

## STUDI POLA ARUS DAN SEBARAN MUATAN PADATAN TERSUSPENSI DI MUARA SUNGAI LASEM, KABUPATEN REMBANG

**Fridholin Hatoguan Pasaribu, Baskoro Rochaddi, Denny Nugroho Sugianto\***)

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Tembalang Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

### Abstrak

Muara sungai Lasem mengalami pendangkalan akibat pengendapan sedimen tersuspensi. Pendangkalan ini akan berdampak negatif terhadap kondisi perairan antara lain; terhambatnya aliran sungai ke laut dan alur pelayaran kapal nelayan terganggu. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pola sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi dan pengaruh arus terhadap sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi di perairan Lasem, Kabupaten Rembang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan memanfaatkan dan mengelola lingkungan muara sungai antara lain normalisasi muara sungai dan dasar perencanaan untuk mengatasi pendangkalan. Materi yang digunakan dalam penelitian ini data primer terdiri dari sampel sedimen tersuspensi dan arus tanggal 12 sampai dengan 15 April 2014, sedangkan data sekunder di antara lainnya, Peta LPI, Peta RBI dan data pengamatan pasang surut selama 15 hari dari tanggal 12 sampai dengan 27 April 2014. Pemodelan arus menggunakan model *2D depth average* pada ADCIRC dan analisis spasial pada ArcGIS 10.1 untuk sebaran sedimen tersuspensi dengan metode interpolasi *spline*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai konsentrasi sedimen tersuspensi saat kondisi pasang dan saat surut di perairan Lasem berkisar antara 0,1-0,4 g/l. Hasil analisis bahwa pola arus di perairan Lasem dipengaruhi oleh arus pasut. Arus pasang membawa sedimen tersuspensi dari laut mengendap di muara sungai serta saat arus surut sedimen tersuspensi yang berada di muara sungai terbawa arus menuju laut dan menyebar. Kecepatan arus di kedalaman 0,2d berkisar antara 0,003 – 0,369 m/dt, 0,6d kecepatan arus antara 0,004 – 0,278 m/dt dan Kedalaman 0,8d kecepatan arus antara 0,001 – 0,253 m/dt dengan arah dominasi arus ke arah barat laut, timur dan tenggara.

**Kata kunci** : *Sedimen tersuspensi, Arus pasut, Perairan Lasem Rembang*

### Abstract

Lasem Estuaries become silting which is caused of sediment suspended. The silting will give negative impact on the condition of the waters such as impaired river flow to the sea and disruption of shipping lane. The purpose of the research was find the distribution patterns of suspended sediment concentration and the influence of current to distribution of suspended sediment concentration in Lasem Waters, Rembang. The results of this research is can be used as a reference for utilizing and managing the environment of estuaries, such as normalization of estuaries and basic planning to overcome the silting. The material used in this research was primary data consist of suspended sediment and current from 12<sup>th</sup> April – 15<sup>th</sup> April 2014, while the secondary data such as LPI Map, RBI Map, and tides data observation for 15 days from 12<sup>th</sup> April – 27<sup>th</sup> April 2014. Modelling of current used the model of 2D depth average on ADCIRC and the spatial analysis used ArcGis 10.1 for distribution of suspended sediment with Spline interpolate method. The results of this research showed that the value of the concentration of suspended sediments at spring and neap in Lasem Waters ranged between 0,1-0,4 g/l. The results analysis that the pattern of current in Lasem Waters was affected by tides current. Spring current carried the suspended sediment from the sea was deposited in estuaries and the suspended sediment in the estuaries drifted toward to the sea by neap current. The velocity of current in 0,2d ranged between from 0,003 – 0,369 m/s, the velocity of current in the 0,6d ranged between from 0,004 – 0,280 m/s, and the velocity of current in 0,8d between from 0,001 – 0,253 m/s had domination direction to the northwest, east and southeast.

**Keywords** : *Suspended sediment, Tides current, Lasem Rembang waters*

## 1. Pendahuluan

Muara sungai Lasem merupakan tempat kegiatan pintu keluar masuknya kapal nelayan yang berlayar. Muara sungai tersebut mengalami pendangkalan akibat pengendapan sedimen tersuspensi. Sedimen tersuspensi merupakan material endapan yang melayang dalam air yang bergerak tanpa menyentuh dasar perairan dan kemudian mengendap. Faktor utama terjadinya pendangkalan di muara sungai yaitu adanya pengendapan sedimen dari sungai. Sedimen tersuspensi diangkut oleh aliran sungai menuju ke laut. Ketika sedimen tersuspensi sampai di laut, maka akan diangkut oleh arus laut dan mengendap di daerah sekitar muara sungai (Mulyanto, 2010)

Pendangkalan ini tentunya akan berdampak negatif terhadap kondisi perairan antara lain: terhambatnya aliran sungai ke laut dan alur pelayaran kapal nelayan terganggu. Menurut Triatmodjo (1999) menyatakan, bahwa banyaknya endapan di muara sungai mengakibatkan penampang aliran menjadi kecil sehingga mengganggu proses pembuangan debit sungai ke laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi dan pengaruh arus terhadap sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi di lokasi penelitian. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan oleh berbagai pihak dalam memanfaatkan dan mengelola lingkungan muara sungai antara lain normalisasi muara sungai dan dasar perencanaan untuk mengatasi pendangkalan.

## 2. Materi dan Metode Penelitian

### A. Materi Penelitian

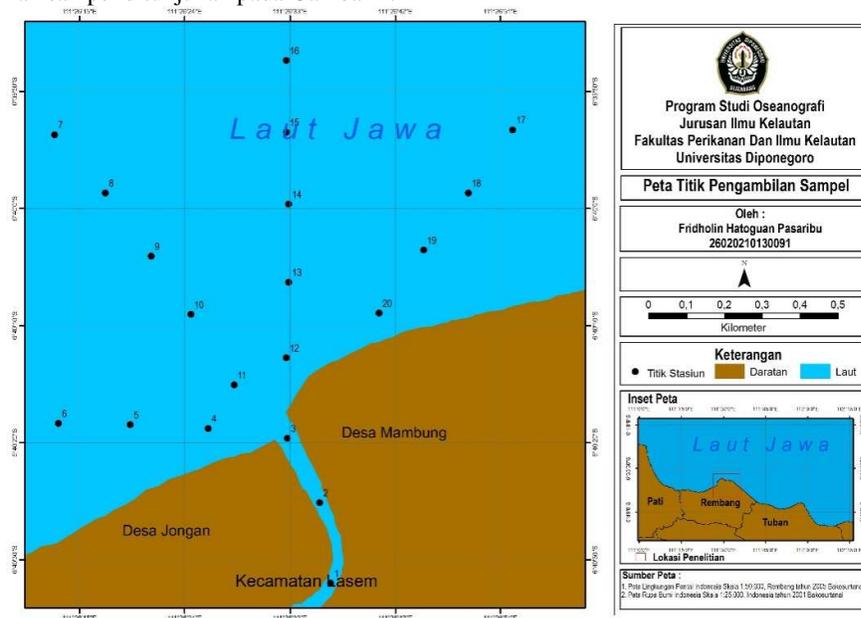
Materi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primeryaitu data sampel dan arus. Data sekunder yaitu Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) Rembang tahun 2005 dengan skala 1:50.000 dari BAKOSURTANAL, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Indonesia tahun 2001 skala 1:25.000 dari BAKOSURTANAL dan data pengamatan pasang surut selama 15 hari dari tanggal 12-27 April 2014.

Pengambilan data dilakukan pada 12 – 15 April 2014. Lingkup daerah penelitian terletak pada koordinat 6°39'50" LS dan 111°26'15" BT hingga 6°40'30" LS dan 111°26'51" BT.

### B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan membuat suatu gambaran mengenai konsentrasi sedimen tersuspensi serta pola sebaran sedimen tersuspensi di perairan Lasem, Kabupaten Rembang (Sevilla, 1993)

Pengambilan titik sampel menggunakan cara *sample purposive method* yaitu mengambil sebagian kecil sampel air dari lokasi penelitian, menurut Notoatmodjo (2005) purposive sampling adalah penentuan didasarkan pada suatu pertimbangan tertentu yang dibuat oleh peneliti sendiri. Peta titik pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Titik Pengambilan Sampling

### Pengambilan Data Sedimen Tersuspensi

Pengukuran sedimen dilakukan dengan mengambil contoh air dari suatu kolom pengukuran. Pengambilan contoh dapat dilakukan secara sesaat menggunakan *bottle sampler* (botol Nansen). Pengambilan sampel sedimen tersuspensi sebanyak 20 stasiun pada suatu kolom perairan yang menyebar di muara sungai, mulut muara sungai, sekitar mulut muara sungai dan perairan laut saat kondisi pasang dan surut di lokasi penelitian.

### Pengambilan Data Arus

Teknik pengukuran arus dapat dilakukan dengan pendekatan Eulerian. Pengambilan data dilakukan menggunakan ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) yang secara langsung dapat mengetahui kecepatan dan arah arusnya dengan memanfaatkan gelombang akustik

Lokasi pengukuran arus terletak di koordinat 06 37'25,8" LS dan 111 32' 43,5" BT yang diletakkan pada kedalaman 8,1 m dari permukaan laut dengan jarak perletakan ± 2 km dari garis pantai yang dibagi menjadi 6 layer kedalaman (6 cell). Pengukuran arus dilakukan selama 3 x 24 jam pada tanggal 12-15 April 2104 dan dimulai perekaman pukul 12.00 wib

### Analisi Data MPT

Menurut Alaerts dan Santika (1987) dalam Satriadi dan Widada (2004), bahwa sedimen tersuspensi dianalisis menggunakan metode Gravimetri. Tahapan analisis sebagai berikut:

1. Kertas saring whatman berukuran 0,45µm ditimbang menggunakan timbangan digital terlebih dahulu untuk mendapatkan berat awal kertas.
2. Kemudian sampel dikocok kemudian disaring sekitar 100 ml dalam alat penyaringan dan patikelnya ditampung oleh kertas saring whatman berukuran 0,45µm.
3. Kertas saring selanjutnya dikeringkan menggunakan oven selama 10 menit dengan suhu ± 100° C.
4. Setelah itu ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir, penimbangan dilakukan berulang agar didapatkan berat konstan.. Hasil selisih berat awal dan akhir merupakan berat sedimen tersuspensi tersebut.

Perhitungan MPT menurut Alaerts dan Santika (1984) dalam Satriadi dan Widada (2004) adalah sebagai berikut:

$$MPT = \frac{(a-b)}{c} \text{gram/liter}$$

Keterangan:

- MPT = Material padatan tersuspensi (gr/l)  
 a = Berat kertas saring dan berat MPT di kertas saring (g)  
 b = Berat kertas saring (g)  
 c = Volume sampel air (l)

### Analisi Data Arus

Dari pengukuran data lapangan selama 3 x 24 jam, didapatkan besaran dari arah arus total. Pengolahan data hasil pengukuran lapangan menggunakan *scatter, world current, current rose*, dan *CD Oceanography* untuk mengetahui arus dominan di lokasi penelitian.

### Analisi Pasang Surut

Pengambilan data pasang surut diperoleh dari data sekunder berupa data pengamatan pasang surut selama 15 hari dari tanggal 12-27 April 2014. Data pasang surut air laut menggunakan *World Tides* untuk memperoleh konstanta pasut

### Model Arus

Pemodelan hidrodinarnika 2D diolah menggunakan software SMS (*Sea water Modelling System*) dengan menggunakan modul ADCIRCSimulasi dibuat selama 15 hari untuk mendapatkan kondisi pola arus saat terjadi pasang punrama (*Spring Tide*) dan saat terjadi pasang perbani (*Neap Tide*).

### Verifikasi Model

Perhitungan kesalahan hasil simulasi dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

1. Kesalahan Relatif (Relative Error):

$$RE = \left| \frac{p-p^*}{p} \right|$$

2. Kesalahan Relative Rata-rata (Mean Relative Error):

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{p-p^*}{p} \right| \times 100\%$$

dengan n, p dan p\* berturut-turut adalah jumlah data, data lapangan dan data hasil model.

### 3. Hasil dan Pembahasan

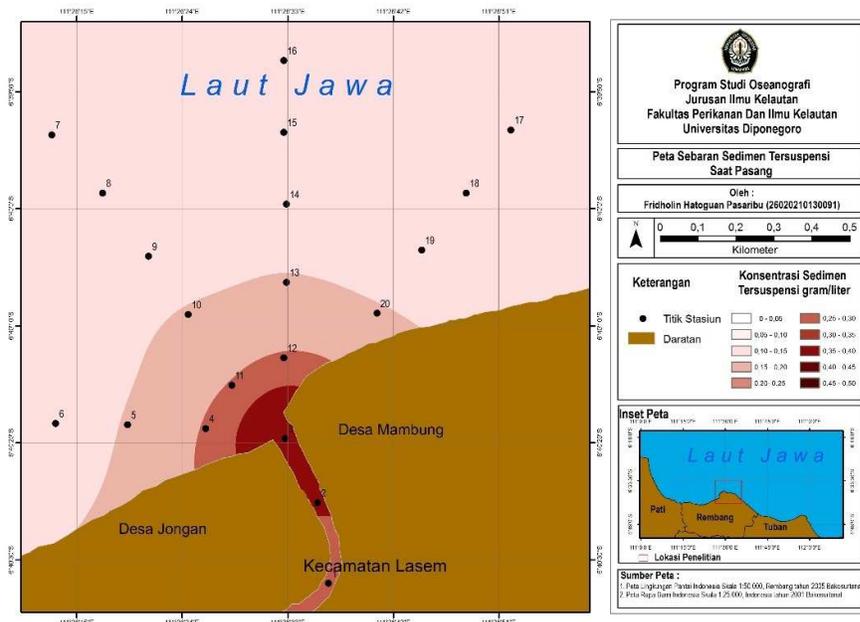
#### Konsentrasi Sedimen Tersuspensi Saat Pengambilan Data

Pengambilan sampel sedimen dilakukan di beberapa titik stasiun yang terbagi menjadi 20 titik stasiun, sampel sedimen diambil saat kondisi pasang dan surut diperoleh hasil seperti yang dicantumkan pada Tabel 1.

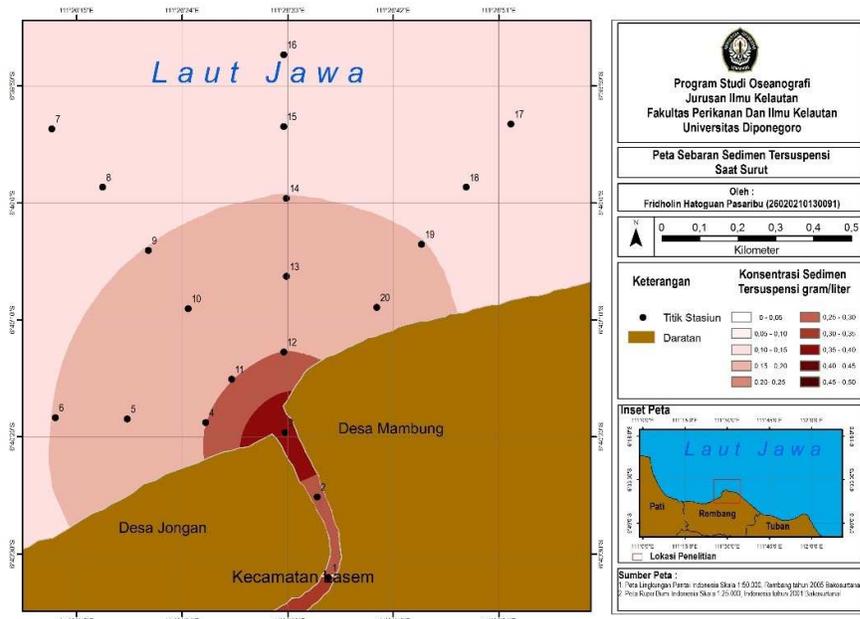
Tabel 1. Nilai Konsentrasi Sedimen Tersuspensi

No	Koordinat	Stasiun	Kedalaman (m)	Konsentrasi Sedimen Tersuspensi (gr/l)	
				Pasang	Surut
1	111°26'36.538"E 6°40'32.043"S	1	2,2	0,3	0,3
2	111°26'35.477"E 6°40'25.146"S	2	2,5	0,4	0,3
3	111°26'32.718"E 6°40'19.628"S	3	1,5	0,4	0,4
4	111°26'25.926"E 6°40'18.672"S	4	1,1	0,3	0,3
5	111°26'19.347"E 6°40'18.460"S	5	1,0	0,2	0,2
6	111°26'13.086"E 6°40'18.248"S	6	1,3	0,1	0,1
7	111°26'12.661"E 6°39'53.522"S	7	4,7	0,1	0,1
8	111°26'17.118"E 6°39'58.510"S	8	4,5	0,1	0,1
9	111°26'21.045"E 6°40'03.922"S	9	3,7	0,1	0,2
10	111°26'24.759"E 6°40'08.909"S	10	2,1	0,2	0,2
11	111°26'28.261"E 6°40'14.958"S	11	1,3	0,3	0,3
12	111°26'32.612"E 6°40'12.624"S	12	1	0,3	0,3
13	111°26'32.718"E 6°40'06.257"S	13	1,1	0,2	0,2
14	111°26'32.824"E 6°39'59.465"S	14	1,2	0,1	0,2
15	111°26'32.506"E 6°39'53.416"S	15	1,9	0,1	0,1
16	111°26'32.506"E 6°39'47.261"S	16	3,2	0,1	0,1
17	111°26'51.819"E 6°39'53.310"S	17	2,2	0,1	0,1
18	111°26'48.211"E 6°39'58.616"S	18	1,4	0,1	0,1
19	111°26'44.285"E 6°40'03.285"S	19	1	0,1	0,2
20	111°26'40.889"E 6°40'08.909"S	20	0,8	0,2	0,2

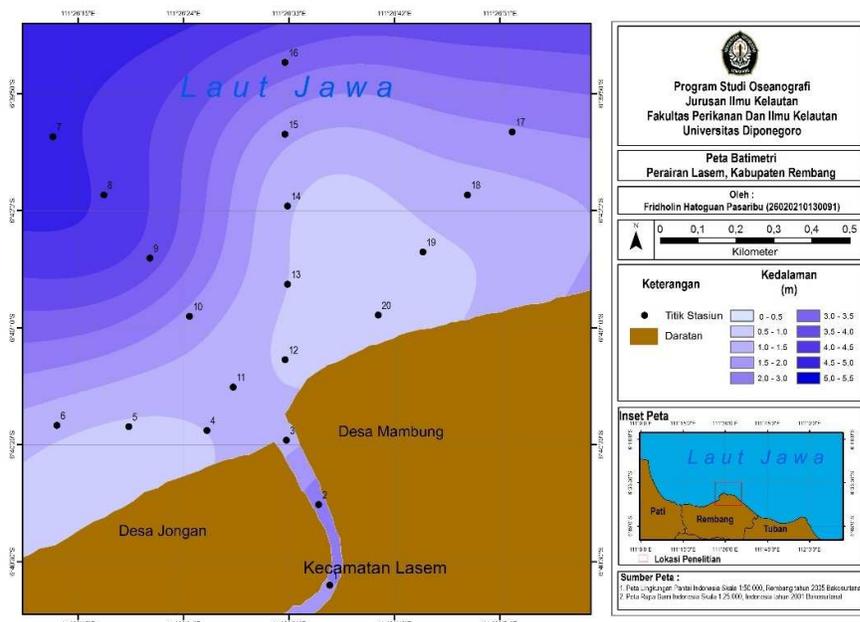
Berdasarkan hasil pengambilan sampel dan analisis laboratorium saat kondisi pasang nilai konsentrasi sedimen tersuspensi yang tertinggi terdapat di stasiun 2 dan 3 yang terletak di muara sungai yaitu 0,4 gr/l. Saat kondisi surut nilai konsentrasi yang tertinggi juga terdapat stasiun 3 di muara sungai yaitu 0,4 gr/l. Gambar hasil interpolasi menggunakan metode *Spline* dengan menggunakan *software* ArcGis 10.1. Metode *Spline* akan menginterpolasi terhadap nilai yang terdekat dengan titik yang terdekat dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Peta Sebaran Sedimen Tersuspensi saat Pasang



Gambar 3. Peta Sebaran Sedimen Tersuspensi saat Surut



Gambar 4. Peta Batimetri Perairan Lasem, Kabupaten Rembang

Pada peta sebaran sedimen tersuspensi konsentrasi terbesar terdapat di muara sungai Lasem. Sedimen yang masuk ke muara sungai dapat berasal dari hulu oleh *run off*, penggerusan dan aktivitas manusia yang dapat berupa organik maupun anorganik serta dipengaruhi oleh tingginya aktivitas nelayan, besarnya buangan material padatan tersuspensi, serta aktivitas hidro-oseanografi seperti arus dan pasang surut. Inilah yang membuat terjadinya penumpukan sedimen di mulut sungai dan terjadi proses pendangkalan. Ini didukung oleh pernyataan (Sarjono, 2009), bahwa lokasi muara sungai yang banyak dipengaruhi oleh aktivitas nelayan serta aktivitas hidro-oseanografi yang tinggi membuat muara sungai Lasem mengalami pendangkalan. Pengambilan sampel sedimen yang dilakukan saat pasang, air laut masuk ke arah hulu (sungai) dan akan bertemu dengan aliran sungai yang menuju ke laut menyebabkan suatu tempat kecepatan alirannya adalah nol dan kecepatan kedua aliran ini berlawanan atau melemah. Pada saat titik balik (*slack*), yaitu di sekitar air pasang tertinggi dan air surut terendah, kecepatan aliran kecil, sebagian besar sedimen mengendap. Ini lah yang membuat terjadinya penumpukan sedimen di

mulut sungai dan terjadi proses pendangkalan (Gambar 2) Pengambilan sedimen yang dilakukan saat surut, air laut dan aliran air sungai menuju ke laut menyebabkan sedimen yang berasal di muara sungai terbawa menuju laut dan menyebar ke segala arah terlihat dari hasil saat kondisi surut (Gambar 3) nilai konsentrasi sedimen tersuspensi pada stasiun 3 0,4 gr/l berbeda dengan konsentrasi sedimen tersuspensi saat kondisi pasang pada stasiun 2 dan 3 nilai konsentrasinya 0,4 gr/l.

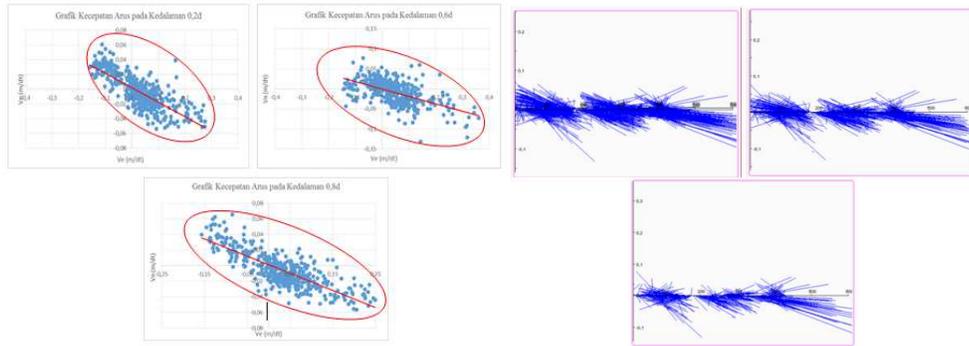
**Arus Laut**

Berdasarkan hasil pengukuran arus lapangan, kecepatan arus ditunjukkan pada Tabel 2.

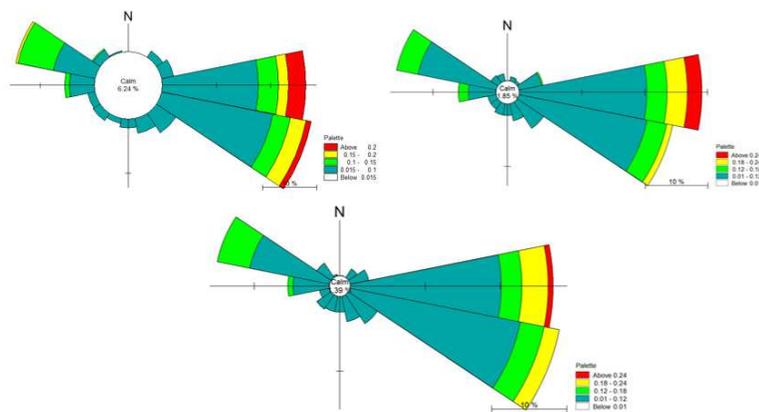
Tabel 2. Kecepatan Arus disetiap Kedalaman

Kedalaman	Kecepatan Maks (m/dt)	Kecepatan Min (m/dt)	Kecepatan Rata-rata (m/dt)
0,2d	0,369	0,003	0,083
0,6d	0,280	0,004	0,077
0,8d	0,253	0,001	0,074

Dari hasil pengukuran arus ini dihasilkan pula pola persebaran arah dan kecepatan arus pada kedalaman 0,2d, 0,6d dan 0,8d yang digambarkan oleh grafik *scatter plot*, *world current*, *current rose* dan *CD Oceanography*. Dari pola persebaran arah yang digambarkan oleh *scatter plot*, *current rose* dan *CD Oceanography* dapat dilihat bahwa dominansi arah arus menuju barat laut, timur dan tenggara Gambar 5 dan Gambar 6.

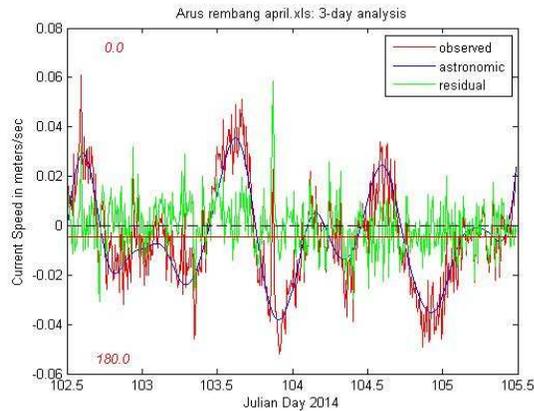


Gambar 5. Scatter Plot Arah dan CD Oceanography Kecepatan Arus pada setiap Kedalaman : a). 0,2d b). 0,6d dan c). 0,8d

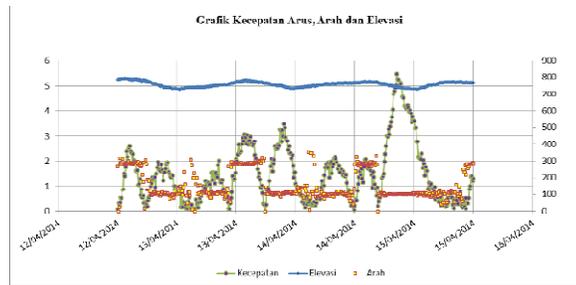


Gambar 6. Current Rose menggunakan software MIKE 21 Arah dan Kecepatan Arus pada setiap Kedalaman : a). 0,2d b). 0,6d dan c). 0,8d

Berdasarkan hasil analisis arus lapangan (Lampiran 3) menggunakan software *World Current* 1.03 Gambar 7. *World Current* dan grafik kecepatan arus terhadap arah dan elevasi (Gambar 8) menunjukkan bahwa kecepatan arus pasang lebih besar dibanding arus residu.



Gambar 7. Grafik data arus lapangan menggunakan *software World Current* (Sumber: hasil pengolahan lapangan 2014)



Gambar 8. Grafik Kecepatan Arus terhadap Arah dan Elevasi (Sumber: hasil pengolahan lapangan 2014)

Dari pola arus tersebut dapat dilihat bahwa arus cenderung mengikuti pola pergerakan pasang surut. Pada saat kondisi pasang arus bergerak menuju pantai dan ketika surut menjauhi laut. Hal ini sesuai dengan pendapat Hatayama *et al.*, (1996) dalam Furqon dan Taofiqurohman (2012) yang menyatakan, bahwa arus pasang surut pada saat pasang mentransportkan air laut menuju perairan pantai, dan saat surut mentransportkan air dari perairan pantai ke laut lepas.

**Pasang Surut**

Data pasang surut diperoleh dari data pengamatan di lapangan selama 15 hari pada tanggal 12 hingga 27 April 2014 (Lampiran 4), yang dianalisis menggunakan *World Tide* dan menghasilkan komponen pasang surut.

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Pengolahan *World Tide*

Komponen	S0	O1	P1	K1	N2	M2	S2	K2	M4	MS4
Amplitudo	0,87	0,214	0,031	0,383	0,06	0,032	0,034	0,062	0,003	0,001

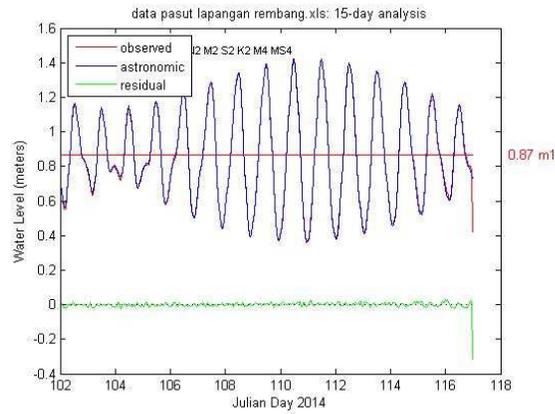
Dari nilai-nilai tersebut diperoleh nilai Tinggi Muka Air Rata-rata (*Mean Sea Level*), Tinggi Muka Air Tertinggi (*High Higher Water Level*), Tinggi Muka Air Terendah (*Low Lowest Water Level*) berturut-turut sebagai berikut :

- a. MSL = 0,87m
- b. LLWL = 0,114 m
- c. HHWL = 1,62

Dan, untuk tipe pasang surut diperoleh dengan Bilangan Formzahl :

$$Fz = \frac{M_2}{M_2 + S_2 + K_2} = \frac{0,032}{0,032 + 0,034 + 0,062} = 0,25$$

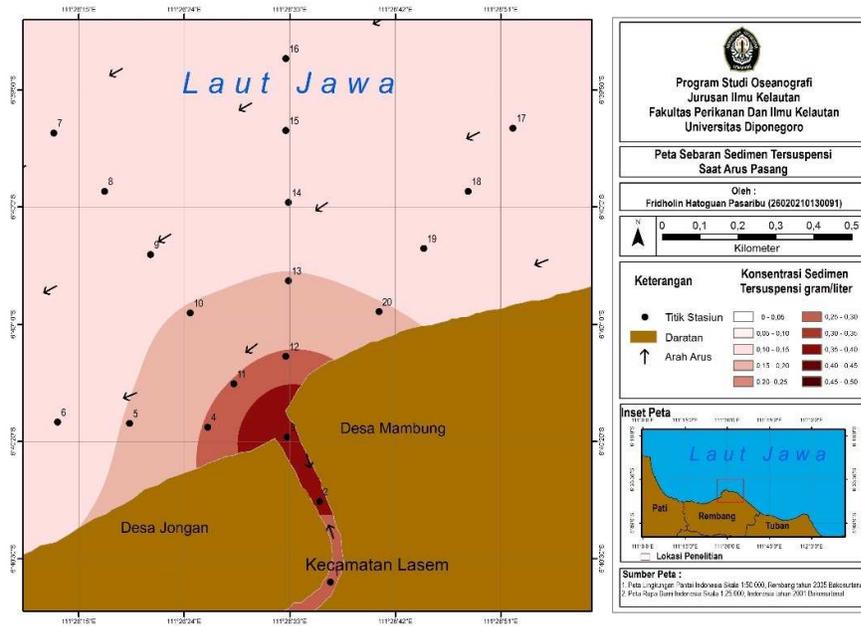
Berdasarkan analisis *World Tide* hasil nilai Formzahl di atas menunjukkan bahwa pada tipe pasut harian tunggal yaitu dengan nilai Formzahl 9,05



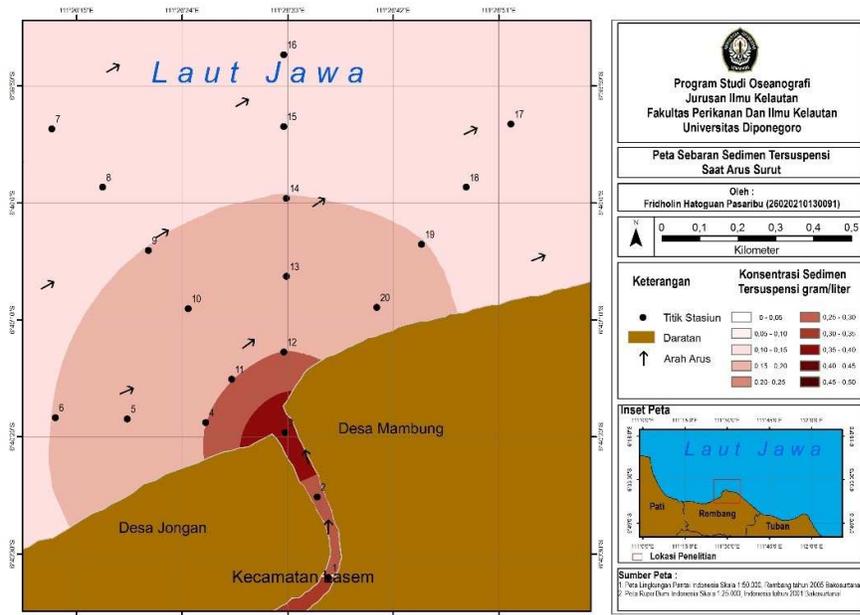
Gambar 9. Grafik Data Pengamatan Pasang Surut menggunakan *software* World Tide

### Simulasi Sebaran Sedimen Tersuspensi

Berdasarkan hasil analisis sampel sedimen tersuspensi dan analisis model arus yang di dapat diketahui saat kondisi arus pasang nilai konsentrasi sedimen tersuspensi yang tertinggi terdapat di stasiun 2 dan 3 yang terletak di muara sungai yaitu 0,4 gr/l dengan kecepatan arus antara 0,001 – 0,003 m/dt. Saat kondisi arus surut nilai konsentrasi yang tertinggi juga terdapat stasiun 3 di muara sungai yaitu 0,4 gr/l dengan kecepatan arus antara 0,001 – 0,002 m/dt.



Gambar 10. Peta Sebaran Sedimen Tersuspensi saat kondisi Arus Pasang

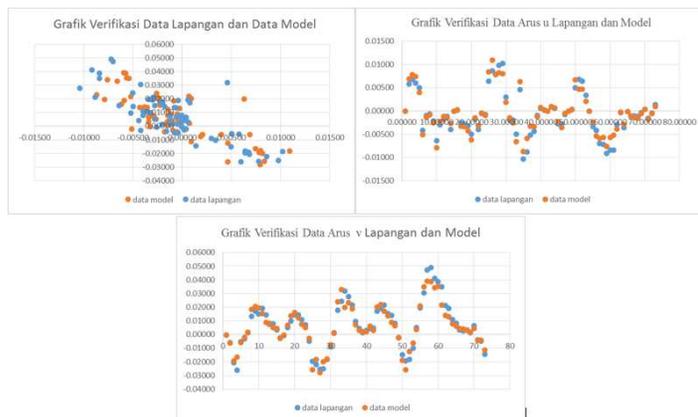


Gambar 11. Peta Sebaran Sedimen Tersuspensi saat kondisi Arus Surut

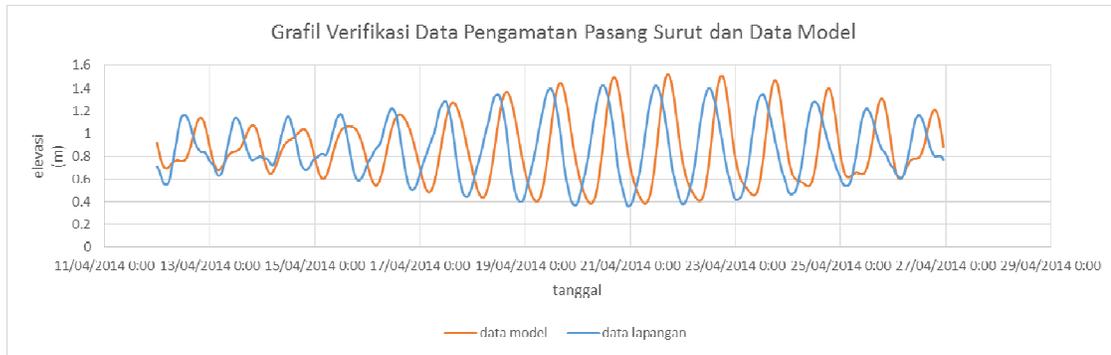
Berdasarkan uraian diatas, bahwa arus mempengaruhi penyebaran sedimen suspensi di perairan Lasem, Kabupaten Rembang. Hal ini dapat dilihat bahwa pola persebaran sedimen suspensi dipengaruhi oleh arus pasang surut yang menjadi dominansi arus di perairan Lasem. Berdasarkan hasil simulasi model dapat dilihat bahwa saat kondisi pasang, pola arus bergerak ke daratan dan ketika saat surut arus menjauhi daratan (menuju laut). Ini didukung dengan hasil pengukuran lapangan dimana pengambilan sampel sedimen yang diambil saat kondisi pasang membuat pola persebaran sedimen suspensi (Gambar 2) memiliki nilai yang tinggi di muara sungai Lasem, dan konsentrasi dari arah laut yang cenderung besar terangkut pula ke arah mulut sungai saat kondisi pasang dan sebaliknya saat kondisi surut konsentrasi sedimen suspensi yang berada di mulut sungai menyebar ke arah laut yang dipengaruhi arus surut (Gambar 3) . Hal ini sesuai dengan pendapat Mulyanto (2010), bahwa air pasang akan membawa sedimen dari laut ke dalam muara sungai untuk diendapkan di dalam muara dan menambah tinggi endapan di daerah tersebut.

**Verifikasi Data Pengamatan dan Data Model**

Berdasarkan hasil perhitungan *Mean Relative Error* (MRE), diperoleh hasil bahwa nilai error antara hasil data arus lapangan dengan simulasi model sebesar 26,5 % untuk arah u dan 27,7 % arah v (Gambar 12) dan hasil perhitungan *Mean Relative Error* (MRE) data pengamatan pasang surut dan pasang surut model sebesar 19,2 % (Gambar 13).



Gambar 12. Grafik Verifikasi Arus Data Pengamatan dan Data Model



Gambar 13. Grafik Verifikasi Data Pasang Surut Pengamatan dan Data Model

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi sedimen tersuspensi tertinggi terdapat di muara sungai Lasem saat pasang 0,4 gr/l di stasiun 2 dan 3 dan saat surut 0,4 gr/l di stasiun 3. Arus yang dominan di perairan Lasem adalah arus pasut dengan dominasi arah barat laut, timur dan tenggara yang berpengaruh terhadap sebaran sedimen tersuspensi, Arus saat pasang membawa sedimen tersuspensi dari laut kearah muara sungai dan saat arus surut sedimen tersuspensi yang berada di muara sungai terbawa arus menuju laut. Kecepatan arus di kedalaman 0,2d berkisar antara 0,003 – 0,369 m/dt, kedalaman 0,6d kecepatan arus antara 0,004 – 0,280 m/dt dan kedalaman 0,6d kecepatan arus berkisar antara 0,001 – 0,253 m/dt.

#### Daftar Pustaka

- Fuqron, M, A, I dan A. Taofiqurohman. 2012. Simulasi Numeris Arus Pasang Surut di Perairan Cirebon. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Jakarta.
- Mulyanto, H.R. 2010. Prinsip Rekayasa Pengendalian Muara dan Pantai. Graha Ilmu : Yogyakarta. 124 hlm
- Notoatmodjo, S. 2005. Metodologi Penelitian Kesehatan. Reneka Cipta. Jakarta. 208 hlm.
- Sarjono, A. 2009. Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg Pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara. [Skripsi]. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Satriadi, A dan S. Widada. 2004. Distribusi Muatan Padatan Tersuspensi di Muara Sungai Bodri, Kabupaten Kendal. Jurusan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sevilla. 1993. Pengantar Metode Penelitian, Universitas Indonesia, UI Press.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Gajah Mada Edisi Ke 1, Yogyakarta.