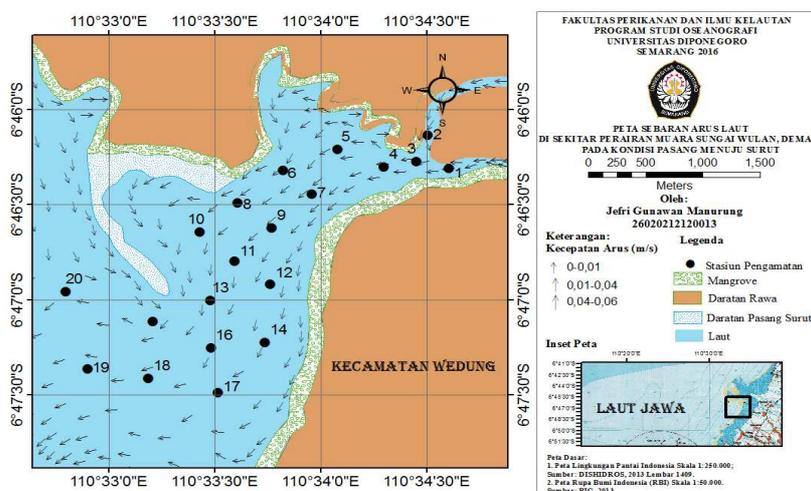
Gambar 4. Grafik Peramalan Pasang Surut pada Bulan Maret 2016.

Di kedalaman 0,2d, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,078 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan kedelapan dan kesembilan sebesar 0,001 m/s. Jumlah keseluruhan kecepatan arus di 20 stasiun pengamatan sebesar 0,623 m/s dengan rata-rata sebesar 0,031 m/s. Di kedalaman 0,6d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan 20 sebesar 0,098 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan kedelapan sebesar 0,011 m/s. Jumlah keseluruhan kecepatan arus di 20 stasiun pengamatan sebesar 1,057 m/s dengan rata-rata sebesar 0,052 m/s. Di kedalaman 0,8d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,081 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan kedelapan sebesar 0,012 m/s. Jumlah keseluruhan kecepatan arus di 20 stasiun pengamatan sebesar 1,023 m/s dengan rata-rata sebesar 0,051 m/s.





Gambar 5. Peta Pola Arus Saat Pasang



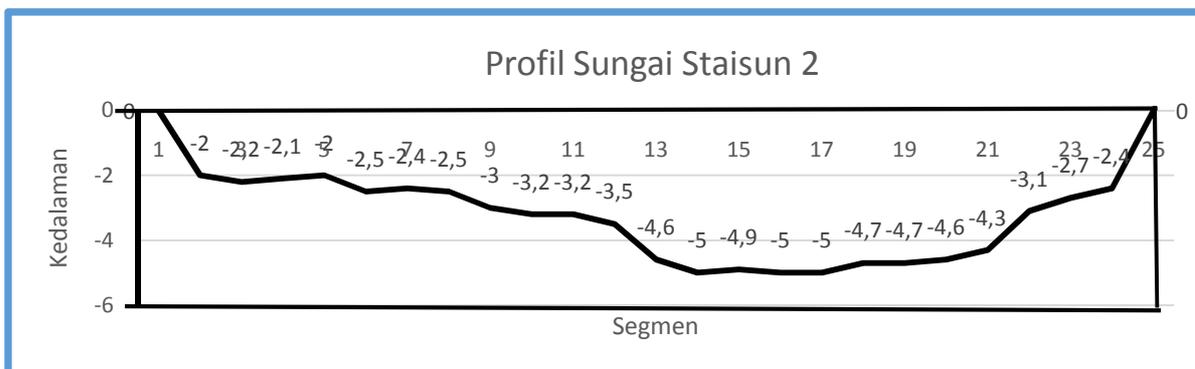
Gambar 6. Peta Pola Arus Saat Surut

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, diperoleh bahwa pada kondisi pasang menuju surut di kedalaman 0,2d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,076 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan ketujuh dan 18 sebesar 0,002 m/s. Jumlah keseluruhan kecepatan arus di 20 stasiun pengamatan sebesar 0,654 m/s dengan rata-rata sebesar 0,033 m/s.

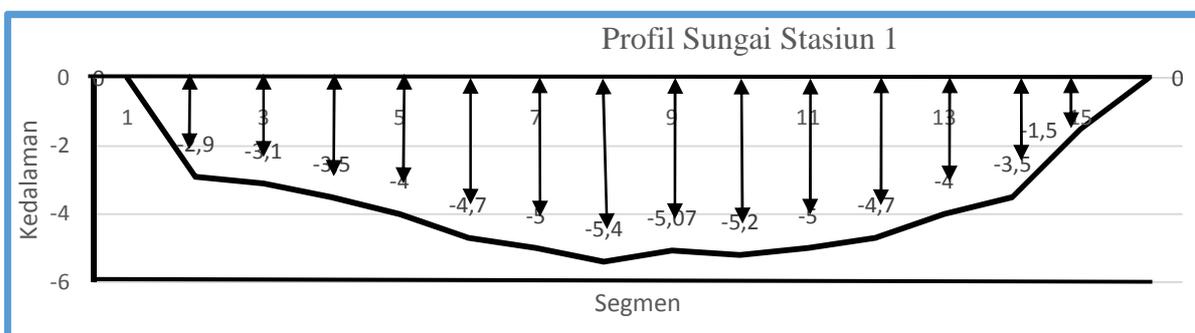
Di kedalaman 0,6d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan keempat sebesar 0,999 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan 20 sebesar 0,030 m/s. Jumlah keseluruhan kecepatan arus di 20 stasiun pengamatan sebesar 1,299 m/s dengan rata-rata sebesar 0,064 m/s.

Di kedalaman 0,8d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan 18 sebesar 0,084 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan 16 sebesar 0,001 m/s. Jumlah keseluruhan kecepatan arus di 20 stasiun pengamatan sebesar 0,759 m/s dengan rata-rata sebesar 0,037 m/s.

Berdasarkan hasil pengolahan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7a dan 7b, diketahui bahwa percabangan sungai yang membawa debit sungai sesaat yang lebih besar adalah cabang pada stasiun pertama, yaitu sebesar $1,195 \text{ m}^3/\text{s}$ pada kondisi surut menuju pasang dan $1,795 \text{ m}^3/\text{s}$ pada kondisi



a



pasang menuju surut.

Gambar 7. (a) Profil Muara Sungai Wulan Stasiun 1; (b) Profil Muara Sungai Wulan Stasiun 2

Tabel 2. Komponen Pasang Surut di Sekitar Perairan Muara Sungai Wulan, Demak

Stasiun	Koordinat		Kedalaman (m)	Lebar Sungai (m)	Kecepatan Arus (m/s)	Debit Sesaat (m^3/s)
	Lintang	Bujur				
1	$6^\circ 46' 18,2''$	$110^\circ 34' 35,2''$	1,06	80	0,021	1,195
	$6^\circ 46' 18,2''$	$110^\circ 34' 35,2''$	3,18		0,027	
	$6^\circ 46' 18,2''$	$110^\circ 34' 35,2''$	4,24		0,042	
2	$6^\circ 46' 10,7''$	$110^\circ 34' 30,2''$	1,00	115	0,027	0,811
	$6^\circ 46' 10,7''$	$110^\circ 34' 30,2''$	3,00		0,023	
	$6^\circ 46' 10,7''$	$110^\circ 34' 30,2''$	4,00		0,048	

Tabel 3. Komponen Pasang Surut di Sekitar Perairan Muara Sungai Wulan, Demak

Stasiun	Koordinat		Kedalaman (m)	Lebar Sungai (m)	Kecepatan Arus (m/s)	Debit Sesaat (m^3/s)
	Lintang	Bujur				
1	$6^\circ 46' 18,2''$	$110^\circ 34' 35,2''$	1,02	80	0,025	1,795
	$6^\circ 46' 18,2''$	$110^\circ 34' 35,2''$	3,06		0,044	

b

	6° 46' 18,2"	110° 34' 35,2"	4,08		0,061	
2	6° 46' 10,7"	110° 34' 30,2"	0,96		0,014	
	6° 46' 10,7"	110° 34' 30,2"	2,88	115	0,020	1,114
	6° 46' 10,7"	110° 34' 30,2"	3,84		0,037	

Pada dasarnya, saat massa air bertambah ataupun berkurang, kondisi perairan yang lebih dalam cenderung lebih banyak mengalami turbulensi dan pengadukan. Turbulensi ini menyebabkan material terendapkan tercampur dengan material melayang dan menambah muatan partikel tersuspensi di suatu perairan. Pengadukan tersebut merupakan hasil dari pergerakan arus laut di suatu perairan.

Setelah massa air mengalami perubahan volume secara signifikan, arus bergerak dan bergesekan dengan dasar perairan, gesekan inilah yang menyebabkan sedimen dasar terangkat dan teraduk kembali. Dari hasil pengamatan di lapangan dan melalui analisis laboratorium ternyata sejalan. Faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya kandungan sedimen tersuspensi ada banyak, dan yang akan dibahas di sini adalah kedalaman perairan, kecepatan arus laut dan bagaimana pengaruh pasang dan surut berperan di dalamnya. Berdasarkan hasil laboratorium yang diperoleh, konsentrasi MPT tertinggi baik pada kondisi surut menuju pasang maupun pada kondisi pasang menuju surut berada pada kedalaman 0,8d. Sebaran MPT di suatu perairan sangat dipengaruhi oleh fenomena pasang dan surut. Fenomena pasang dan surut sangat dipengaruhi oleh interaksi matahari, bulan dan bumi. Ketika laut mengalami pasang dan amplitudonya cukup besar, maka sungai-sungai di sekitar sebelum muara kemungkinan akan mengalami banjir dan menyebabkan intrusi air laut yang besar pula ke daratan.

Saat air laut mulai naik dan mencapai *crest*, maka kecepatannya akan menurun. Seiring dengan kecepatannya yang semakin melemah, saat itu juga banyak material padatan tersuspensi yang dilepaskan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran MPT tertinggi terjadi pada kondisi surut menuju pasang. Mengingat bahwa daerah perairan di sekitar muara Sungai Wulan termasuk ke dalam tipe muara yang didominasi oleh debit sungai, pada kondisi surut menuju pasang, kecepatan aliran arus selain didukung oleh arus pasang juga disuplai oleh debit yang keluar melalui hilir sungai dan pengadukan yang saling berlawanan ini menyebabkan turbulensi yang lebih maksimal dibanding pada kondisi pasang menuju surut. Hal ini dapat dilihat dari peta persebaran arus pada kondisi surut menuju pasang pada Gambar 5 yang lebih besar kecepatannya dibandingkan dengan kecepatan arus pada kondisi pasang menuju surut.

Proses ketika air laut telah mencapai *Crest* akan menyebabkan terciptanya tanggul di kedua sisi sungai. Jika ditelaah melalui program aplikasi *Google Earth*, morfologi Sungai Wulan condong membentuk pola *meander*. Pola yang demikian menghasilkan arus sungai dari daratan menuju laut terbilang relatif kecil saat musim timur, karena pola *meander* akan menyebabkan pengikisan yang sedikit di badan tanggul. Sebaliknya ketika arus sungai yang deras dan kuat terjadi, aliran air akan berusaha membentuk pola lurus di badan tanggul sungai dan muatannya akan semakin banyak. Jika musim penghujan tiba dan debit air sungai (Q) menjadi besar, pengikisan akan semakin banyak dan buangan ke arah laut akan semakin besar pula massanya. Karena penelitian ini dilakukan pada musim peralihan pertama (menuju musim timur), sehingga buangan dari daratan seharusnya tidak lebih besar daripada musim penghujan (musim barat). Dari analisis ini dapat diambil hipotesis bahwa, nilai konsentrasi MPT pada penelitian ini harusnya lebih sedikit dibanding jika penelitian dilakukan pada musim barat dan atau pada musim peralihan kedua.

Berdasarkan hasil pengamatan seperti yang tersaji pada peta sebaran MPT di atas, konsentrasi MPT baik pada kondisi surut menuju pasang maupun kondisi pasang menuju surut lebih terkonsentrasi dari arah hilir sungai, hal ini sejalan dengan literatur menurut Lanuru dan Ferayanti (2011), bahwa proses transpor MPT di sungai dan laut memiliki korelasi dengan elevasi muka air. Ketika terjadi pasang, muka air laut akan lebih tinggi dibanding daerah badan dan mulut sungai/muara, sehingga pengadukan dan pelepasan MPT lebih banyak terjadi di muara sungai. Sebaliknya pada saat kondisi pasang menuju surut, sebaran MPT cenderung mengarah ke laut, karena elevasi yang rendah di muara menyebabkan turbulensi yang intens dan MPT banyak dilepaskan di laut.

Pergerakan air akibat rotasi bumi ini menyebabkan terjadinya penambahan dan pengurangan volume air laut. Pada kondisi surut menuju pasang, air laut bergerak menuju daratan yang menyebabkan volume air mengarah ke daratan bertambah. Menurut Triatmodjo (2012), pada saat air surut, sedimen akan terdorong ke muara dan menyebar di laut. Ketika kecepatan aliran mengecil selama periode menuju surut, sebagian sedimen tersuspensi mengendap di dasar perairan. Berbeda pada kondisi surut menuju pasang, kecepatan arus bertambah dan mendorong sedimen tersuspensi dari laut masuk ke sungai dan bercampur dengan sedimen tersuspensi dari hulu sungai. Pada alur sungai menuju surut, kecepatan aliran air bertambah dan sedimen yang telah terendapkan tergerus kembali dan kemudian masuk ke laut.

Dalam satu periode pasang dan surut, sedimen yang mengendap lebih banyak dibandingkan sedimen yang tererosi sehingga jika terjadi dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan terbentuknya delta. Konsentrasi sedimen tersuspensi terendah terletak di stasiun yang berada jauh dari daratan atau ke arah laut lepas. Hal ini disebabkan karena pada saat memasuki laut, sedimen tersebar ke segala arah yang menyebabkan sebagian besar sedimen menyebar dan mengendap pada lokasi dengan aliran yang tenang. Sedangkan sebagian lagi bergerak menuju laut yang lebih lepas, sehingga konsentrasi sedimen yang tersebar ke laut memiliki jumlah yang lebih sedikit.

Berlarasan dengan pernyataan di atas, konsentrasi MPT tertinggi pada kondisi surut menuju pasang terdapat di sekitar hilir sungai. Sebaran MPT tertinggi pada kondisi surut menuju pasang dan sebaliknya di kedalaman 0,2d; 0,6d maupun 0,8d yaitu pada ketujuh stasiun pengamatan pertama kemudian diikuti oleh stasiun pengamatan setelahnya dan konsentrasi terendah tepat berada setelah penyempitan mulut muara ke arah laut.

Untuk menjawab hal ini, maka perlu dilihat dari sisi oseanografi lain seperti arus laut. Dari hasil pengolahan data lapangan, diperoleh bahwa pada kondisi surut menuju pasang di kedalaman 0,2d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,078 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan kedelapan dan kesembilan sebesar 0,001 m/s. Pada kondisi pasang menuju surut dengan kedalaman yang sama, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,076 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan ketujuh sebesar 0,002 m/s.

Pada saat kondisi surut menuju pasang dengan kedalaman 0,6d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan 20 yang cukup anomali sebesar 0,098m/s dan terendah pada stasiun pengamatan kedelapan sebesar 0,011 m/s. Sedangkan pada saat kondisi pasang menuju surut di kedalaman yang sama, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,069 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan 15 sebesar 0,03 m/s.

Pada saat kondisi surut menuju pasang dengan kedalaman 0,8d, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan pertama sebesar 0,081m/s dan terendah pada stasiun pengamatan kedelapan sebesar 0,012 m/s. Sedangkan pada saat kondisi pasang menuju surut di kedalaman yang sama, nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun pengamatan 18 sebesar 0,084 m/s dan terendah pada stasiun pengamatan 16 sebesar 0,001 m/s.

Dari pemaparan sebelumnya terlihat jelas bahwa total kecepatan arus rata-rata terbesar secara berurutan adalah pada kedalaman 0,6d; 0,8d dan 0,2d yang masing-masing sebesar 2,35 m/s; 1,78 m/s dan 1,2 m/s. Dengan nilai yang cukup terpaut jauh, kecepatan arus yang demikian mempengaruhi pola sebaran sedimen yang terjadi. Hal ini menjadi faktor mengapa nilai MPT pada kedalaman 0,8d dan 0,6 d lebih besar.

Hasil simulasi hidrodinamika adalah berupa kecepatan aliran yang berupa arah arus pada kondisi surut menuju pasang yang kemudian diinterpretasikan dalam Gambar 5. Gambar 5 merupakan kondisi aliran pada kondisi surut menuju pasang, kecepatan aliran arus yang terjadi dominan dari aliran air laut yang masuk ke badan sungai dan awalnya terjadi proses penghambatan di stasiun 13 yang terdapat delta, hambatan di sini menyebabkan terjadinya peningkatan sedimentasi dan terjadi dominasi arus balik *backwater* dan berimbas pada stasiun pengamatan tepat ke arah muara sungai dengan kecepatan 0,0443 m/s. Kisaran kecepatan yang terjadi di daerah ini dimulai dari hulu menuju hilir, kisaran kecepatan arus berkisar berubah mulai dari 0,0086 m/s hingga 0,1083 m/s dan perubahan dari hilir ke hulu yaitu 0,0245 m/s hingga 0,0045 m/s.

Sebagai perbandingan, pada Gambar 6 merupakan kondisi aliran pada saat pasang menuju surut, kecepatan aliran arus dominan dari aliran hulu ke hilir dan memasuki daerah laut. Pada saat air surut, sungai memiliki dominasi yang lebih besar, namun hambatan oleh Delta Wulan tidak begitu berpengaruh karena kecepatan arus saat surut tidak begitu signifikan. Sumber dari sungai yang kian bertambah menyebabkan material yang sering terjebak di daerah delta semakin bertambah pula dan ini yang menyebabkan perluasan Delta Wulan semakin bertambah luas. Kisaran kecepatan arus yang terjadi di daerah ini dimulai dari hulu ke hilir, kisaran kecepatan arus berkisar berubah mulai dari 0,00040 m/s hingga 0,05150 m/s dan perubahan dari hulu ke hilir yaitu 0,00059 m/s hingga 0,02115 m/s.

Debit aliran sungai pada kondisi surut menuju pasang di stasiun pertama lebih besar dibanding stasiun kedua yaitu masing-masing sebesar 1,957 m³/s dan 0,811 m³/detik. Pada kondisi pasang menuju surut, debit suspensi sesaat pada stasiun pertama dan kedua adalah sebesar 1,795 m³/detik dan 1.114 m³/detik. Dengan data ini maka didapatkan bahwa nilai debit suspensi sesaat pada kondisi surut menuju pasang di stasiun pertama adalah 43.389,56 kg/hari dan pada stasiun kedua adalah 30.224,18 kg/hari. Pada kondisi pasang menuju surut, debit suspensi pada stasiun pertama dan kedua adalah masing-masing sebesar 55.211,33 kg/hari dan 34.675 kg/hari. Debit aliran pada stasiun pertama lebih besar karena sungai pada stasiun tersebut memiliki luas penampang melintang antara garis pengukuran dalamnya air (Fd) yang lebih besar dibandingkan stasiun kedua dan memiliki kedalaman yang lebih dalam. Kecepatan arus yang tinggi dapat menggerus daerah daratan sepanjang sungai sehingga masukan sedimen menuju laut

semakin bertambah. Hal ini juga terlihat dari peta sebaran sedimen tersuspensi yang menunjukkan bahwa stasiun pengambilan sedimen tersuspensi yang berada di depan muara sungai pertama memiliki konsentrasi sedimen tersuspensi yang lebih tinggi dibanding muara sungai kedua. Konsentrasi sedimen tersuspensi tersebut kemudian tersebar akibat adanya pengaruh dari pasang surut.

Lebih lanjut tetesan air hujan dapat menimbulkan pembentukan lapisan tanah keras pada lapisan permukaan. Muatan yang masuk ke badan sungai akan terbawa dan berakhir di hilir yang menyumbang muatan dan menghasilkan berbagai jenis partikel muatan padatan tersuspensi. Pola yang demikian menyebabkan konsentrasi MPT di stasiun yang lebih terkonsentrasi tepat dari hilir sungai. Selain pengaruh dari keberadaan delta, juga dari kecepatan arus yang sudah dijelaskan di sebelumnya, tidak dapat dipungkiri bahwa delta tersebut terbentuk juga akibat dari tingginya MPT perairan sehingga sedimentasi yang terbentuk tinggi hingga terbentuklah delta tersebut.

Mengenai bagaimana proses awal pembentukan Delta Wulan bisa terjadi, dibutuhkan studi lebih lanjut dengan perluasan lingkup studi yang berkaitan dengan faktor oseanografi fisika lainnya seperti gelombang laut, arus dasar dan permukaan, arus sejajar garis pantai hingga faktor klimatologi, oseanografi biologi, oseanografi kimia hingga oseanografi geologi.

4. Kesimpulan

Pola sebaran sedimen tersuspensi terjadi pada musim peralihan pertama di bulan Maret, sehingga sebaran sedimen suspensi bergerak dominan dari barat ke timur. Sedimen tersuspensi bergerak dominan menuju selatan pada kondisi surut menuju pasang dan dominan menuju barat daya pada kondisi pasang menuju surut. Nilai MPT tertinggi terjadi pada saat pasang dikarenakan kecepatan arus yang lebih kuat dan terjadi pengadukan di muara yang lebih dominan. Sedimen tersuspensi dengan konsentrasi tertinggi terletak pada stasiun di sekitar hilir Sungai. Hal ini disebabkan karena perairan di daerah tersebut mengalami pengadukan yang lebih fluktuatif dan sumber material didominasi oleh daratan.

Mengingat pada kondisi tersebut kecepatan aliran arus lebih besar menuju ke badan sungai, maka dapat disimpulkan bahwa persebaran MPT tertinggi terjadi pada kondisi surut menuju pasang.

5. Daftar Pustaka

- Balai PSDA Serang Lusi Juana. 2010. Renstra Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Jawa Tengah, Dinas PSDA Jawa Tengah, Semarang. USEPA. 1999. Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater, USEPA, EMSL. Gov Docs., 23(5):16.
- Gray, J. R., G.D. Glysson., L.M. Tucious and G.E. Schwarz. 2000. Comparability of Suspended Sediment and Total Suspended Solid Data: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, U.S. Army Press, USA.
- Lanuru, M., dan Ferayanti, D. 2011. Hubungan Sedimen Dasar Perairan dengan Penyebaran Lamun (Seagrass) di Teluk Pare-pare, Sulawesi Selatan. *Jurnal Omni-Akuatika.*, 10(13):79-83.
- Ongkosongo, O.S.R dan Suyarso. 1989. Pasang Surut: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi (P3O) LIPI, Jakarta, 257 hlm.
- Sugiyono. 2009. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Alfabeta, Bandung, 334 hlm.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta, 362 hlm.