

## Sebaran Konsentrasi Fosfat di Muara Sungai Sengkarang dengan Pendekatan Model Matematika 2 Dimensi

Talitha Rahma Damayanti\*, Aris Ismanto, Elis Indrayanti, Muhammad Zainuri, dan Lilik Maslukah

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Kode Pos 50275 Telp/fax (024) 7474698

\*Email: talitharahmadamayanti@students.undip.ac.id

### Abstrak

Sungai Sengkarang merupakan salah satu sungai terbesar di Kabupaten Pekalongan yang alirannya membawa limbah rumah tangga maupun limbah industri dari aktivitas warga sekitar. Limbah tersebut banyak berkontribusi terhadap masukan nutrisi ke dalam perairan, salah satunya adalah fosfat. Di perairan muara, fosfat akan didistribusikan oleh pengaruh pasang surut. Kondisi tersebut mengakibatkan kenaikan konsentrasi fosfat dimana fosfat merupakan salah satu unsur yang memberikan efek terhadap kesuburan perairan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa model pola sebaran konsentrasi fosfat di muara Sungai Sengkarang oleh pengaruh arus pasang dan surut menggunakan pendekatan model matematika 2 dimensi. Penelitian ini dibagi dalam dua proses pengolahan data yaitu tahap pengambilan sampel lapangan dan pemodelan menggunakan software Delft3D. Tahap pemodelan distribusi fosfat menggunakan modul hidrodinamika flow untuk memodelkan arah dan kecepatan arus laut, kemudian dilanjutkan simulasi model sebaran fosfat. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi fosfat di Muara Sungai Sengkarang memiliki range nilai antara  $2,9 \times 10^{-3} - 3,9 \times 10^{-3}$  mg/L. Pola sebaran konsentrasi fosfat searah dengan pergerakan pola arus yang terjadi di perairan baik pada kondisi pasang maupun surut.

**Kata kunci :** Sebaran Fosfat, Arus Pasang Surut, Sungai Sengkarang, Perairan Pekalongan

### Abstract

*Sengkarang River is one of the largest rivers in Pekalongan Regency whose flow carries household waste and industrial waste from the activities of the surrounding residents. These wastes contribute a lot to the input of nutrients into the waters, one of which is phosphate. In estuary waters, phosphates will be distributed by tidal influences. This condition results in an increase in phosphate concentration where phosphate is one of the elements that have an effect the water fertility. The purpose of this study was to analyze the pattern of phosphate concentration distribution at the mouth of the Sengkarang River which was influenced by tidal currents with the approach of a 2-dimensional mathematical model. The research is divided into two data processing process, namely field sampling and modeling using software Delft3D. The phosphate distribution modeling stage uses the flow hydrodynamic module to model the direction and speed of the ocean current and then proceeds to model the distribution of phosphate distributions. The results showed phosphate concentrations at the mouth of the Sengkarang River ranged from  $2,9 \times 10^{-3} - 3,9 \times 10^{-3}$  mg/L. The pattern of spreading phosphate concentrations in the direction of the movement of current patterns that occur in the water both in tidal and low conditions.*

**Keywords :** Phosphate Distribution, Tidal Currents, Sengkarang River, Pekalongan Waters

### PENDAHULUAN

Sungai Sengkarang terletak di Kabupaten Pekalongan yang memiliki dimensi lebar sungai  $\pm 70$  m dan panjang  $\pm 52$  km, yang terbentang dari Pegunungan Seraya Utara dan Pegunungan Kendalisodo di Desa Gumelem, Kecamatan Petungkriyono, Kabupaten Pekalongan. Sungai ini bermuara ke perairan Kabupaten Pekalongan (Wahyudi et al., 2019). Garis Pantai Kabupaten Pekalongan terbentang 8,42 km dari barat ke timur dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Secara morfologis pantai yang berada di Kabupaten Pekalongan berbentuk landai yang secara mayoritas tersusun oleh pasir, tidak berbatu, tipe perairannya bersifat terbuka, serta ombak pantai yang relatif tenang. Banyaknya aktivitas manusia dan industri di sekitar Sungai Sengkarang menyebabkan produksi limbah rumah tangga dan industri juga bertambah. Aliran Sungai Sengkarang akan membawa air limbah tersebut dan bermuara ke laut. Selain itu, Sungai Sengkarang juga dimanfaatkan untuk jalur lalu lalang kapal / sopek bagi nelayan untuk melaut, memancing, mandi cuci kakus, arum jeram dan lain-lain. Produksi limbah yang cukup banyak akan berdampak pada tingkat kesuburan perairan.

Kondisi kesuburan suatu perairan dapat dipengaruhi oleh besar kecilnya kadar zat hara yang terkandung di dalam perairan tersebut, salah satunya adalah fosfat. Fosfat merupakan salah satu nutrien yang digunakan oleh semua organisme pada perairan untuk pertumbuhan, perkembangan dan sumber energi. Berdasarkan hal tersebut, fosfat merupakan salah satu parameter kesuburan maupun kualitas suatu perairan. Pada umumnya, fosfat dapat ditemukan di suatu perairan dalam bentuk fosfat organik terlarut dan fosfat anorganik terlarut (Ganis et al., 2016). Konsentrasi maupun persebaran fosfat dalam perairan dipengaruhi oleh pasang surut yang mengakibatkan terjadinya dinamika pada stratifikasi perairan, wilayah pantai maupun biota yang ada didalamnya. Hasil penelitian terkait fosfat oleh pengaruh pasang surut telah dilakukan oleh Maslukah et al (2014) di perairan Jepara. Namun penelitian terkait model sebaran menggunakan pemodelan matematik belum pernah dilakukan. Penelitian ini memiliki sasaran untuk mengetahui pola sebaran pada saat kondisi surut dan memodelkan pola sebaran konsentrasi fosfat oleh pengaruh pasang surut. Inputan konsentrasi fosfat disimulasikan berasal dari sungai dan simulasi model menggunakan model matematika 2 dimensi dengan perangkat lunak Delft3D.

**MATERI DAN METODE**

**Materi Penelitian**

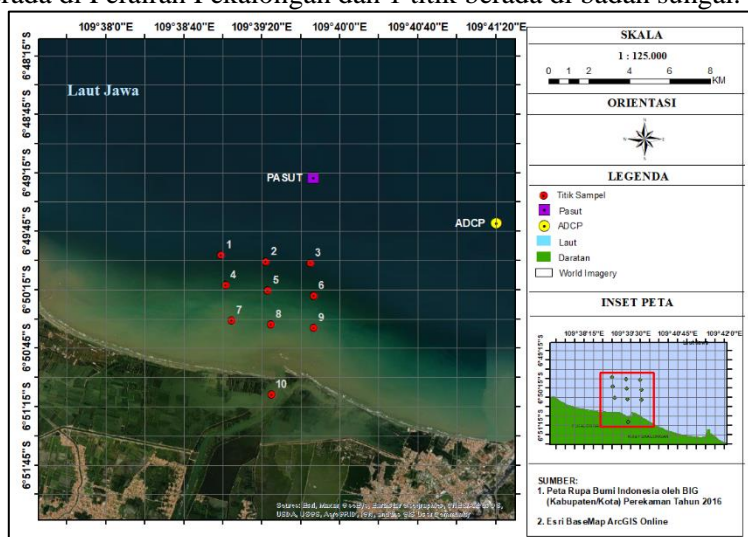
Materi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer yang berasal dari pengukuran lapangan, dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini meliputi hasil pengukuran konsentrasi fosfat di lokasi titik sampel di lapangan. Sedangkan untuk data sekunder berupa arus laut, pasang surut Perairan Pekalongan, batimetri, debit air sungai dan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) tahun 2016.

**Metode Penelitian**

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan analisisnya menggunakan model (Martono, 2010). Penelitian tentang model persebaran konsentrasi fosfat di muara Sungai Sengkarang ini meliputi dua tahapan yaitu tahap awal penelitian dan tahap pengolahan data. Tahap awal berupa tahap pengumpulan dan pengambilan data serta tahap pengolahan meliputi analisis data.. Selain itu, pada penelitian ini juga menggunakan metode deskriptif (Sudjana, 1992). Dalam penelitian ini akan digambarkan bagaimana persebaran konsentrasi fosfat di muara Sungai Sengkarang yang terletak di Kabupaten Pekalongan berdasarkan kondisi yang dipengaruhi oleh arus pasang surut dan debit Sungai Sengkarang.

**Metode Penentuan Lokasi**

Penentuan titik lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling*. Pengambilan sampel penelitian ini dilakukan di Muara Sungai Sengkarang, Kabupaten Pekalongan dengan 9 titik yang berada di Perairan Pekalongan dan 1 titik berada di badan sungai.



**Gambar 1.** Titik lokasi pengambilan sampel penelitian

Dimana jarak antar sembilan titik koordinat tersebut  $\pm 700$  m. Lokasi pengambilan sampel di perairan muara Sungai Sengkarang, Kabupaten Pekalongan dilakukan pada koordinat  $06^{\circ}49'57.1''$  hingga  $06^{\circ}50'34.4''$  LS dan  $109^{\circ}38'59.62''$  hingga  $109^{\circ}39'46.95''$  BT.

### Metode Pengambilan Sampel Air Laut

Pengambilan sampel air laut dilakukan ketika kondisi perairan pasang menuju surut pada titik yang ditentukan (Gambar 1). Pada kondisi ini massa air akan meninggalkan estuari menuju laut dan pada bagian hulu sungai massa air tetap mengalir masuk ke estuari. Hal ini menggambarkan proses terjadinya masuknya nutrisi fosfat dari sungai ke perairan laut. Pengambilan sampel dilapangan kondisinya disamakan, yaitu pada kondisi pasang menuju surut. Pasang surut berperan dalam penyebaran nutrisi fosfat di daerah estuari dan berperan penting terhadap fluktuasi air di daerah muara (Maslukah *et al.*, 2014). Pengambilan sampel air di lapangan dilakukan pada tanggal 15 Juni 2021 dengan menggunakan botol nansen. Sampel air diambil pada kedalaman 0,2D (D = kedalaman) pada setiap stasiun. Sampel air yang sudah didapatkan langsung dipindahkan ke dalam botol sampel dan disimpan ke dalam *cool box* yang terisi oleh es batu.

### Data Debit Aliran Sungai, Batimetri dan Pasang Surut

Data debit aliran Sungai Sengkarang diperoleh dari Dinas Pusdataru Provinsi Jawa Tengah. Data tersebut kemudian diolah menjadi data inputan dalam model. Data Batimetri diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan data pasang surut didapatkan dari website Badan Informasi Geospasial (BIG), <http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/>. Pengolahan data pasang surut BIG yang sudah diperoleh digunakan untuk input model sedangkan data olahan dari ADCP sebagai validasi untuk pemodelan. Selanjutnya untuk data arus diukur menggunakan ADCP pada bulan April 2021. Data tersebut digunakan untuk verifikasi hasil model.

### Metode Analisis Sampel Air Laut

Konsentrasi fosfat di analisa di Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) menggunakan metode uji internal yang sudah terakreditasi oleh KAN yaitu metode MU 2.08 (*Discrete Photometry*) dengan Spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran konsentrasi/analisa sampel dilakukan dalam sekali pengulangan tetapi dalam pengujian ada jaminan mutu internal yang harus dipenuhi. Hasil analisis data disajikan secara deskriptif dan statistik.

### Metode Pemodelan Arus Pasut Delft3D

Pemodelan arus pada penelitian ini menggunakan *software* Delft3D-FLOW model hidrodinamik 2D ditujukan untuk mencari kecepatan dan arah arus. Pemodelan arus pasut dalam penelitian kali ini diverifikasi dengan hasil pasang surut perekaman 30 hari. Pemodelan arus menggunakan Delft3D diawali dengan pembuatan grid atau cell. Cell pada setiap grid merupakan hal pokok yang harus diperhatikan sebelum melakukan pemodelan dengan Delft3D, karena hal tersebut dapat menentukan kestabilan dari model yang dibuat. Pembuatan grid diawali dengan membuat *land boundary* bertujuan untuk menyesuaikan koordinat wilayah yang diteliti. Area pemodelan arus dilakukan dengan satu layer pada kedalaman 0,2 m, dengan 4 batas terbuka / *open land boundary* (3 batas laut dengan diisi dengan kondisi pasang surut dan 1 batas sungai diisi dengan kondisi aliran sungai *continue*).

Setelah pembuatan grid selesai, dilanjutkan dengan melakukan modul FLOW-Delft3D. Modul FLOW ini secara matematis telah terkoneksi dengan perhitungan hidrodinamika. Perhitungan hidrodinamika tersebut diperlukan untuk deskripsi data inputan berupa waktu, interval waktu, *time step*, batimetri dan pasang surut. Panjang domain model arus Perairan Pekalongan diwakili oleh  $m$  dan  $n$ , dimana  $m$  searah sumbu  $x$  dan  $n$  searah sumbu  $y$ . Domain model sebaran fosfat memiliki 4 batas terbuka dan 10 titik pengamatan yang sama dengan titik pengumpulan data lapangan. Data kedalaman ( $xyz$ ) juga dapat diinterpolasi untuk mendapatkan lebih banyak detail. Setelah menjelaskan semua data masukan dengan benar, simpan file dalam format *.mdf*, lalu jalankan proses *running*, hasilnya akan dijalankan oleh Quickplot (Deltares, 2011).

### Metode Pemodelan Sebaran

Pemodelan aliran air Sungai Sengkarang dibuat untuk mengetahui pola persebaran konsentrasi fosfat yang berada di aliran sungai tersebut, langkah yang digunakan dalam memodelkannya tidak jauh berbeda dengan memodelkan arus. Perbedaan keduanya hanya terletak pada data inputan, dimana pada pemodelan aliran air Sungai Sengkarang ditambahkan syarat batas sungai yaitu *output* debit total dari sungai (total

*discharge*) yang membawa konsentrasi fosfat. Nilai fosfat yang diinputkan atau diskenariokan sebesar  $5 \times 10^{-3}$  mg/L dan masuk ke perairan laut secara terus menerus (*continue*). Nilai ini mengacu dari hasil analisis pada stasiun 10. Posisi letak inputan konsentrasi fosfat tepat pada grid yang mewakili posisi sungai, sebagai kondisi awal (*initial condition*) sebelum masuk ke laut dengan konsentrasi fosfat sebesar 0 mg/L (kondisi laut bersih), dan kemudian mendeskripsikan konsentrasi fosfat yang dibawa oleh kondisi pasut (masuk dari laut) yaitu sebesar  $4,2 \times 10^{-3}$  mg/L (rata-rata hasil pengukuran 9 titik) yang tidak melebihi baku mutu konsentrasi fosfat yang ditetapkan oleh KepmenLH No. 51 tahun 2004). Fokus dari penelitian ini terletak pada bagaimana kondisi sebaran nutrisi fosfat yang masuk ke dalam perairan muara Sungai Sengkarang Kabupaten Pekalongan, maka pemodelan dilakukan dengan skenario sebaran konsentrasi fosfat hasil inputan dari sungai yang dipengaruhi oleh beberapa parameter oseanografi seperti pasang surut dan pola arus.

### Metode Analisis Validasi Model

Validasi pada penelitian ini dilakukan terhadap hasil yang diperoleh dari simulasi model Delft3D dengan hasil pengukuran di lapangan, diantaranya dengan menggunakan *current rose* untuk melihat arah dan kecepatan arus dan grafik pasang surut untuk membandingkan hasil model dan pengamatan. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kesalahan relatif dari hasil model sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan lainnya.

Perhitungan validasi menggunakan metode *Root Mean Square* (RMS), dengan RMS sebagai nilai non-dimensional yang menunjukkan kecocokan dua jenis data (Ismanto *et al.*, 2019). Nilai validasi dengan RMS dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$X_{rms} = \left( \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}{n}} \right)$$

Dengan  $\Delta x_n = b_n - a_n$ , dimana

$b_1, b_2, \dots, b_n$  = hasil dari model

$a_1, a_2, \dots, a_n$  = hasil dari pengukuran lapangan

Untuk model daerah estuari dikatakan baik harus memenuhi beberapa ketentuan (Evans, 1993):

- Elevasi muka air pada mulut muara mencapai  $\pm 0,1$  m dan pada bagian ujung muara  $\pm 0,3$  m;
- Kecepatan mencapai  $\pm 0,2$  m/s;
- Arah mencapai  $\pm 20$  derajat (tidak berlaku untuk model 1 dimensi);
- Waktu saat level air tinggi pada mulut muara  $\pm 15$  menit, dan 25 menit pada ujung muara;
- Salinitas pada mulut dan ujung muara sekitar 1 psu dan 5 psu atau lebih terdapat pada daerah yang mengalami tingkat perubahan paling cepat.

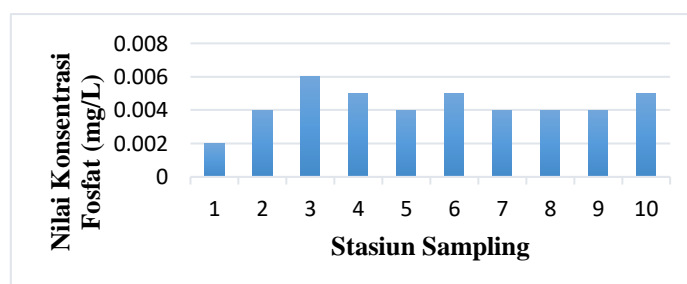
Atau dapat dinyatakan dalam persentase yaitu,

- Kecepatan mencapai  $\pm 10-20$  % dari kecepatan yang diamati di lapangan.
- Elevasi muka air mencapai 15 % dari jangkauan *Spring tide* atau 20% dari jangkauan *Neap tide*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konsentrasi Fosfat Pengambilan sampel di Lapangan

Nilai konsentrasi fosfat pada Muara Sungai Sengkarang memiliki range nilai antara  $2 \times 10^{-3}$  –  $6 \times 10^{-3}$  mg/L dengan rata-rata nilai konsentrasi fosfat sebesar  $4,2 \times 10^{-3}$  mg/L.

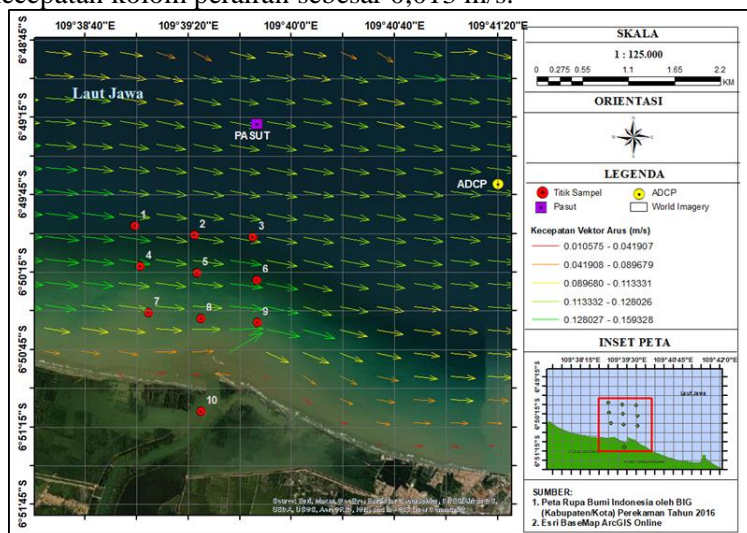


Gambar 2. Grafik nilai konsentrasi fosfat di muara Sungai Sengkarang

Nilai fosfat relatif tinggi ditunjukkan pada stasiun 4, 6, dan 10 sedangkan yang tertinggi berada pada stasiun 3. Nilai konsentrasi fosfat terendah berada pada stasiun 1. Konsentrasi pada stasiun 7 sampai 9 menunjukkan hasil yang linier. Hasil pengukuran nilai konsentrasi fosfat ditunjukkan pada Gambar 2.

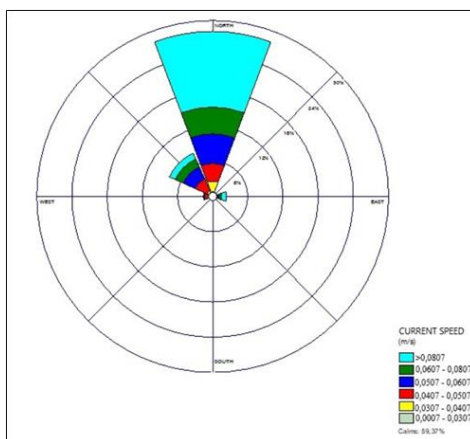
**Karakteristik di Sekitar Muara Sungai Sengkarang**

Pengolahan data arus di sekitar Muara Sungai Sengkarang dilakukan dengan menggunakan simulasi model Delft3D. Pola arah arus pada saat pengambilan sampel 15 Juni 2021 bergerak ke arah Barat Laut seperti yang terlihat pada Gambar 3. Kecepatan arus pada saat pengambilan sampel berkisar antara 0,0105 – 0,159 m/s dengan rata-rata kecepatan kolom perairan sebesar 0,013 m/s.



**Gambar 3.** Pola arus saat kondisi pasang menuju surut pada 15 Juni 2021

Arus pasang surut di sekitar Pesisir Pekalongan bergerak dominan dari arah selatan ke arah utara pada bulan Juni. Pada titik pengukuran ADCP diperoleh kecepatan arus rata-rata sebesar 0,093 m/s dengan kecepatan arus maksimum 0,239 m/s dan kecepatan arus minimum 0,0007 m/s serta arah dominan arus ke arah selatan seperti terlihat pada Gambar 4.

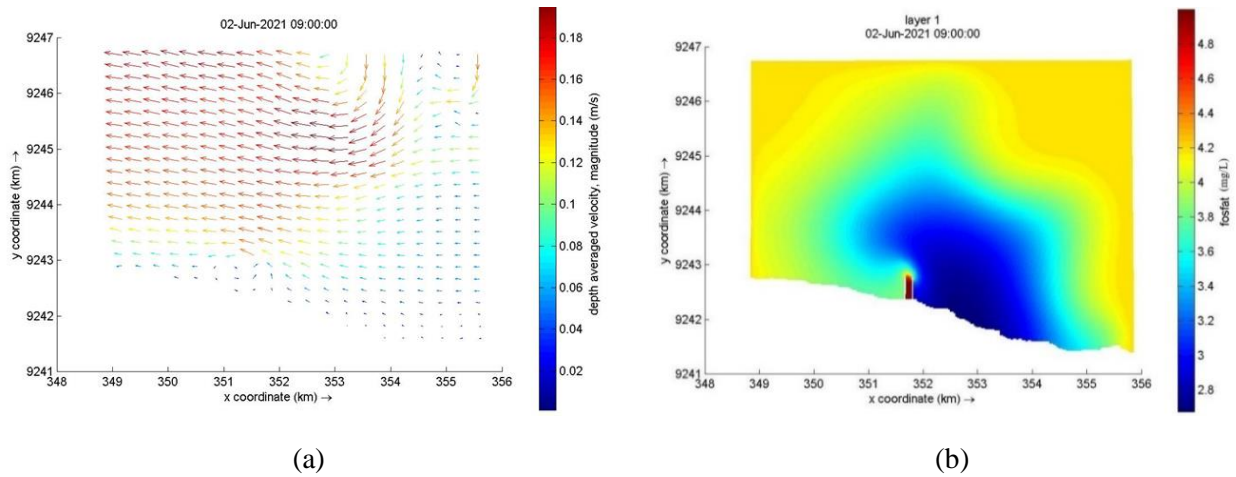


**Gambar 4.** Current rose hasil pemodelan arus bulan Juni

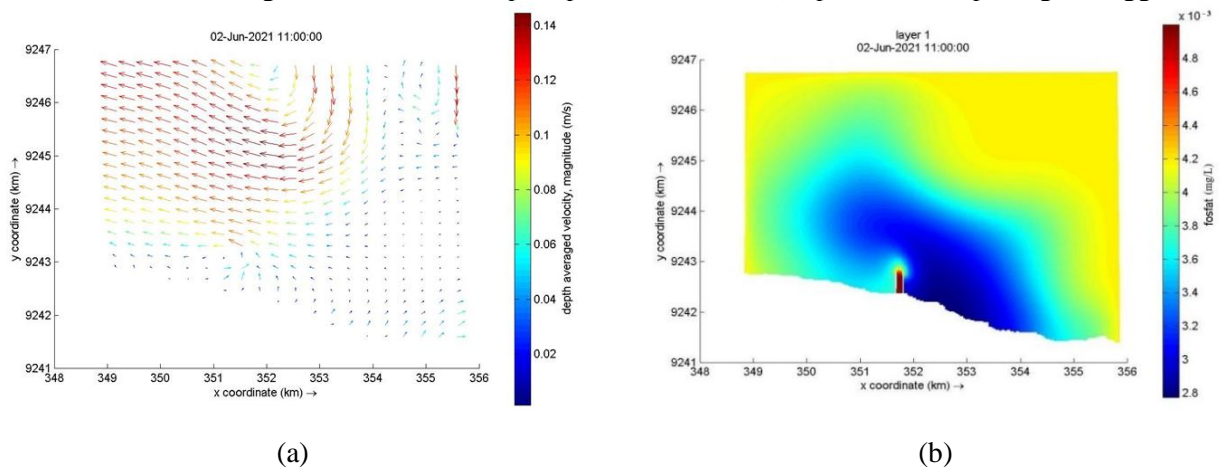
**Model Persebaran Fosfat dan Arus Pasang Surut**

Persebaran fosfat dan pergerakan arus pasang surut di perairan sekitar Muara Sungai Sengkarang Pekalongan diolah menggunakan software Delft3D dan menghasilkan model seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 – 8.. Gambar tersebut merupakan perwakilan di setiap kondisi pasang surut dari hasil *running* model selama 30 hari. Untuk pola fluktuasi model konsentrasi fosfat pada setiap stasiun di sajikan pada Gambar 9.

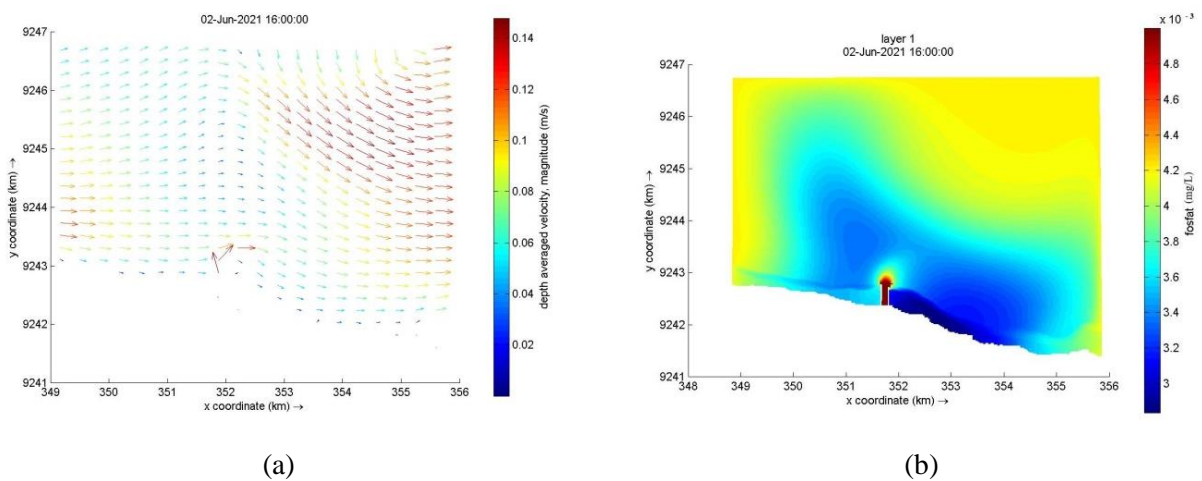




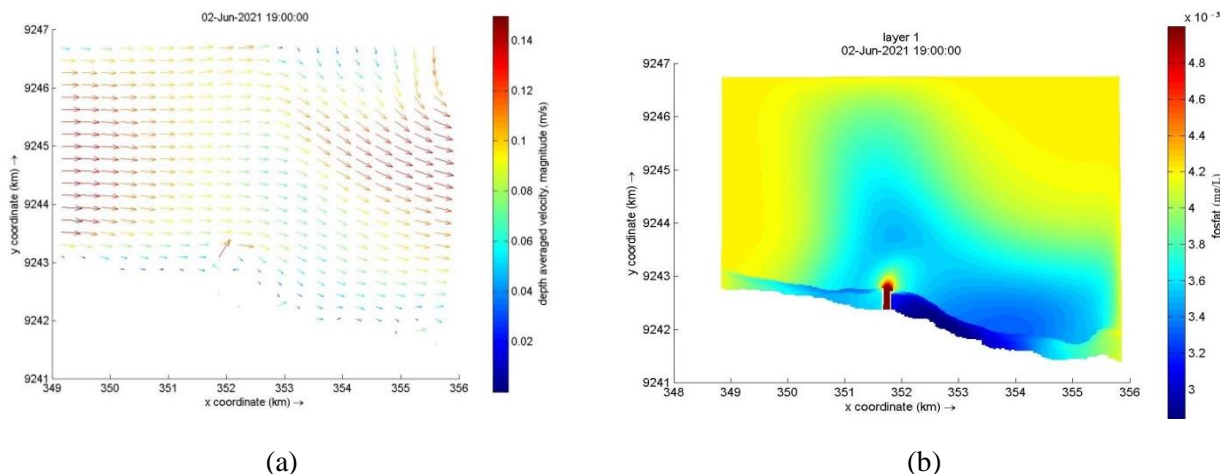
**Gambar 5.** Pergerakan arus (a) dan pola persebaran fosfat (b) pada kondisi pasang tertinggi



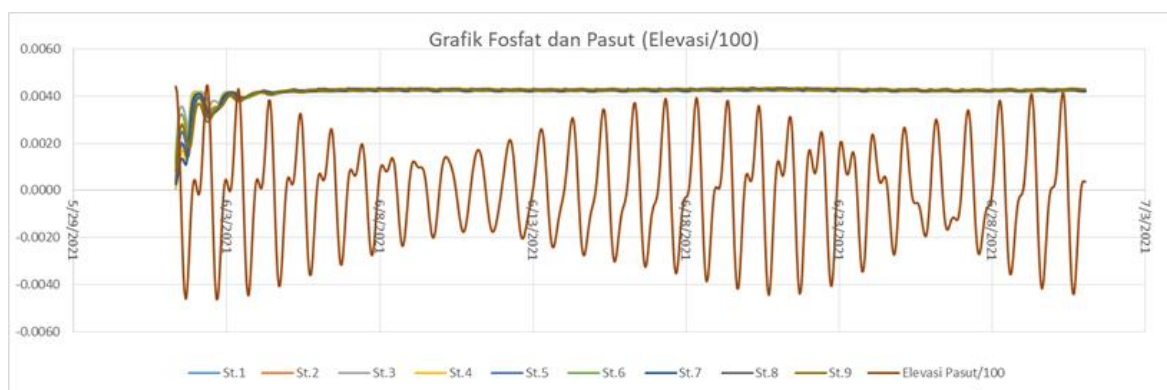
**Gambar 6.** Pergerakan arus (a) dan persebaran fosfat (b) pada kondisi pasang menuju surut



**Gambar 7.** Pergerakan arus (a) dan persebaran fosfat pada kondisi surut terendah

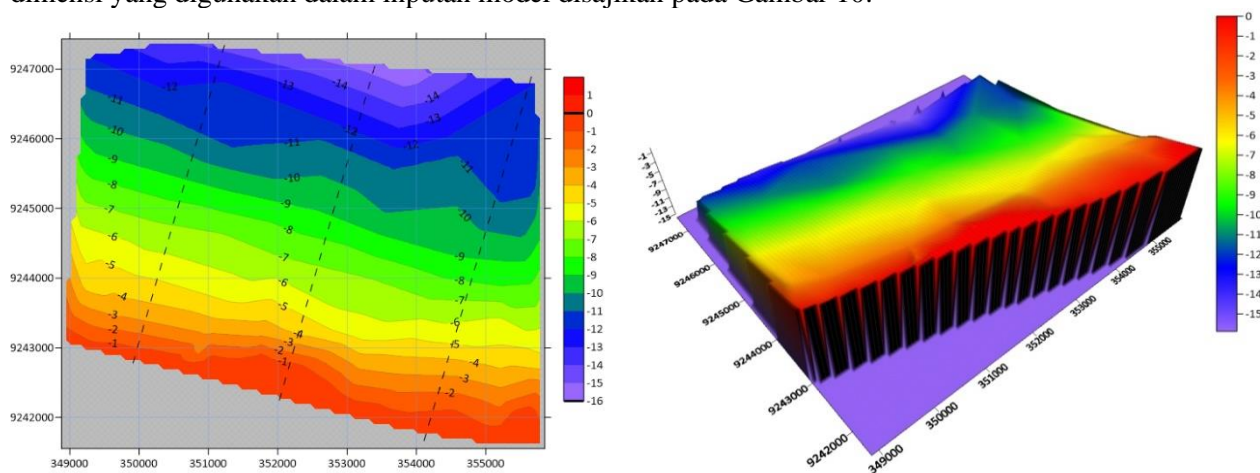


**Gambar 8.** Pergerakan arus (a) dan persebaran fosfat (b) pada kondisi surut menuju pasang.



**Gambar 9.** Grafik konsentrasi fosfat hasil model di semua stasiun

Pada hasil pemodelan sebaran fosfat di Muara Sungai Sengkarang diperoleh data berupa konsentrasi fosfat dari stasiun 1 sampai stasiun 9 masing-masing memiliki rata-rata sebesar  $4,1 \times 10^{-3}$  mg/L selama bulan Juni. Konsentrasi sebaran fosfat tertinggi berada pada stasiun 3 yakni sebesar  $6 \times 10^{-3}$  mg/L. Sedangkan untuk konsentrasi terendah terletak pada stasiun 1 yakni sebesar  $1 \times 10^{-3}$  mg/L. Kedalaman perairan (batimetri) 2 dan 3 dimensi yang digunakan dalam inputan model disajikan pada Gambar 10.

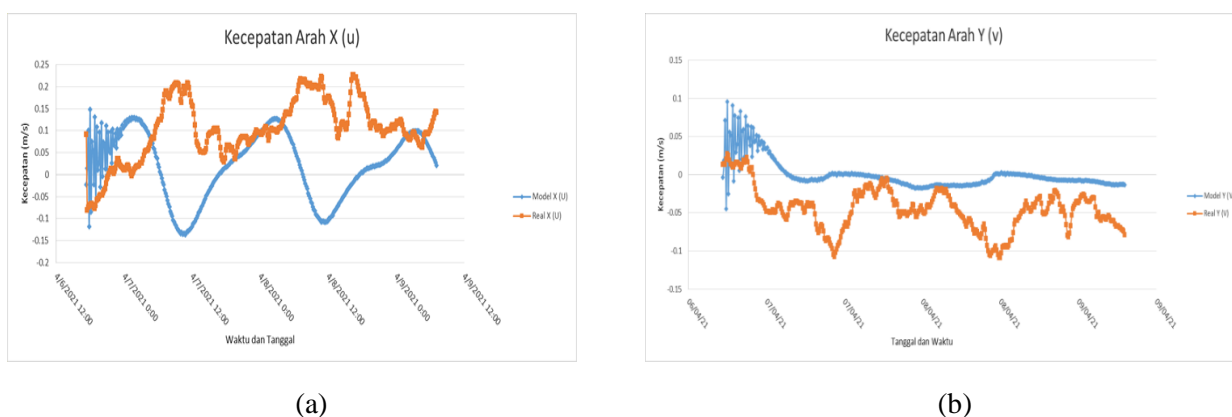


**Gambar 10.** Kontur batimetri 2 dimensi (a) dan 3D frame (b) perairan muara Sungai Sengkarang

## Validasi Model

### 1. Validasi Arus

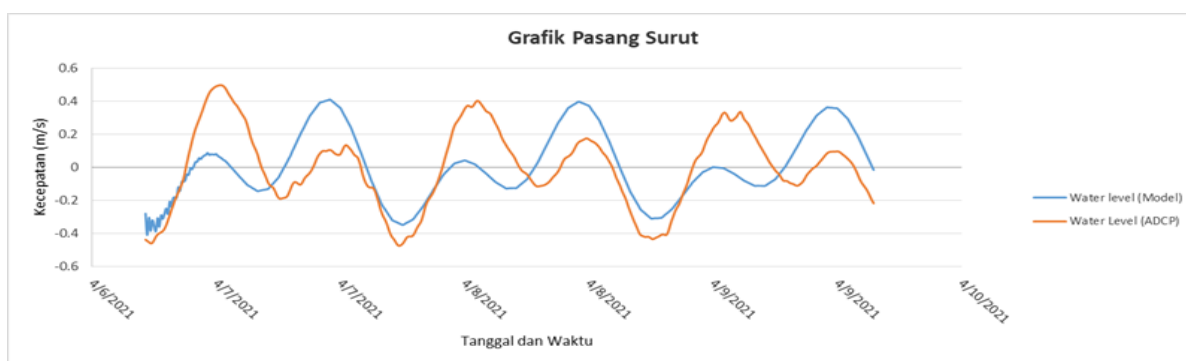
Proses validasi arus dilakukan melalui perhitungan nilai RMS untuk kedua komponen arus yaitu u (kecepatan arah x) dan v (kecepatan arah y) pada hasil pengamatan lapangan ADCP dan hasil model (pada titik ADCP) pada tanggal 6 April sampai 9 April 2021 dengan interval 10 menit. Nilai RMS yang diperoleh untuk komponen u dan v berturut-turut adalah 16% dan 6%. Sedangkan nilai RMS untuk nilai magnitude kecepatan arus dari ADCP pengukuran lapangan dan hasil pemodelan di titik ADCP sebesar 9%. Evans (1993) menjelaskan apabila kecepatan arus laut di estuari (muara sungai) memiliki nilai error tidak melebihi 20% maka model dapat mempresentasikan kecepatan arus laut di alam. Dengan demikian, hasil ini selanjutnya dapat digunakan untuk me-running model sebaran fosfat di Muara Sungai Sengkarang pada bulan Juni. Hasil pemodelan untuk komponen kecepatan maksimum dibedakan menjadi kecepatan dalam arah x (u) dan kecepatan dalam arah y (v) diperoleh sebesar 0,14 m/s dan 0,09 m/s. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dari hasil data yang diperoleh dilapangan untuk komponen kecepatan u dan v yaitu sebesar 0,22 m/s dan 0,01 m/s. Pola kecepatan arusnya hasil pemodelan dan data lapangan memiliki sedikit kemiripan seperti yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Verifikasi Kecepatan Arus Hasil Model dan Lapangan Kecepatan Arah X (u) (a) dan Arah Y (v) (b)

### 2. Validasi Pasang Surut

Validasi tinggi muka air laut dilakukan dengan membandingkan data elevasi muka air laut dari model dengan data elevasi muka air dari pengukuran data lapangan. Validasi model menggunakan metode RMS secara kuantitatif. Gambar 12 memperlihatkan pola dari pasang surut lapangan dengan model pun memiliki kesamaan yaitu campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*). Hasil uji validasi RMS pada model tersebut memiliki nilai *error* yaitu 0,17 atau 17%. Perhitungan validasi elevasi muka air laut antara model dengan lapangan dapat mempresentasikan elevasi muka air laut di alam dan selanjutnya dapat digunakan untuk me-running model sebaran fosfat di Muara Sungai Sengkarang pada Bulan Juni.

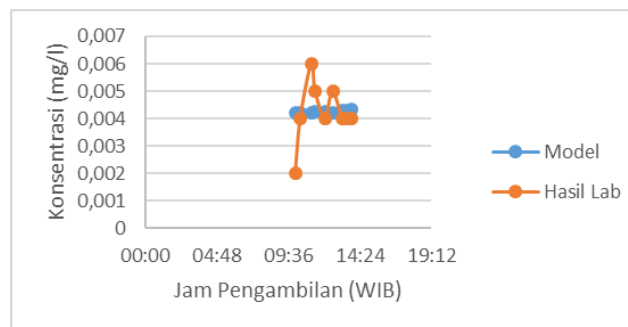


Gambar 12. Grafik pasang surut



### 3. Validasi Konsentrasi Fosfat

Validasi konsentrasi fosfat dilakukan dengan cara membandingkan data hasil pengukuran sampel di lapangan dengan data konsentrasi hasil pemodelan. Hasil validasi disajikan pada Gambar 13 dan memperlihatkan pola yang tidak mirip. Hasil model memiliki nilai yang hampir homogen dibanding konsentrasi hasil pengambilan sampel di lapangan.



**Gambar 13.** Grafik konsentrasi fosfat hasil model dan lapangan.

## PEMBAHASAN

Hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat di Muara Sungai Sengkarang Pekalongan berkisar  $2 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-3}$  mg/L. Konsentrasi fosfat tertinggi ditunjukkan di stasiun 3 dan terendah di stasiun 1. Hasil konsentrasi fosfat pada tiap stasiun pengamatan di lapangan secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, konsentrasi fosfat tertinggi diperoleh pada stasiun 3 yaitu sebesar  $6 \times 10^{-3}$  mg/L. Tingginya nilai konsentrasi fosfat pada stasiun 3 diduga adanya pergerakan arus pasang surut yang memiliki kecepatan 0,013 m/s dan bergerak dominan dari arah Timur (saat pasang) dan menuju Barat Laut (saat surut) (Gambar 3). Hal ini disebabkan adanya pergerakan arus yang menjauhi daratan, dan saat surut pergerakan arus cenderung membawa fosfat ke arah laut yang bersumber dari sungai menuju ke perairan laut. Maslukah *et al.*, (2014) menyatakan, bahwa arus laut berperan penting dalam persebaran suatu nutrien. Selain itu, pergerakan arus yang tinggi berkaitan dengan tingginya nilai konsentrasi fosfat. Arus yang terukur di stasiun cukup tinggi sehingga terjadinya proses resuspensi yang menyebabkan terjadinya sedimen yang berada di dasar perairan naik ke kolom air dan mendorong unsur kimia termasuk fosfat didalamnya juga ikut terbawa naik ke kolom air. Hal ini sesuai dengan Utami *et al.*, (2016). Konsentrasi fosfat terendah di stasiun 1 sebesar  $2 \times 10^{-3}$  mg/L dimana stasiun 1 yang posisinya terletak di laut lepas, yang lokasinya jauh dari sumbernya yaitu inputan dari daratan dan aliran Sungai Sengkarang semakin berkurang dan proses mixing yang terjadi juga semakin lemah.

Berdasarkan hasil pemodelan dapat dilihat pola persebaran konsentrasi fosfat pada saat pasang tertinggi, surut terendah, pasang menuju surut dan surut menuju pasang yang ditampilkan pada Gambar 5-8. Pada pasang tertinggi pergerakan arus bergerak dari Utara menuju Barat dengan nilai konsentrasi fosfat berkisar antara  $3 \times 10^{-3}$  sampai  $3,9 \times 10^{-3}$  mg/L (Gambar 5). Sedangkan pada pasang menuju surut, pergerakan arus bergerak dominan dari Utara menuju Barat Laut dengan nilai konsentrasi  $2,9 \times 10^{-3}$  sampai  $3,7 \times 10^{-3}$  mg/L (Gambar 6). Arus pasang surut akan mendistribusikan massa air beserta material dari muara sungai menuju laut lepas dan juga sebaliknya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ganis *et al.*, (2016) di Muara Sungai Cilauteureun, Garut bahwa gerakan secara vertikal yang dipengaruhi pasang surut dapat memicu terjadinya turbulensi dan berdampak pada sedimen dasar mengalami resuspensi. Oleh karena itu, sebaran fosfat memiliki hubungan yang erat dengan arus pasang surut. Saat surut terendah arus bergerak dari Barat ke Utara dengan konsentrasi fosfat antara  $3,1 \times 10^{-3}$  sampai  $3,7 \times 10^{-3}$  mg/L (Gambar 7). Sedangkan pada kondisi surut menuju pasang, arus yang bergerak dominan dari arah Timur menuju Tenggara dengan nilai konsentrasi fosfat  $3,5 \times 10^{-3}$  sampai  $3,8 \times 10^{-3}$  mg/L (Gambar 8). Dari hasil yang didapatkan saat memodelkan persebaran nilai konsentrasi fosfat di Muara Sungai Sengkarang, terlihat bahwa nilai konsentrasi fosfat ketika pasang memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada saat terjadi surut. Hal ini diindikasikan saat terjadinya proses pasang dan surut di Muara Sungai Sengkarang mempengaruhi terjadinya proses konsentrasi pada elemen-elemen kimia di perairan. Konsentrasi fosfat berbanding lurus dengan proses difusi fosfat dari dalam sedimen. Hal

tersebut dikarenakan tempat penyimpanan utama fosfat di lautan berada di sedimen. Maslukah *et al.*, (2014), menyebutkan bahwa konsentrasi fosfat pada waktu tertentu (yaitu kondisi pasang atau surut) dapat memiliki nilai lebih tinggi ataupun lebih rendah yang dipengaruhi karena adanya proses adsorpsi fosfat dari sedimen. Senyawa fosfor yang berada di dalam sedimen akan berubah menjadi senyawa fosfat terlarut melalui proses abiotik maupun proses dekomposisi dibantu oleh bakteri. Senyawa fosfat terlarut tersebut dapat mengalami proses difusi kembali ke kolom air.

Perbedaan kedalaman saat pengambilan sampel juga berpengaruh pada kandungan fosfat di perairan. Lokasi stasiun penelitian yang berada di Muara Sungai Sengkarang memiliki nilai kedalaman antara 3-10 meter yang dilihat pada peta batimetri (Gambar 10) sehingga termasuk kedalam perairan yang relatif dangkal. Kedalaman ini juga berkaitan dengan terjadinya proses mixing (pencampuran) yang diakibatkan oleh adanya arus pasang surut yang memiliki nilai berkisar antara 0,001 - 0,098 m/s bergerak ke arah Barat Laut. Ketika kekuatan arus pasang surut semakin besar, maka akan terjadinya proses mixing (pencampuran) yang mengakibatkan nilai konsentrasi fosfat semakin tinggi karena adanya gerakan vertikal pasang surut dan turbulensi antar partikel-partikel pada daerah tersebut. Hal ini juga ditegaskan oleh Tarigan *et al.*, (2014) jika kedalaman suatu perairan dangkal, maka kekuatan arus pasang surut akan berpengaruh terhadap proses terjadinya mixing (pencampuran).

## KESIMPULAN

Sebaran konsentrasi fosfat di Muara Sungai Sengkarang berdasarkan hasil pemodelan menggunakan Delft3D pada bulan Juni pada kondisi surut terendah berkisar antara  $3,1 \times 10^{-3}$  -  $3,7 \times 10^{-3}$  mg/L dan pada kondisi surut menuju pasang berkisar antara  $3,5 \times 10^{-3}$  -  $3,8 \times 10^{-3}$  mg/L, sedangkan pada saat kondisi pasang tertinggi berkisar antara  $3 \times 10^{-3}$  -  $3,9 \times 10^{-3}$  mg/L dan pada saat pasang menuju surut berkisar antara  $2,9 \times 10^{-3}$  -  $3,7 \times 10^{-3}$  mg/L. Pola sebaran konsentrasi fosfat searah dengan pergerakan pola arus yang terjadi di perairan tersebut baik pada kondisi pasang maupun surut. Pada saat pasang pola sebaran lebih mengarah ke Barat Laut sedangkan pada saat surut pola sebaran cenderung mengarah ke Tenggara.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional, Republik Indonesia di bawah skema "Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT), No. Kontrak 187-63/UN7.6.1/PP/2021."

## DAFTAR PUSTAKA

- Deltares. 2011. Functional Specifications Delft3D. Netherlands: Deltares.
- Evan, G. P. 1993. A Framework for Marine and Estuarine Model Specification in the UK. Medmenham: Foundation for Water Research Members, 23 p.
- Ganis T. K., M. Zainuri dan L. Maslukah. 2016. Sebaran Konsentrasi Fosfat Dan Total Suspended Solid Berdasarkan Pasang Surut Di Perairan Muara Sungai Cilauteureun, Garut. *Jurnal Oseanografi*, 5(3): 326.
- Ismanto, A., D. H. Ismunarti, D. N. Sugianto, S. Maisyarah, P. Subardjo, A. A. D. Suryoputro dan H. Siagian. 2019. The Potential of Ocean Current as Electrical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 4(6): 129.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 . 2004. Baku Mutu Air Laut. Menteri Lingkungan Hidup Indonesia.
- Martono, N. 2010. Metode Penelitian Kuantitatif. PT Raya Grafindo Persada, Jakarta, 77 hlm.
- Maslukah, L., E. Indrayanti dan A. Rifai. 2014. Sebaran Material Organik dan Zat Hara oleh Arus Pasang Surut di Muara Sungai Demaan, Jepara. *Ilmu Kelautan*, 19(4): 189-194

- Maslukah, L., E. Indrayanti dan S. Budhiono. 2014. Proses Pasang Surut dalam Pola Fluktuasi Nutrien Fosfat di Muara Sungai Demaan, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 3(1): 25-31.
- Sudjana, M. M. 1992. Metode Statistika. Tarsito. Bandung.
- Tarigan, D. Apriany, M. Yusuf dan L. Maslukah. 2014. Sebaran Nitrat dan Fosfat di Perairan Muara Sungai Porong Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Oseanografi*, 3(3): 384-391.
- Utami, T. M. R., L. Maslukah dan M. Yusuf. 2016. Sebaran Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) dan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) di Perairan Karangsong Kabupaten Indramayu. *Buletin Oseanografi Marina*, 5(1): 31-37.
- Wahyudi, S.I., Adi, H.P., Lekkerkerk, J., Bakker, L., Van de Ven, M., Vermeer, D., Adnan, M.S. 2019. Assessment of polder system drainage experimentation performance related to tidal floods in Mulyorejo, Pekalongan, Indonesia. *International Journal of Integrated Engineering*, 11: 76.