

## PEMODELAN GARIS LANJAR UNTUK IDENTIFIKASI TUMPAHAN MINYAK SEKITAR PANTAI PULAU PARI, KEPULAUAN SERIBU, JAKARTA UTARA

### *TRAJECTORY MODEL FOR IDENTIFICATION OF OIL SPILL AROUND THE COAST OF PARI ISLAND, SERIBU ISLANDS, NORTH JAKARTA*

Mutiara R. Putri<sup>1\*</sup>, Agus Setiawan<sup>2</sup>, Titi Sari<sup>1</sup>, B. Mayer<sup>3</sup>, dan T. Pohlmann<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kelompok Keahlian Oseanografi, ITB; \*E-mail: [mutiara.putri@fitb.itb.ac.id](mailto:mutiara.putri@fitb.itb.ac.id)

<sup>2</sup>Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, KKP

<sup>3</sup>Institut für Meereskunde, Universität Hamburg, Bundesstraße 53 D-20146 Hamburg, Jerman

#### ABSTRACT

*Oil spills at sea are common in the shipping lanes of the ship as well as the locations of offshore oil drilling. Unfortunately, in every occurrence of the oil spill, we only see the effects after the occurrence, without knowing the original source. Indonesian Numerical Coastal Environmental Assessment (IndoNACE) is research collaboration between Indonesian and Germany by applying satellite data, numerical modeling, and field observations to make an assessment on environmental consequences to oil spills at sea. One of the locations of these research activities is Pari Island, Seribu Islands, North Jakarta. Simulation of hydrodynamic models around Pulau Pari with Hamburg Shelf Ocean Model (HAMSOM) was performed using tides, surface winds, and density difference of seawater as input. Afterwards, by utilizing results of the hydrodynamic model, the spreading of oil spills as well as the origin of the oil spills were estimated using forward and backward trajectory models, respectively. In the case study of Pari Island, there is a presence of thin film of oil in 5 November 2015 that disappears after one day. We suggest that the origin of oil spills were found on the beach Pari Island is expected from the east - northeast of Thousand Islands and is likely from the subsea pipeline which runs from the north to the city of Jakarta or shipping lanes through the Indonesian archipelagic sea lanes (ALKI) I of Karimata Strait up to Java Sea and the Jakarta Bay.*

**Keywords:** IndoNACE, Pari Island, hydrodynamic model, trajectory model, oil spill

#### ABSTRAK

Tumpahan minyak di laut sering terjadi di jalur pelayaran kapal maupun dari lokasi-lokasi pengeboran minyak lepas pantai. Sayangnya di setiap terjadinya tumpahan minyak, kita hanya melihat efek sesudah terjadinya, tanpa mengetahui sumber asalnya. *Indonesia Numerical Assessment Coastal Environmental* (IndoNACE) merupakan kerjasama penelitian antara Indonesia dan Jerman dengan mengaplikasikan data satelit, pemodelan numerik, dan observasi lapangan untuk membuat penilaian lingkungan akibat adanya tumpahan minyak di laut. Salah satu lokasi dari kegiatan penelitian ini adalah Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta Utara. Simulasi model hidrodinamika di sekitar Pulau Pari dilakukan dengan *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM) dengan menggunakan data pasang surut, angin permukaan, dan beda densitas air laut sebagai input. Selanjutnya, dengan memanfaatkan hasil dari model hidrodinamika, dilakukanlah prediksi sebaran tumpahan minyak di laut dengan simulasi model garis lanjar langkah maju, sementara itu untuk menduga asal tumpahan minyak dilakukan simulasi dengan langkah mundur. Studi kasus yang dilakukan terlihat adanya tumpahan minyak di Pulau Pari pada tanggal 5 November 2015, dimana bekas-bekas tumpahan minyak tersebut telah hilang dari pantai dalam waktu sehari. Asal dari tumpahan minyak yang ditemukan di pantai Pulau Pari tersebut diperkirakan dari bagian timur-timur laut Kepulauan Seribu dan titik sumber kebocoran minyak kemungkinan berasal dari pipa bawah laut yang membentang dari utara menuju kota Jakarta atau jalur kapal melalui Alur Lintas Kepulauan Indonesia (ALKI) I dari Selat Karimata hingga Laut Jawa dan Teluk Jakarta.

**Kata kunci:** IndoNACE, Pulau Pari, pemodelan hidrodinamika, pemodelan garis jejak, tumpahan minyak

## I. PENDAHULUAN

Tumpahan minyak di laut dapat terjadi dari berbagai sumber, yaitu sumber yang tetap (selalu ada) dan sumber yang sesaat atau tidak selalu ada. Sumber tumpahan yang tetap dapat ditimbulkan oleh beberapa faktor, misalnya kebocoran minyak dari pengeboran minyak lepas pantai, kebocoran pipa minyak bawah laut, dan sebagainya. Sumber yang tidak tetap dari tumpahan minyak dapat terjadi karena kebocoran kapal pada alur pelayaran tertentu, tabrakan kapal, atau bilasan air buangan dari pengeboran lepas pantai yang bocor (Goni *et al.*, 2015). Frekuensi kejadian tumpahan minyak di Indonesia ini sangat sering terjadi, mengingat Indonesia memiliki sumur-sumur pengeboran lepas pantai yang sangat banyak, baik jumlah maupun volumenya. Indonesia terdiri dari banyak pulau dan sebagai salah satu negara kepulauan, tentunya merupakan lintasan kapal antar pulau dan provinsi, serta antar negara.

Kegiatan monitoring dan upaya-upaya pencegahan tumpahan minyak di laut sangat diperlukan. Sayangnya kejadian tumpahan minyak sangat sulit dicegah. Umumnya jika terjadi tumpahan minyak di laut dan pantai, dapat diketahui dengan cepat, yaitu tampak air laut berwarna hitam atau terjadi kematian biota/organisme karena suhu perairan meningkat, terhalangnya cahaya matahari dan pertukaran gas dari atmosfer (Suhery *et al.*, 2017). Namun terkadang kita sulit mengetahui darimana datangnya minyak tersebut, pada akhirnya kita sulit menentukan siapa yang harus bertanggungjawab.

*Pilot project Indonesian seas Numerical Assessment of the Coastal Environment (IndoNACE)* bertujuan untuk melihat dan meneliti terjadinya tumpahan minyak dengan melihat kondisi di lapangan, memanfaatkan data satelit dan melakukan pemodelan numerik. Penelitian IndoNACE ini merupakan salah satu penelitian kerjasama antara Kelompok Keahlian Oseanografi, Institut Teknologi Bandung (ITB)

dengan Institute of Oceanography, Hamburg University, Germany dengan dana dari European Space Agency (ESA). Salah satu lokasi yang menjadi pusat kajian dalam penelitian IndoNACE ini adalah Pulau Pari di Kepulauan Seribu. Sebagai salah satu pusat pariwisata laut di Kepulauan Seribu dan terdapat stasiun pengamatan laut milik Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Pulau Pari menjadi salah satu tempat yang memiliki nilai ekonomi yang perlu dikembangkan (Wouthuysen *et al.*, 2013).

Kejadian tumpahan minyak di sepanjang pesisir pantai dan daerah gugusan karang sering dijumpai, terutama pada bulan April dan November atau biasa terjadi selama musim peralihan, seperti yang tercatat di Kawasan Kepulauan Seribu yaitu pada Desember 2003, April 2004 dan Oktober 2004 (DEPHUT, 2004 dalam Suhery *et al.*, 2017). Gambar 1 (a) menunjukkan posisi Pulau Pari dan (b) kejadian tumpahan minyak yang ditemukan saat pengamatan lapangan dilakukan pada tanggal 5 November 2015 di sepanjang pesisir selatan Pulau Pari.

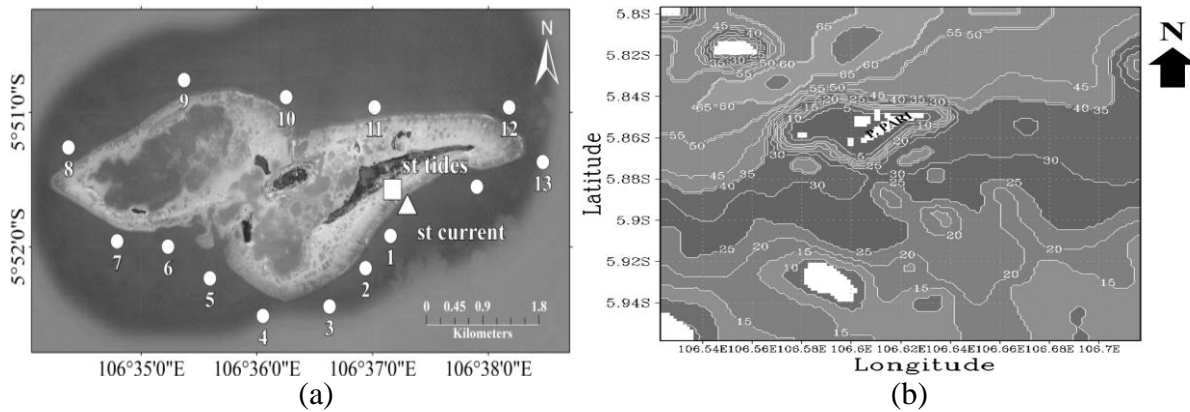
## II. METODE PENELITIAN

Memprediksi sumber dari tumpahan minyak adalah dengan melakukan pemodelan numerik. Model garis lanjar suatu partikel dengan arah mundur dapat digunakan sebagai salah satu cara prediksi awal mengetahui sumber dari tumpahan minyak di laut dan pantai. Model ini teruji efektif dengan asumsi selama penyebarannya minyak tidak terlalu terjadi perubahan secara kimiawi dan minyak dapat dianggap sebagai partikel-partikel minyak yang konservatif agar dapat dilakukan simulasi langkah mundur. Menguji keakuratan hasil model numerik dilakukan juga pengamatan lapangan, baik kondisi fisik dan dinamika arus lautnya.

### 2.1. Waktu dan Lokasi Pengamatan

Waktu pengamatan pasang surut (pasut), arus, dan kondisi fisik laut dilakukan pada tanggal 4-7 November 2015 di beberapa





Gambar 2. (a) Lokasi pengamatan parameter oseanografi pada pengamatan tanggal 4-7 November 2015 (IndoNACE Report, 2015) dan (b) Batimetri di sekitar perairan Pulau Pari – P.PARI.

## 2.2. Pemodelan Hidrodinamika dan Garis Lanjar

Pemodelan hidrodinamika dilakukan di perairan sekitar Pulau Pari dengan batimetri seperti pada Gambar 2(b). Resolusi area model sebesar 150 m x 150 m dengan jumlah grid 154x121. Pemodelan dilakukan selama 1 tahun, yaitu 1 Januari – 31 Desember 2015, dengan langkah waktu 3 detik.

Model numerik hidrodinamika 3 dimensi baroklinik HAMBURG Shelf Ocean Model (HAMSOM) digunakan untuk mensimulasikan kondisi perairan Pulau Pari (Putri and Pohlmann, 2014; Mayer and Pohlmann, 2014). Model dengan grid Arakawa C dan menggunakan koordinat  $z$  pada setiap level kedalamannya, lebih mudah dilakukan di perairan dangkal (Backhaus, 1985; Putri, 2005). Model ini memiliki kekurangan, yaitu setiap lapisannya memiliki ketebalan yang sama dan yang sudah didefinisikan sebagai grid perairan akan tetap sebagai grid basah, yang didefinisikan sebagai grid darat akan tetap kering sebagai daratan. Dengan kata lain model tersebut tidak dapat mensimulasikan daerah pesisir yang memiliki pengaruh pasang surut (*tidal flat*) yang besar.

Gaya penggerak model hidrodinamika 3D HAMSOM ini adalah pasang surut Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui

web <http://tides.big.go.id>, angin dan faktor atmosferik dari hasil model *reanalysis* global *National Centers for Environmental Prediction* - NCEP (Kalnay, dkk. 1996), dan data temperatur dan salinitas per bulan untuk mengetahui densitas air laut dari *World Ocean Atlas* (Locarnini *et al.*, 2013; Zweng *et al.*, 2013). Data pasang surut yang digunakan sudah bersifat lokal. Data NCEP dan WOA bersifat global, sehingga untuk daerah yang detail atau kecil di perairan Pulau Pari ini sangat sedikit perbedaannya, baik dalam skala waktu dan ruang.

Hasil simulasi model hidrodinamika berupa data arus dijadikan masukan untuk model trajektori partikel. Model trajektori partikel ini menggunakan asumsi bahwa partikel bergerak akibat proses adveksi atau arus yang membawanya berpindah dan selama pergerakannya partikel tidak meluruh ataupun terdifusi karena materinya (Mayer, 1995; Mayer and Pohlmann, 2014; Mayer *et al.*, 2015). Selanjutnya model trajektori partikel ini disimulasikan untuk langkah waktu ke depan (*forward trajectory model*) dan dilakukan untuk langkah waktu ke belakang (*backward trajectory model*).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan analisis hasil model, maka dilakukan verifikasi terhadap

data lapangan. Simulasi model dilakukan sesuai saat pengambilan data. Hasil model hidrodinamika di sekitar Pulau Pari dibandingkan terhadap data lapangan yang diamati pada tanggal 4-7 November 2015 (Putri *et al.*, 2015). Trajektori model dilakukan dengan waktu ke depan (*forward trajectory*), sesuai dengan data pengamatan.

Setelah hasil dianggap baik atau dapat menggambarkan hasil sesuai dengan kondisi yang sebenarnya, maka dilakukan simulasi pada waktu yang akan datang dan prediksi sumber tumpahan minyak dengan menggunakan model trajektori akibat gerak arus saja dengan metode trajektori ke belakang (*backward trajectory*). Waktu simulasi dilakukan mulai tanggal 5 November 2015, dimulai saat ditemukannya tumpahan minyak di sepanjang selatan pesisir Pulau Pari, hingga 7 hari sebelumnya, untuk memprediksi sumber minyak yang ditemukan di pesisir selatan Pulau Pari.

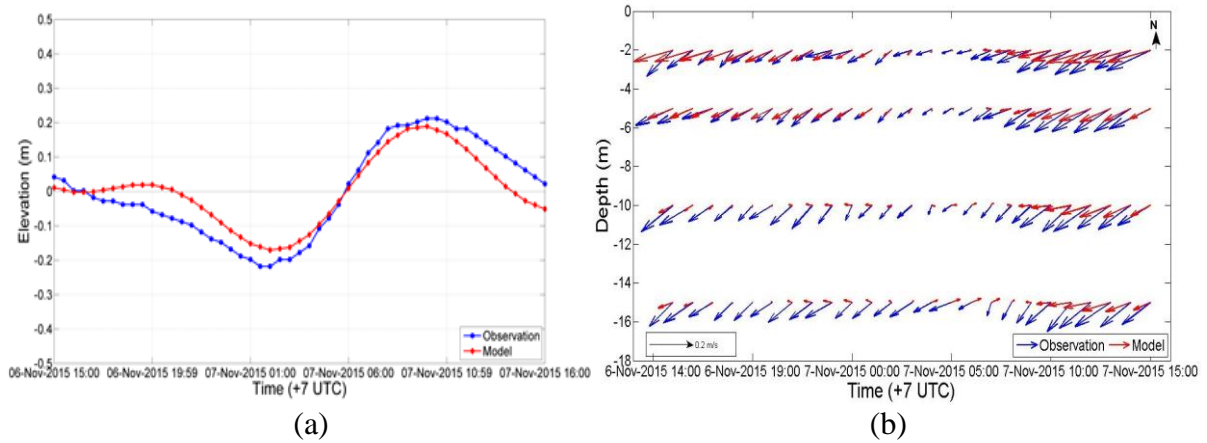
### 3.1. Validasi Model

Kondisi pasang surut dan arus hasil simulasi hidrodinamika menunjukkan kesesuaian terhadap data pengamatan (Gambar 3). Elevasi muka laut yang diamati selama 25 jam, menunjukkan bahwa di perairan Pulau Pari memiliki tipe pasang surut diurnal dengan tunggang pasang surut yang relatif kecil, sekitar 0,5 meter pada saat pengamatan. Kesesuaian hasil simulasi elevasi terhadap pengamatan menunjukkan hasil 93,7% sangat baik, dengan kesalahan rata-rata (RMSE) hanya 0,063 m atau 6,3 cm selama pengamatan. Hasil model memiliki tunggang pasut yang lebih besar dibandingkan dengan data.

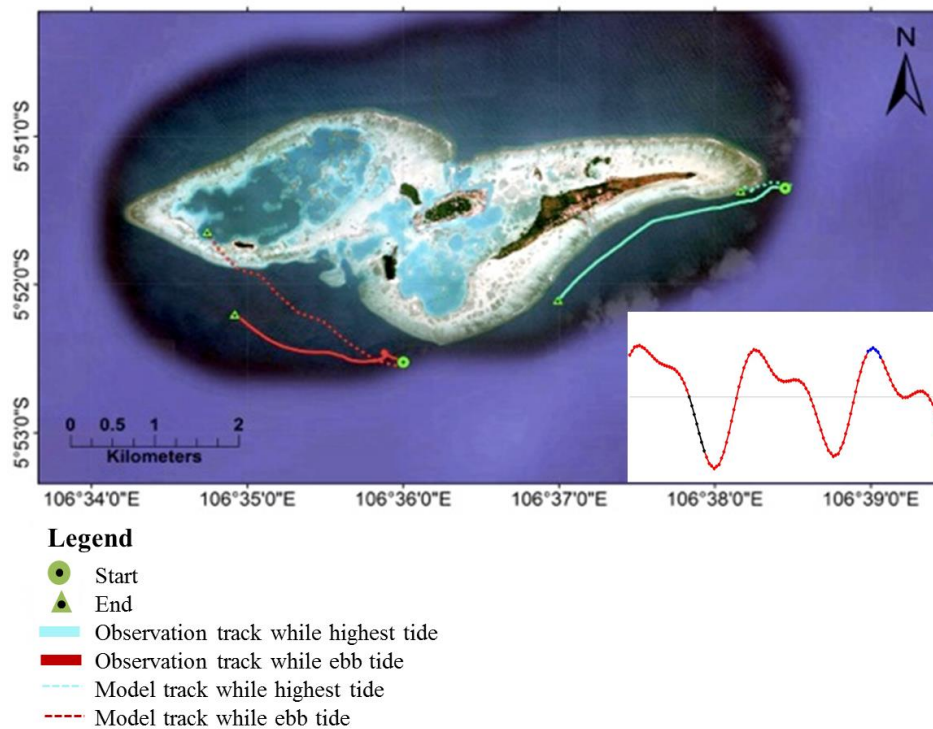
Hal ini karena keterbatasan model yang menggunakan z-koordinat, dengan lapisan pertama dengan ketebalan 3 meter dan belum dapat mensimulasikan kondisi perairan yang basah dan kering (*wet and dry*) sesuai dengan kondisi pasutnya, sehingga daerah gugusan karang yang sangat terpengaruh oleh pasang surut (*tidal flat*) tidak dapat tersimulasikan dengan baik.

Perbandingan kondisi arus hasil simulasi dan pengamatan ditunjukkan pada Gambar 3(b), dengan korelasi rata-rata per kedalaman komponen arah utara – selatan atau komponen  $v$  lebih dari 80% dan komponen barat – timur atau komponen  $u$  lebih dari 62%. Hal ini menunjukkan hasil yang dapat dikatakan sudah baik, mengingat ketidaktersediaan data angin lokal yang menjadi penentu utama arah arus dominan. Data angin dari NCEP (Kalnay, dkk., 1996) memiliki resolusi yang sangat kasar/besar untuk area yang dimodelkan di Pulau Pari ini, yaitu  $2,5^\circ$  dan dilakukan interpolasi terhadap ruang dan waktu. Dapat terlihat pada Gambar 3, bahwa pada saat menuju pasang atau menuju surut, yang seharusnya arus sangat kencang dengan arah yang berkebalikan, pada hasil pengamatan arus kencang di permukaan dan berlawanan arah di dasar. Arus permukaan didominasi oleh pengaruh angin yang datang dari timur laut ke barat daya, sedangkan di lapisan yang lebih dalam (20 m) masih dipengaruhi oleh pasang surut atau perbedaan densitas air laut.

Model trajektori dengan langkah ke depan (*forward trajectory*) menggunakan arus hasil simulasi model hidrodinamika dibandingkan dengan pelampung (*drifter*) yang dilepaskan selama 3 jam saat menuju pasang dan menuju surut. Hasil menunjukkan rata-rata arah yang sama antara simulasi dan pengamatan (Gambar 4), namun kecepatan arus sangat berbeda. Hasil simulasi model menunjukkan kecepatan yang lebih besar pada saat menuju surut dan lebih kecil pada saat pasang tertinggi. Hal ini juga menunjukkan bahwa peranan angin lokal yang mendorong kuat drifter di permukaan belum dapat tersimulasikan dengan baik di model trajektori. Persentase kecepatan angin tidak dimasukkan sebagai faktor penggerak partikel di dalam model. Kenyataannya angin lah yang mendorong kuat *drifter* hasil pengamatan, terlihat saat pasang maksimum yang seharusnya memang arus sangat kecil (*slack water*).



Gambar 3. (a) Perbandingan elevasi pasang surut dan (b) arus laut antara hasil model (merah) dan pengamatan (biru) pada tanggal 6-7 November 2015 selama 25 jam.

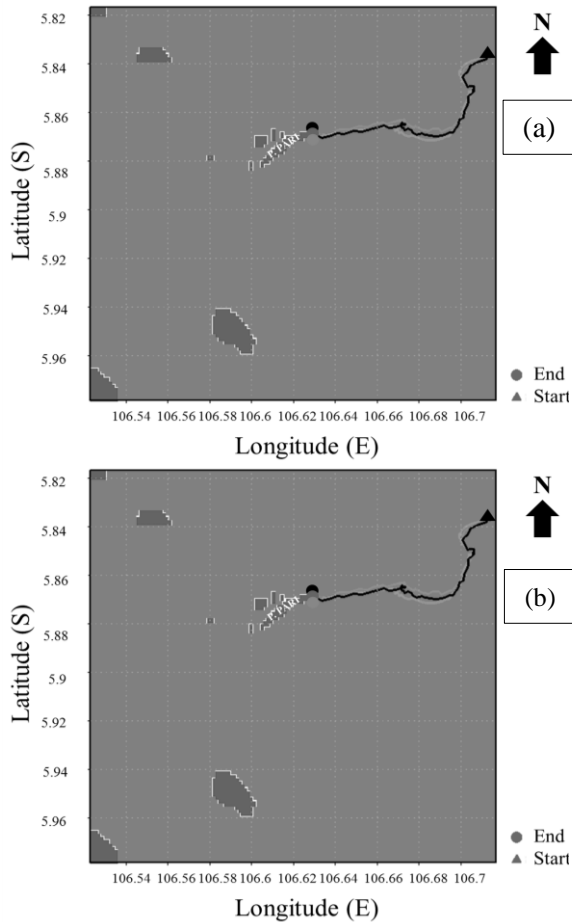


Gambar 4. Perbandingan model trajektori (garis putus-putus) dan pengamatan (garis tebal) pada saat menuju surut (merah) pada tanggal 4 November 2015 dan saat pasang tertinggi (biru) pada tanggal 6 November 2015.

### 3.1. Prediksi dan Identifikasi Sumber Minyak

Hasil verifikasi model hidrodinamika dan trajektori waktu ke depan (*forward trajectory model*) terhadap data lapangan telah menunjukkan hasil yang sangat baik. Dengan demikian dapat direkonstruksi ulang

kejadian dimana diperoleh konsentrasi tumpahan minyak di sepanjang pantai selatan Pulau Pari pada tanggal 5 November 2015. Model pada trajektori disimulasikan waktu mundur selama 7 hari ke belakang dari tanggal ditemukannya tumpahan minyak tersebut.



Gambar 5. Simulasi waktu ke belakang model trajektori (*backward trajectory model*) selama 7 hari dari titik awal di pantai barat (a) dan timur (b) Pulau Pari pada tanggal 5 November 2015.

Hasil simulasi dengan *backward trajectory model* pada Gambar 5 menunjukkan bahwa konsentrasi yang ditemukan pada tanggal 5 November 2015 itu berasal dari bagian timur dan timur laut Pulau Pari. Kemungkinan sumber dari tumpahan tersebut ada dua, yaitu kebocoran pipa bawah laut yang posisinya ditunjukkan dengan garis merah pada Gambar 1 (a) atau Alur Lintas Kepulauan Indonesia (ALKI) I yang menghubungkan jalur transportasi internasional dari Laut China Selatan dan Selat Malaka, atau sebaliknya, dan jalur-jalur dalam negeri lainnya yang menuju kota Jakarta atau Teluk Jakarta. Mengingat saat terjadinya tumpahan

minyak hanya bertahan sehari di pantai, hal ini menunjukkan bahwa sumber tidak kontinu atau tidak permanen. Oleh karena itu kemungkinan datangnya tumpahan minyak akibat kebocoran pipa bawah laut, sangat kecil atau tidak terjadi.

Sifat sementara keberadaan minyak yang hanya sehari ini menunjukkan bahwa sumber bersifat sesaat dan sementara pada waktu tertentu. Oleh karena itu dapat diduga bahwa sumber minyak berasal dari jalur pelayaran ALKI I yang masuk dari dan ke Teluk Jakarta, atau pelabuhan laut lainnya di pantai utara Jawa, yang tumpah 7 hari sebelumnya. Karena ALKI I merupakan jalur utama pelayaran untuk masuk ke Jakarta, sangat dimungkinkan terjadinya tumpahan minyak akan berulang beberapa hari sekali, dengan konsentrasi yang tidak besar.

#### IV. KESIMPULAN

Simulasi model hidrodinamika dan model trajektori dapat menggambarkan kondisi dinamika di perairan Pulau Pari, dengan keakuratan yang cukup tinggi yaitu di atas 90% untuk pasang surut, 60% dan 80% untuk komponen kecepatan arus arah  $u$  dan  $v$ , serta arah pergerakan partikel di lautnya. Faktor terbesar yang belum tersimulasikan dengan baik adalah data angin lokal yang belum detail di sekitar Pulau Pari karena ketidaktersediaan data pengukuran. Simulasi *backward trajectory model* dapat menunjukkan bahwa datangnya tumpahan minyak yang terjadi di sepanjang selatan pantai Pulau Pari pada tanggal 5 November 2015 yang hanya sehari, berasal dari timur – timur laut, yaitu jalur utama pelayaran menuju Teluk Jakarta.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh proyek IndoNACE (*Indonesian seas Numerical Assessment of the Coastal Environment*), Ref: ESA ITT AO 1-8176/14/F/MOS, *Alcantara Initiative: International R&D Studies*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Backhuas, J.O. 1985. A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, 38(4):165-187.
- Goni, G.J., J.A. Trinanes, A. MacFadyen, D. Street, M.J. Olascoaga, M.L. Imhoff, F. Muller-Karger, and M.A. Roffer. 2015. Variability of the deepwater horizontal surface oil spill extent and its relationship to varying ocean currents and extreme weather conditions. In: Ehrhardt, M. (ed.). *Mathematical Modelling and Numerical Simulation of Oil Pollution Problems*. Springer. USA. 1-22pp.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woolen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph. 1996. The ncep/ncar reanalysis 40-year project. *Bull. American Meteor. Society*, 77: 437-471.
- Locarnini, R.A., A.V. Mishonov, J.I. Antonov, T.P. Boyer, H.E. Garcia, O.K. Baranova, M.M. Zweng, C.R. Paver, J.R. Reagan, D.R. Johnson, M. Hamilton, and D. Seidov. 2013. World ocean atlas 1<sup>st</sup> ed. In: S. Levitus, *at al.* (eds.). A. Mishonov Technical Ed. NOAA Atlas NESDIS 73. Maryland. 1-40pp.
- Mayer, B. 1995. Ein dreidimensionales, numerisches schwebstofftransportmodell mit anwendung auf die Deutsche Bucht. Disertasi. Universitas Hamburg. Hamburg. 26p.
- Mayer, B. and T. Pohlmann. 2014. Simulation of Organic Pollutants: First Steps towards an Adaptation to the Malacca Strait. *Asian J. of Water, Environmental and Pollution*, 11(1):75-86.
- Mayer, B., T. Stacke, I. Stottmeister, and T. Pohlmann. 2015. Sunda Shelf Seas: flushing rates and residence times. *Ocean Sci. Discuss.*, 12:863-895. Doi:10.5194/osd-12-863-201.
- Putri, M. R. 2005. Study of ocean climate variability (1950-2002) in the Eastern Indian Ocean, Java Sea, and Sunda Strait Using the Hamburg Shelf Ocean Model. Disertasi. Universität Hamburg. 19p.
- Putri, M.R. and T. Pohlmann. 2014. Lagrangian model simulation of passive tracer dispersion in the siak estuary and Malacca Strait. *Asian J. of Water, Environ. and Poll.*, 11(1):67-74.
- Putri, M.R., A. Setiawan, S. Nurfitri, T. Sari, R.N. Tsani, M. Raihan, W.M. Tati-patta, and T. Pohlmann. 2016. Indonesia numerical assessment coastal environmental (INDONACE) : field observation of Pari Island. Project Report. Bandung. 45p.
- Suhery, N., A., Damar, and H. Effendi. 2017. Indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak : kasus P. Pramuka dan P. Belanda di Kepulauan Seribu. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1): 67-90.
- Wouthuysen, S., M. Abrar, S. Mira, I. Nikijuluw, Suhardi, A. Mansur, and Reza. 2013. Planning for education of tourism zone and development of marine protected areas in Pari Island. IIS. Jakarta. 8p.
- Zweng, M.M, J.R. Reagan, J.I. Antonov, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, T.P. Boyer, H.E. Garcia, O.K. Baranova, D.R. Johnson, D.Seidov, and M.M. Biddle. 2013. World ocean atlas 2<sup>nd</sup> ed. In: Salinity *et al.* Mishonov Technical Ed. NOAA Atlas NESDIS 74. Maryland. 1-39pp.
- Diterima* : 24 April 2017  
*Direview* : 10 Mei 2017  
*Disetujui* : 30 November 2017