

# PEMODELAN PERGERAKAN TUMPAHAN MINYAK SEBAGAI UPAYA MITIGASI DAMPAK LINGKUNGAN DI PERAIRAN LAMPUNG TIMUR, INDONESIA

## *OIL SPILL MODELLING AS A MITIGATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN EAST LAMPUNG WATERS, INDONESIA*

Chesya Sera De Claesya<sup>1</sup>, Raldi Hendro T. Koestoer<sup>1</sup>, Widodo Setiyo Pranowo<sup>2,3</sup>, & Andri Cahyadi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia

Gedung C Lantai 6, Universitas Indonesia, Salemba, 10430, DKI Jakarta

<sup>2</sup>Pusat Riset Iklim dan Atmosfer – Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>3</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) Prodi Oseanografi, DKI Jakarta

<sup>4</sup>PT PGN LNG Indonesia

e-mail : chesa.sera@yahoo.com

Diterima tanggal: 21 Februari 2023 ; diterima setelah perbaikan: 19 Maret 2023 ; Disetujui tanggal: 19 April 2023

### ABSTRAK

Kegiatan eksploitasi dan eksplorasi migas seringkali menimbulkan kerusakan lingkungan sekitar, salah satunya tumpahan minyak. Pencemaran lingkungan akibat tumpahan minyak dapat berasal dari kegiatan pelayaran, kegiatan pelabuhan, dan kegiatan usaha migas. PT PGN LNG Indonesia merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang minyak dan gas bumi bertugas mengoperasikan FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*) yang terletak di + 21 km dari lepas pantai Labuhan Maringgai, Lampung Timur. Untuk memenuhi kebutuhan operasional, FSRU melakukan bongkar muat BBM di tengah laut dengan metode STS (*Ship to Ship*). Proses bongkar muat di tengah laut cenderung meningkatkan risiko pipa pecah, pipa bocor, dan kecelakaan akibat kesalahan manusia. Penelitian ini dilakukan untuk memitigasi penanganan tumpahan minyak untuk meminimalkan dampak lingkungan dengan memperkirakan prediksi rute tumpahan minyak berdasarkan variasi angin musim yang terjadi di sekitar wilayah operasional PT. PGN LNG Indonesia. Hasil estimasi pemodelan menunjukkan arah pergerakan tumpahan minyak di Musim Timur didominasi ke arah barat, barat daya, dan barat laut serta berdampak ke area tambak, mangrove, dan permukiman di Kecamatan Labuhan Maringgai. Pada musim lainnya, hasil menunjukkan arah pergerakan tumpahan minyak tidak mencapai daratan Sumatera dan di sepanjang garis Laut Jawa. Kedepannya, penelitian ini dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan strategis dalam menentukan rencana mitigasi tumpahan minyak dengan menentukan area prioritas dalam penanganan tumpahan minyak.

**Kata kunci:** Lampung Timur; Pencemaran Lingkungan; Tumpahan Minyak; Angin Musim.

### ABSTRACT

*Oil and gas exploitation and exploration activities often cause damage to the surrounding environment, one of which is oil spills. Environmental pollution due to oil spills can derive from shipping activities, seaport activities, and oil and gas business activities. PT PGN LNG Indonesia is one of the companies with oil and gas activities, located at a distance of + 21 km from the offshore Labuhan Maringgai, East Lampung, operating the FSRU (Floating Storage Regasification Unit). To meet operational needs, the FSRU carries out the loading and unloading of fuel in the middle of the sea using the STS (Ship to Ship) method. The loading and unloading process at the sea terminal tend to boost the risk of broken pipes, leaks, and accidents due to human error. This research was carried out to mitigate the handling of oil spills to minimize environmental impacts by estimating the prediction of oil spill routes based on the varied monsoons that occurred around the operational area of PT. PGN LNG Indonesia. The result of the modeling estimation shows the direction of the movement for an oil spill in Southeast Moonsoon was pre-dominated to the west, southwest, and northwest and swiping areas of ponds, mangroves, and settlements in Labuhan Maringgai District. In the other season, the result showed that the directions of oil spill movement then reach the land of Sumatera, along the lines of the Java Sea. In the future, this research could be used to formulate strategic policies to determine oil spill mitigation plans by determining priority areas in handling oil spills..*

**Keywords:** East Lampung; Environmental Pollution; Oil Spill; Moonsoon.

---

Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak Sebagai Upaya Mitigasi Dampak Lingkungan di Perairan Lampung Timur, Indonesia - Chesya Sera De Claesya, Raldi Hendro T. Koestoer, Widodo Setiyo Pranowo, & Andri Cahyadi

## PENDAHULUAN

Pada 2020 kegiatan pemboran eksplorasi di Indonesia, untuk produksi minyak mentah dan kondensat mencapai 719,99 ribu barel per hari dan produksi gas bumi mencapai 1.207,03 MMSCFD (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2020). Data tumpahan minyak sejak 2016-2020 dari Ditjen Migas (2020) menunjukkan pada sektor hulu dan hilir di tahun 2016 mencapai 549,87 barel, tahun 2017 mencapai 61,34 barel, tahun 2018 dan 2019 mencapai peningkatan dengan mencapai 53.055,57 barel dan 9.100,20 barel dan di Semester I Tahun 2020 mencapai 138,03 barel.

Kegiatan eksploitasi dan eksplorasi migas sering menimbulkan masalah pada kerusakan lingkungan di wilayah sekitar dan atau pencemaran lingkungan yang dapat terjadi di laut salah satunya adalah akibat tumpahan minyak (Rahardian, 2014). Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 109 Tahun 2006 tentang Penanggulangan Keadaan Darurat Tumpahan Minyak di Laut dinyatakan bahwa tumpahan minyak adalah lepasnya minyak baik langsung atau tidak langsung ke lingkungan laut yang berasal dari kegiatan pelayaran, kegiatan perusahaan minyak dan gas bumi, atau kegiatan lainnya.

Tumpahan minyak sering terjadi di Perairan Indonesia (Firmansyah *et al.*, 2021). Sebagai contoh peristiwa tumpahan minyak di Teluk Balikpapan yang terjadi pada tahun 2018 dan di Perairan Karawang yang terjadi pada tahun 2019. Pada peristiwa di Teluk Balikpapan menurut Fatmawaty (2020) kejadian tersebut diakibatkan pecahnya pipa minyak bawah laut yang tertimpa jangkar kapal. Insiden di Perairan Karawang menurut Firmansyah *et al.*, (2021) tersebut terjadi di salah satu sumur bor minyak dan gas milik Perusahaan Nasional akibat kegagalan operasi dan mengalami kebocoran sehingga menyebabkan terjadinya tumpahan minyak sekitar 3.000 barel per hari.

Tercatat pada rentang Tahun 2016-2020 Semester 1 terdapat peristiwa tumpahan minyak dengan jumlah total sebanyak 62.915 barel di Indonesia (Ditjen Migas, 2020). Pencemaran laut akibat tumpahan minyak dapat berasal dari kegiatan seperti aktivitas perkapalan, aktivitas di pelabuhan dan aktivitas kegiatan usaha migas (Sulistiyono, 2013; Widodo & Wahyuni, 2020). Aktivitas kegiatan usaha migas dapat menyebabkan kecelakaan operasi yang mengakibatkan tumpahan minyak, dimulai dari kegiatan usaha hulu (*upstream*) seperti eksplorasi (pengeboran) dan kegiatan usaha hilir (*downstream*) seperti tahap pengelolaan, pengangkutan

dan penyimpanan (Sulistiyono, 2013; Suhery *et al.*, 2017).

Aktivitas kegiatan usaha migas di Indonesia menjadi salah satu ancaman munculnya risiko terjadinya tumpahan minyak yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. PT PGN LNG Indonesia, memiliki tugas mengoperasikan *Floating Storage Regassification Unit* (FSRU) yang terletak  $\pm$  21 km lepas pantai dari Labuhan Maringgai - Lampung Timur. FSRU memiliki kapasitas 1,5 - 2 MTPA dengan limit pengiriman hingga 250 MMSCFD (PT. PGN LNG Indonesia, 2022). Untuk memenuhi kebutuhan operasional, FSRU melakukan proses bongkar muat bahan bakar ditengah laut dengan metode STS (*Ship to Ship*) (PLI, 2022). Menurut Sulistiyono (2013) proses bongkar muat di terminal laut banyak menimbulkan risiko kecelakaan seperti pipa yang pecah, bocor maupun kecelakaan karena kesalahan manusia (*human error*).

Tumpahan minyak di perairan sangat dipengaruhi oleh parameter hidro-oseanografi dan kondisi lingkungan sekitar seperti angin, suhu dan arus perairan (Nontji, 2007; Sinurat *et al.*, 2016). Arus di permukaan laut yang terbentuk dari salah satu unsur meteorologi yaitu angin, sangat menentukan arah pergerakan tumpahan minyak yang terjadi (Nontji, 2007). Mengetahui pergerakan tumpahan minyak di laut sangat sulit karena banyak proses kimiawi maupun fisik yang terlibat dan pergerakan tersebut dipengaruhi oleh proses hidrodinamika di lautan (Sinurat *et al.*, 2016). Sebuah pemodelan lintasan minyak (*trajectory*) dibutuhkan untuk menganalisis prediksi serta kemungkinan yang terjadi pada suatu simulasi berdasar informasi yang ada. Pemodelan tumpahan minyak merupakan kunci dalam menentukan strategi yang efektif dan efisien terhadap penanggulangan tumpahan minyak (Krisdiantoro, 2012).

Penelitian pemodelan pergerakan tumpahan minyak di perairan Lampung Timur relatif terbatas. Penelitian terdahulu banyak membahas wilayah Utara Laut Jawa dan Selat Sunda yang merupakan daerah terdekat dari wilayah Operasional PT. PGN LNG Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui arah pergerakan, dan waktu tiba tumpahan minyak didaratan jika tumpahan minyak terjadi di sekitar wilayah operasional PT. PGN LNG. Pemodelan arah pergerakan tumpahan minyak menggunakan perangkat lunak model hidrodinamika, OILMAP. Perangkat ini digunakan karena memiliki kapasitas untuk memprediksi rute pergerakan tumpahan minyak di

perairan dari waktu ke waktu serta dapat menghitung transportasi, penyebaran serta waktu penguapan berdasarkan data hidro-oseanografi yang berlaku (RPS APASA Pty. Ltd., 2014).

Atas dasar pemodelan yang dihasilkan dari pergerakan arah tumpahan minyak, dapat disusun rencana mitigasi dampak lingkungan. Selain itu prediksi yang dihasilkan dapat mempermudah dan mempercepat penanganan insiden tumpahan minyak, khususnya dengan menentukan wilayah prioritas penanggulangan

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, karena data yang di dapat dari penelitian ini berupa angka-angka yang dianalisis. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan penelitian yang mengukur antar variable dan menerangkan fenomena yang diamati, serta mengacu pada teori berkelanjutan. Lokasi penelitian dilakukan di wilayah operasional PT PGN LNG Indonesia yang terletak di Perairan Lepas Pantai Lampung Timur dengan koordinat 5°26'30" S dan 105°56'30" T seperti yang disajikan pada Gambar 1.

Data untuk parameter pemodelan tumpahan minyak didapatkan dari hasil kajian survei lapangan berupa koordinat titik sumber tumpahan minyak dan volume sumber tumpahan minyak. Data hidro-oseanografi terdiri dari Data Angin dan Arus Permukaan yang diperoleh melalui NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Parameter pemodelan tumpahan minyak yang digunakan untuk pengolahan

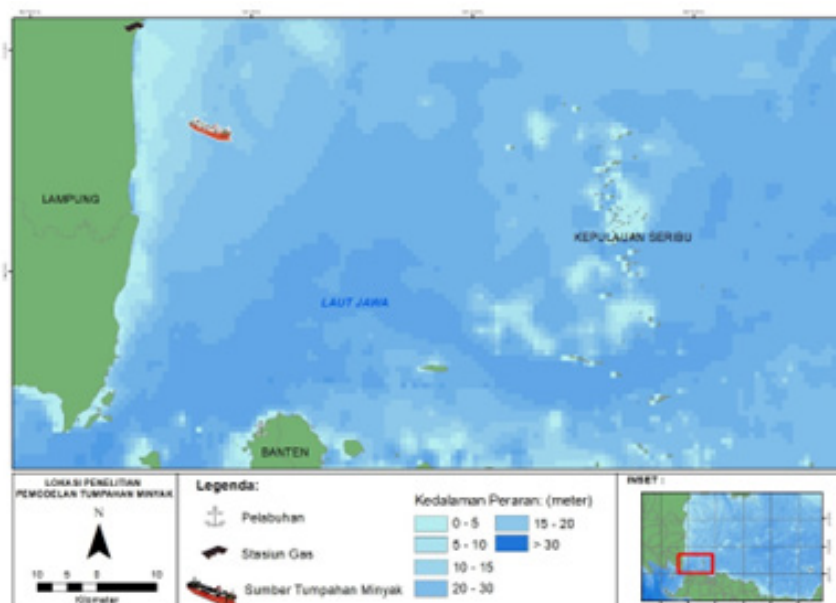
penelitian ini menggunakan OILMAP disajikan dalam Tabel 1.

Data risiko di wilayah operasi mengacu pada matriks risiko tumpahan minyak yang berpotensi terjadi PT PGN LNG Indonesia yang tersaji dalam Tabel 2. Pada tabel tersebut memiliki 6 (enam) skenario, yaitu pecah/kegagalan hose pada saat kegiatan pengisian bahan bakar dari mobil tangki ke tangki penyimpanan di ORF (*Onshore Regassification Facility*), pecah/kebocoran tangki penyimpanan di ORF, tumpahan kecil selama kegiatan operasional rutin, tumpahan kecil saat kegiatan pengisian bahan bakar, pecah/kegagalan hose pada saat kegiatan pengisian bahan bakar dari barge ke FSRU, dan pecahnya tangki bahan bakar FSRU/LNG Carrier/Armada pendukung akibat kecelakaan kapal. Dari ke 6 (enam) skenario tersebut diambil 1 (satu) skenario yang memiliki estimasi volume tumpahan paling besar dengan tingkat risiko sedang.

Dari data-data yang di peroleh selanjutnya dilakukan pemodelan tumpahan minyak untuk mengetahui prediksi pergerakan tumpahan minyak dengan bantuan perangkat lunak, OILMAP. Selanjutnya dianalisis data dilakukan dengan menumpangtindihkan hasil pemodelan tumpahan minyak dengan Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Lampung Timur.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi pustaka dan pengolahan data yang dilakukan, skenario yang digunakan untuk pemodelan tumpahan minyak menggunakan Skenario Pecahnya tangki bahan



Gambar 1. Lokasi Penelitian. Sumber: Peneliti, 2022.

Figure 1. Area of Study.

Tabel 1. Parameter Pemodelan Tumpahan Minyak  
*Table 1. Oil Spill Modeling Parameters*

Parameter	Skenario Tumpahan Minyak
Koordinat	5°26'30.00"LS dan 105°56'30.00"BT
Simulasi Insiden	Tabrakan Kapal
Lama Simulasi Pemodelan	7 hari (168 jam)
Volume Tumpahan Minyak	400 m <sup>3</sup>
Durasi Tumpahan Minyak	Seketika
Jenis Minyak	MFO ( <i>Marine Fuel Oil</i> )
Suhu Perairan	29°C
Periode Analisis	Musim Barat (Desember-Februari) Musim Peralihan 1 (Maret-April) Musim Timur (Mei-September) Musim Peralihan 2 (Oktober-November)

Sumber : Simulasi Peneliti, 2022

Tabel 2. Matriks Risiko Skenario Tumpahan Minyak PT. PGN LNG Indonesia  
*Table 2. PT. PGN LNG Indonesia Oil Spill Scenario Risk Matrix*

No	Skenario	Polutan	Estimasi Volume	Kemungkinan	Keparahan	Risiko	Keterangan
1	Pecah/kegagalan hose pada saat kegiatan pengisian bahan bakar dari Mobil Tangki ke Tangki Penyimpanan di ORF	Diesel	< 0,1 m <sup>3</sup>	1	1	Ringan	Asumsi perhitungan <i>transfer rate</i> 30 L/hr ESD 30 detik, panjang hose:3 m, Diameter hose: 4"
2	Pecah/kebocoran tangki penyimpanan di ORF	Diesel	2 m <sup>3</sup>	1	2	Ringan	Estimasi tumpahan dari volume total angka penyimpanan
3	Tumpahan kecil selama kegiatan operasional rutin	<i>Marine Gas Oil (MGO)</i> , Diesel, <i>Lubricant</i> , <i>Hydraulic</i>	< 0,1 m <sup>3</sup>	3	1	Sedang	Tumpahan kecil/ceceran selama kegiatan operasional rutin di <i>Shorebase</i> ORF atau FSRU
4	Tumpahan kecil saat kegiatan pengisian bahan bakar	Oil MGO	< 0,1 m <sup>3</sup>	3	1	Sedang	Tumpahan/ceceran pada proses pemasangan-pelepasan hose atau kebocoran kecil pada hose
5	Pecah/kegagalan hose pada saat kegiatan pengisian bahan bakar dari Barge ke FSRU	MGO	1,6 m <sup>3</sup>	1	3	Sedang	Asumsi perhitungan <i>transfer rate</i> 125 m <sup>3</sup> /hr ESD 30 detik, panjang hose:30 m, Diameter hose: 6"
6	Pecahnya tangki bahan bakar FSRU/ LNG <i>Carrier</i> /Armada pendukung akibat kecelakaan kapal	MGO	197 m <sup>3</sup>	1	4	Sedang	Hilangnya satu kompartemen bahan bakar dari FSRU
		Fuel Oil	400 m <sup>3</sup>	1	4	Sedang	Hilangnya satu kompartemen bahan bakar dari LNG <i>Carrier</i> (Tangguh Batur dan Tangguh Towuti)
		Diesel	20 m <sup>3</sup>	2	4	Tinggi	Hilangnya Satu Kompartemen bahan bakar dari Armada Pendukung ( <i>tug Boat</i> )

Sumber : PLI, 2017

bakar FSRU/LNG *Carrier*/Armada pendukung akibat kecelakaan kapal dari kejadian tabrakan kapal pada proses transfer bahan bakar dari kapal ke kapal (*Ship to Ship Transfer*) dengan jenis MFO (*Marine Fuel Oil*) untuk kegiatan operasional di lokasi penelitian sesuai dengan Tabel 2.

### Pola dan arah angin

Kecepatan angin dan arus laut memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap pergerakan tumpahan minyak di perairan (Rahadian, 2014; Rezki *et al.*, 2018). Pengaruh kecepatan angin dan arus terhadap pergerakan tumpahan minyak mencapai 100% (Millah *et al.*, 2019). Data arah dan kecepatan angin yang didapatkan dari NOAA pada periode Desember 2021-November 2022 digunakan sebagai inputan saat pengolahan data pemodelan pergerakan tumpahan minyak selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan WRPlot (*Wind Rose Plots for Meteorological Data*) yang dapat menunjukkan arah dan kecepatan berdasarkan kelas yang telah ditentukan (Tulandi *et al.*, 2020). Hasil pengolahan data kecepatan dan arah angin lokasi penelitian tersaji pada Gambar 2 dalam berupa diagram *Windrose*.

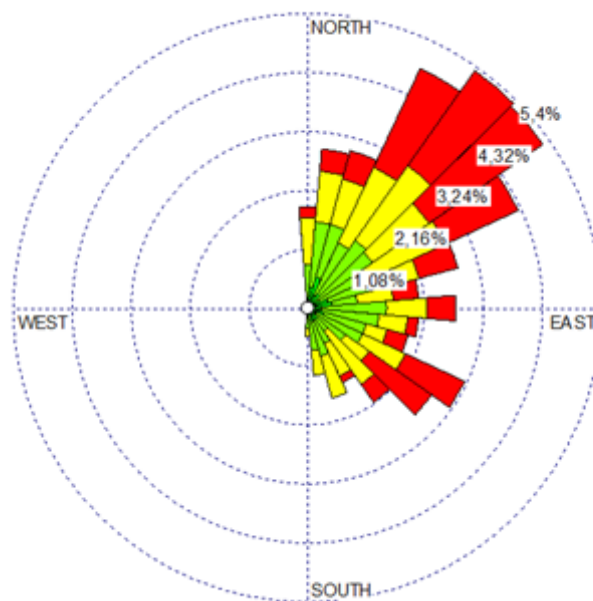
Dari hasil analisis data pada Gambar 2, diperoleh bahwa pada musim timur pola angin dominan bertiup dari timur menuju arah barat dan barat daya dengan rata-rata kecepatan mencapai 6-9 m/s dengan persentase 18%. Hal ini sesuai dengan Haryanto *et al.*

(2020) bahwa fenomena Angin Musim di Laut Jawa pada periode April hingga November, arah angin bertiup dari arah timur ke arah barat. Menurut Nagara *et al.* (2007), bahwa di Laut Jawa angin bertiup secara horizontal dari Barat Laut ke Tenggara saat musim barat dan bertiup ke arah sebaliknya saat musim timur.

### Pola dan arah arus

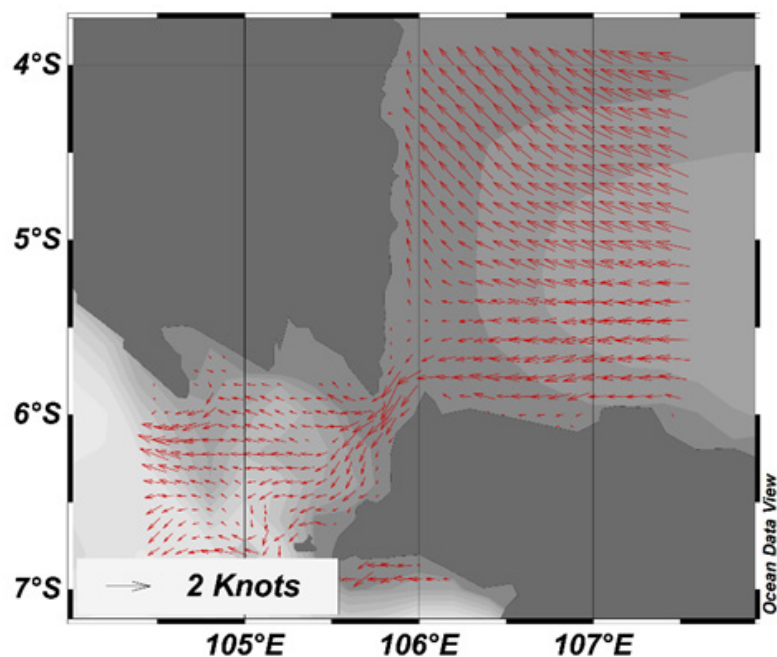
Hasil pemodelan hidrodinamika, diperoleh bahwa pola dan arah arus bergerak dari timur menuju barat kemudian berbelok arah menuju barat laut dan mencapai daratan sekitar wilayah pesisir Lampung Timur. Pergerakan pola dan arah arus laut di perairan, pantai, teluk ataupun selat, pergerakan naik turun muka air akan menimbulkan arus dengan arah gerakan bolak-balik sehingga apabila muka air naik, arus akan mengalir masuk, sedangkan pada saat muka air turun, arus akan mengalir keluar (Nontji, 2007). Hasil pengolahan data kecepatan dan arah arus pada lokasi penelitian tersaji pada Gambar 3.

Dari hasil pengolahan data (Gambar 3), secara umum diperoleh bahwa pada musim timur, pola dan arah arus permukaan dominan bergerak dari timur Laut Jawa menuju Barat dan Barat Laut pesisir Timur Sumatera dengan rata-rata kecepatan arus mencapai 0.51-1.02 m/s. Sebagian arus berbelok menuju ke Samudera Hindia melalui Selat Sunda. Aji *et al.* (2022), melaporkan bahwa pertemuan arus antara arus Laut



Gambar 2. Diagram Windrose Musim Timur. Sumber: Peneliti, 2022

Figure 2. Windrose Diagram Southeast Monsoon.



Gambar 3. Pola dan arah arus laut pada Musim Timur. Sumber: Peneliti, 2022  
 Figure 3. Ocean current patterns in Southeast Monsoon.

Jawa dan Samudera Hindia di wilayah Selat Sunda dipengaruhi oleh sistem monsoon, dimana massa air yang terbawa dari Laut Jawa menuju Samudera Hindia lebih kuat ketika musim Timur daripada musim Barat dan pengaruh massa air dari Laut Jawa. Hasil Penelitian lainnya dari Hendra *et al.* (2022), pola arah dan kecepatan arus di sekitar perairan Selat Sunda pada musim Timur terpengaruh oleh dorongan massa air yang berasal dari Samudera Hindia bagian Selatan.

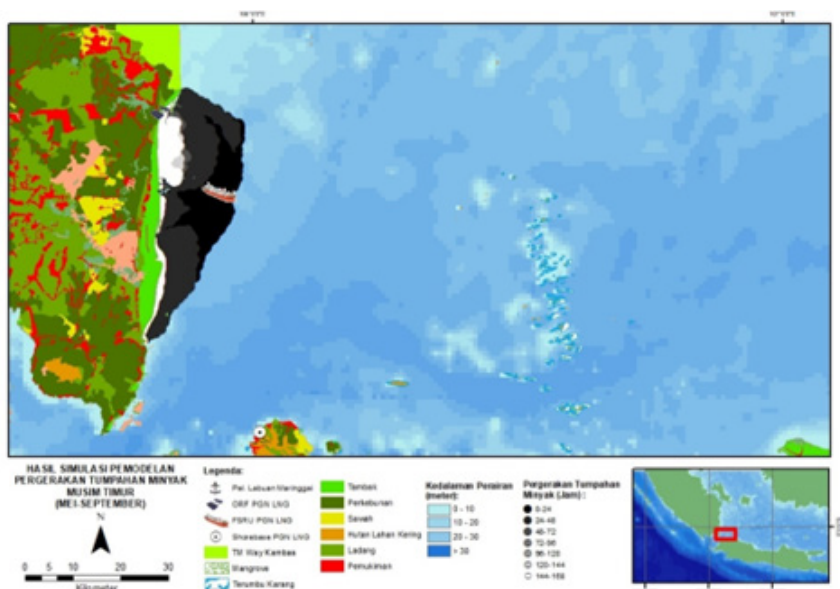
Dengan membandingkan data angin pada windroses dengan pola dan arah arus laut, terdapat kesamaan antara pola angin dan arus laut di sekitar wilayah penelitian. Tiupan angin di atas permukaan laut akan menimbulkan tegangan angin dan menyebabkan pergerakan arus laut dengan arah horizontal dan vertikal (Abimanyu *et al.* 2021). Faktor fisik di permukaan laut, terutama angin dan arus sangat mempengaruhi proses pergerakan. Angin musim juga memiliki peran penting karena menghasilkan kekuatan untuk aliran fluida skala besar di perairan Indonesia (Abimanyu *et al.*, 2021).

#### **Pola sebaran tumpahan minyak**

Hasil pemodelan ditampilkan berdasarkan musim yang terjadi di Indonesia yaitu Musim Barat yang berlangsung pada Desember-Februari, Musim Peralihan Pertama pada Maret-Mei, Musim Timur pada Juni-Agustus dan musim peralihan kedua pada September-November. Hasil pemodelan arah pergerakan tumpahan minyak pada lokasi penelitian tersaji pada Gambar 4. Pada hasil pemodelan terdapat lintasan / jejak tumpahan

yang digambarkan melalui gradasi warna hitam hingga putih. Saat terjadi tumpahan, gradasi warna tersebut menjelaskan lintasan/ jejak tumpahan dari waktu ke waktu dan pada skenario pemodelan penelitian ini dibuat selama hari ke tujuh atau 168 jam. Pada (Gambar 4) juga terdapat gradasi berwarna biru yang menunjukkan kedalaman perairan di lokasi perairan.

Hasil pemodelan arah pergerakan tumpahan minyak pada Musim Timur (Mei-September) disajikan pada Gambar 3. Diperoleh bahwa, jika terjadi tumpahan minyak pada musim Timur, maka arah pergerakan tumpahan minyak bergerak ke arah Barat, Barat Daya dan Barat Laut dan tumpahan minyak menyebar menuju ke Timur mendekati wilayah pantai Timur Pulau Sumatera, kemudian ada yang menyusur ke Selatan dan ke Utara. Hal ini sejalan dengan Purnowo *et al.* (2018) bahwa alur arus lapisan permukaan di dominasi oleh arah arus dari Selat Sunda menuju Samudera Hindia, menyebabkan tumpahan minyak yang berada di permukaan bergerak menyebar searah dengan arus yang menuju arah pantai timur Pulau Sumatera. Selain dipengaruhi pola arus, pola angin dapat menyebabkan perubahan luas area tumpahan minyak yang semakin meluas (Millah *et al.*, 2019). Serodja *et al.* (2022), melaporkan bahwa pola arah angin musim timur di perairan Selat Sunda menunjukkan dominasi arah angin menuju arah barat laut dan arah utara dimana variasi arah angin bertiup dari tenggara menuju barat laut.



Gambar 4. Hasil Simulasi Pemodelan Tumpahan Minyak Musim Timur.  
*Figure 4. Oil Spill Model in Southeast Monsoon*  
 Sumber: Peneliti, 2022

Pemodelan tumpahan minyak sangat di pengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis minyak, angin dan arus laut (Salim & Susanto, 2014). Kecepatan angin sangat mempengaruhi pergerakan tumpahan minyak, dimana ketebalan minyak akan semakin berkurang seiring dengan pergerakan arus laut yang di pengaruhi hembusan angin (Millah *et al.*, 2019). Validasi statistik data angin dilakukan dengan membandingkan data pemodelan dan data referensi menggunakan perhitungan *Absolute Mean Error* (AME) (Persamaan 1). Metode AME adalah metode yang menguji penyimpangan antara nilai rata-rata simulasi dengan nilai aktual sehingga batas penyimpangan yang dapat diterima adalah kurang dari 10% (Saily *et al.* 2019).

$$AME = \frac{(S-R)}{R} \times 100\% \dots\dots\dots 1)$$

S pada persamaan menjelaskan nilai rata-rata dari data simulasi dan R adalah nilai rata-rata dari data referensi. Pada penelitian ini didapatkan Nilai AME sebesar 0,07%. Data referensi dan data simulasi untuk menghitung nilai AME terlampir pada Lampiran 1.

**Dampak lingkungan akibat tumpahan minyak terhadap ekosistem pesisir**

Tumpahan minyak dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem pesisir, seperti mangrove, terumbu karang dan lamun (Ariani, 2016). Ekosistem mangrove adalah salah satu ekosistem pesisir yang sangat rentan terhadap tumpahan minyak, melalui pergerakan pasang surut perairan, minyak dapat masuk ke dalam sistem

perakaran, merusak daun, batang dan bagian mangrove lainnya (Mardiastuti *et al.*, 2020; Muarif *et al.*, 2016). Ekosistem mangrove memiliki manfaat yang sangat besar bagi sistem kehidupan lautan, ekosistem ini dimanfaatkan sebagai tempat untuk mencari makan (*feeding ground*), tempat mengasuh dan membesarkan (*nursery ground*), tempat bertelur dan memijah (*spawning ground*) dan tempat berlindungnya bagi biota laut. (Rikardi *et al.*, 2021). Ekosistem mangrove yang terdampak tumpahan minyak akan mengalami kerusakan dan pemulihannya akan membutuhkan waktu yang sangat lama karena minyak dapat memasuki sistem perakaran mangrove melalui pasang surut (Muarif *et al.*, 2016; Ramadhan *et al.*, 2017).

Selain ekosistem mangrove, ekosistem terumbu karang juga sangat rentan mengalami kerusakan akibat tumpahan minyak yang mengapung pada permukaan air, sehingga akan mengganggu organisme yang hidup, meningkatkan suhu perairan, menghalangi intensitas cahaya matahari yang masuk hingga mengganggu pertukaran gas dari atmosfer (Ramadhan *et al.*, 2017; Suhery *et al.*, 2017). Minyak dapat merusak terumbu karang akibat paparan dan level konsentrasi toksisitas minyak tersebut (Suhery *et al.*, 2017). Toksisitas kronis minyak dapat mempengaruhi reproduksi karang, pertumbuhan, tingkah laku dan perkembangannya sehingga dapat menghilangkan fungsi terumbu karang sebagai penyangga kehidupan pesisir dan laut serta melindungi pantai dari erosi oleh arus, angin dan ombak (Ramadhan *et al.*, 2017; Suhery *et al.*, 2017).

Tumpahan minyak juga akan cenderung mengganggu ekosistem padang lamun, secara ekologis padang lamun mempunyai fungsi antara lain: (a) penghasil detritus dan nutrisi; (b) mengikat sedimen dan menstabilkan substrat lunak dengan sistem akar yang padat; (c) sebagai tempat berlindung, mencari makan, mencari makan, dan pemijahan bagi berbagai jenis biota laut, terutama yang tumbuh subur di lingkungan ini, dan; (d) sebagai pelindung yang melindungi penghuni rumput laut dari sinar matahari (Ramadhan *et al.*, 2017).

Tabel analisis dampak pada Lampiran 2 menunjukkan bahwa pada saat tumpahan minyak terjadi (jam ke 0) dengan volume awal tumpahan pada simulasi sebanyak 400 m<sup>3</sup>. Tumpahan minyak berada pada permukaan perairan sebelum mencapai daratan pada jam ke-39. Berdasarkan Peta Tata Guna Lahan, Kecamatan yang berpotensi terkena dampak tumpahan minyak adalah Kecamatan Labuhan Maringgai dan Kecamatan Pasir Sakti dan kawasan yang berpotensi terdampak adalah tambak, mangrove, dan pemukiman.

Prakiraan luasan area pesisir yang terdampak akibat tumpahan minyak adalah seluas 59 km. Hasil pemodelan arah pergerakan tumpahan minyak pada musim lainnya tidak mencapai daratan hingga waktu yang telah disimulasikan dan menuju ke arah Laut Jawa. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilaporkan oleh Setyonugroho *et al.* (2019), bahwa jika terjadi tumpahan di daerah Laut Jawa Bagian Barat pada musim Timur, ekosistem mangrove, ekosistem terumbu karang, budidaya perikanan dan perikanan tangkap di area Kecamatan Labuhan Maringgai dan Kecamatan Pasir Sakti termasuk ke dalam kelas Indeks Kepekaan Lingkungan kategori peka atau kategori terdampak risiko tinggi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perluasan wilayah akibat pengaruh tumpahan minyak terhadap lingkungan sekitar yang bergantung pada variasi angin musim. Pada Musim Angin Timur, tumpahan minyak cenderung bergerak ke arah barat, barat daya dan barat laut. Imbas dari perluasan terhadap pergerakan tumpahan minyak tersebut mencapai kawasan tambak, mangrove, dan pemukiman di Kecamatan Labuhan Maringgai. Dari hasil pemodelan arah pergerakan tumpahan minyak tiga musim lainnya, cenderung tidak mencapai daratan hingga waktu yang telah disimulasikan dan menuju ke arah Laut Jawa. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan strategi mitigasi dampak lingkungan

tumpahan minyak di sekitar wilayah operasi perusahaan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini adalah salah satu karya tulis ilmiah yang seluruh penulisnya adalah kontributor utama. Artikel ini adalah bagian dari tesis magister pada Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia milik Penulis pertama, Chesya Sera De Claesya yang dibimbing oleh Penulis kedua, Raldi Hendro T. Koestoer dan Penulis ketiga, Widodo Setiyo Pranowo. Diskusi dan simulasi teknis dilakukan oleh Penulis pertama, Penulis ketiga dan Penulis keempat, Andri Cahyadi. Analisis dilakukan oleh Penulis pertama, Penulis kedua dan Penulis ketiga. Sebagian analisis dilakukan di Laboratorium Hidro-Oseanografi STTAL Jakarta. Ucapan terima kasih diberikan kepada PT. PGN LNG Indonesia dan seluruh narasumber yang bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi, memberikan segenap data-data untuk penyusunan tesis maupun artikel ilmiah ini. Kepada editor dan reviewer Jurnal Kelautan Nasional, diucapkan terima kasih telah menjadikan artikel ini menjadi layak terbit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, A., Pranowo, W. S., Faizal, I., Afandi, N. K. A., & Purba, N. P. (2021). Reconstruction of oil spill trajectory in the Java Sea, Indonesia using sar imagery. *Geography, Environment, Sustainability*, 14(1), 177–184. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-21>
- Aji, T., Pranowo, W. S., Santosa, Y. N., Hendra, H., & Umam, C. (2022). Analisis Massa Air Musiman di Selat Sunda. *Jurnal Chart Datum*, 8(2), 125–142. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v8i2.148>
- Ariani, F. (2016) *Strategi Pengelolaan Pencemaran di Pesisir Perairan Kota Dumai*. Sekolah Pascasarjana Insitut Pertanian Bogor.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). Buku Data Statistik Minyak dan Gas Bumi Tahun 2020. Jakarta.
- Fatmawaty, D. (2020). Analisis Pertanggungjawaban Pencemaran Lingkungan Akibat Tumpahan Minyak (Studi Kasus: Kebocoran Pipa Minyak di Teluk Balikpapan). *Bumi Lestari Journal*



*Of Environment*, 20(1), 14-21. doi:10.24843/blje.2020.v20.i01.p03

- Firmansyah, M. D., Ismanto, A., Wulandari, S. Y., Widiaratih, R., Rifai, A., & Atmodjo, W. (2021). Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Perairan Karawang, Jawa Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(2), 200–212. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i2.31736>
- Haryanto, Y. D., Agdialta, R., & Hartoko, A. (2020). Analisis Monsun di Laut Jawa. *Jurnal Berkala Perikanan Terubuk*, Unri, 48(2).
- Hendra, Pranowo, W. S., Mukhlis, Triaji, & Agustinus. (2022). Karakteristik Arus Musiman di Selat Sunda. *Jurnal Chart Datum*, 8(2).
- Hendra, H., pranowo, W. S., Aji, T., mukhlis., & Agustinus, A. (2022). Karakteristik Arus Musiman di Selat Sunda: Characteristics of Seasonal Currents in The Sunda Strait. *Jurnal Chart Datum*, 8(2), 117–124. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v8i2.146>
- Krisdiantoro. (2012). Model Sebaran Tumpahan Minyak di Perairan Indramayu, Jawa Barat. Departemen Ilmu Dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor
- Mauludiyah. (2016). Valuasi Ekonomi Dampak Lingkungan Akibat Tumpahan Minyak di Perairan Cilacap. Paper and Presentation, Coastal Management Engineering. <http://digilib.its.ac.id/ITS-paper-41003120000090/20744>
- Mardiastuti, A., Mulyani, Y. A., Susanti, N. K. Y., Ivonnie, R. N., & Oktavia, A. C. (2020). Oil Spill in Pulau Rambut and its possible long-term impact on mangrove as waterbirds habitat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 528(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/528/1/012015>
- Miller. (2006). *Environmental Science*. Thomson Learning Academic Resources Center.
- Millah, N., Anggriani, I., & Nugraheni, K. (2019). Simulasi Pergerakan Tumpahan Minyak di Laut dengan Pengaruh Angin. *Specta Journal of Technology*, 3(3), 11-19. DOI: <https://doi.org/10.35718/specta.v3i2.67>
- Muarif, Damar, A., Hariyadi, S., Boer, M., & Dewayani Soetrisno. (2016). Tingkat Kepekaan Mangrove Indonesia Terhadap Tumpahan Minyak. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan. Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(3), 374-380. <https://doi.org/10.22146/jml.22476>
- Mursalin, Nurjaya, I. W., & Effendi, H. (2014). Analisis sensitivitas lingkungan OSCP (Oil Spill Contingency Plan) di Pesisir Selatan Delat Mahakam, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 4(1), 84–95.
- Nagara, GA., N.A. Sasongko, and O.J. Olakunle. 2007. Introduction to Java Sea. University of Stavanger. Norwegia
- Negara, G. S. (2020). Dampak lingkungan terhadap pencemaran laut di Pesisir Utara Pulau Bintan selama musim angin utara. *Jurnal Saintek Maritime*, 20(2).
- Nontji, A. (2007) Laut Nusantara. Djmbatan. Jakarta.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 109 Tahun 2006 tentang Penanggulangan Keadaan Darurat Tumpahan Minyak di Laut (2006)
- Phady, A., Ramadani Rahim, F., Melati Suci, I., Muhammad Alfian Arafat, A., & Rachman, T. (2019). Kajian teknologi penanganan kebocoran pipa pada bangunan lepas pantai di Laut Utara Karawang. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 2(1), 58-65.
- Purnowo, Monang, S., Alam, M. T., & Pranowo, S. W. (2018). Rezim Horisontal dan Vertikal Arus Monsun di Selat Sunda. *Jurnal Hidropilar*, 4(1).
- Poerwanto, H., Zainul Muttaqin, M. N., Sudaryono, M. P., Kharismayati, N., Sahardo, P., Hermansius Simanjuntak, R. T., Kusumawati, T. Y., Primagani, T., & Pandiangan, W. R. (2021). Prosedur penanggulangan dan beban pertanggungjawaban akibat tumpahan minyak di laut TIER-3. *Jurnal IKAMAKUM*, 1(1), 39-47.
- Rahardian, A. C. (2014). *Pemodelan aliran tumpahan minyak dalam manajemen perencanaan penanggulangan bencana tumpahan minyak*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geomatika,

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- Ramadhan, A., Suryawati, S. H., Koeshendrajana, S., Nomor, P., & Timur, A. (2017). Pendekatan valuasi ekonomi untuk menghitung dampak ekonomi akibat tumpahan minyak di wilayah pesisir dan laut. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 12(1) 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jsekp.v12i1.6283>
- Rikardi, N., Nurjaya, I. W., & Damar, A. (2021). Indeks Kepekaan Lingkungan Ekosistem Mangrove Terhadap Tumpahan Minyak: Studi Kasus di Pesisir Subang, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1), 1–17.
- Rezki, C. T., Budhi Soesilo, T. E., Herdiansyah, H., & Syahnoedi, U. (2018). Integrated Hydrodynamic and Oil Spill Modeling using OILMAP Software for Environment Protection of Oil Spill in Cilacap Regency. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2018730>
- RPS. OILMAP Training Modul. RPS APASA PTY LTD. Australia (2014).
- Sabhan. (2011). *Model Sebaran Tumpahan Minyak di Alur Pelayaran Kepulauan Seribu DKI Jakarta*. Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Saily, R., Fauzi, M., & Suprayogi, I. (2019). Pendekatan Model Wasp Pada Pengendalian Pencemaran Sungai Dengan Parameter Uji Cod. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development*, 2(1).
- Salim, A., & Edi Sutanto, T. (2013). Model pergerakan tumpahan minyak di Perairan Selat Sunda dengan GNOME Analysis. Institutional Repository UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Setyonugroho, A., Damar, A., Nurjaya, W., Kajian, P., Pesisir, S., Lautan, D., Bogor, P., Ilmu, D., Kelautan, T., & Dramaga, J. R. (2019). Kajian Risiko Penanggulangan Tumpahan Minyak: Studi Kasus di Laut Jawa Bagian Barat. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(3). <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.3.826-839>
- Serodja, C. M., Ismanto, A., Hakim, A. R., & Ramdhani, A. (2022). Pengaruh Angin Monsoon Timur Terhadap Arus Permukaan Berdasarkan Data HF Radar di Perairan Selat Sunda. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 04(2), 11–18. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce>
- Sinurat, B. E. M., Ismanto Aris, & Hariyadi. (2016). Analisis pola sebaran tumpahan minyak mentah (crude oil) dengan pendekatan model hidrodinamika dan spill analysis di Perairan Balongan, Indramayu, Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 5(2), 218–226.
- Suhery, N., Damar, A., & Effendi, H. (2017). Indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak: kasus Pulau Pramuka dan Pulau Belanda di Kepulauan Seribu. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 67–89. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17918>
- Sulistiyono. (2013). Dampak Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut Pada Kegiatan Industri Migas dan Metode Penanggulangannya. *Forum Teknologi*, 3(1), 49–57.
- Tulandi, D. A., Tumangkeng, J. V., & Tumbelaka, F. E. A. (2020). Analisis Data Angin Permukaan di Bandara Sam Ratulangi Manado Menggunakan Metode Wind Rose. *Jurnal Sains, Matematika Dan Edukasi (JSME) Fisika FMIPA UNIMA*, 8(1).
- PT PGN LNG Indonesia, Oil Spill Contingency Plan PT PGN LNG INDONESIA. 2017. Jakarta.
- Widodo, H. B. L., & Tri Wahyuni, E. (2020). Manajemen penanggulangan tumpahan minyak di laut akibat dari pengoperasian kapal. *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, 22(1). DOI: <https://doi.org/10.37612/gema-maritim.v22i1.52>

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Referensi dan Data Simulasi Pemodelan Tumpahan Minyak pada Musim Timur  
*Appendix 1. Reference Data and Simulation Data Oil Spill in the Souteast Monsoon*

Tanggal	Waktu	Data Referensi		Data Simulasi	
		Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin	Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin
15-Jul	21:00	12	SW	6	W
15-Jul	22:00	12	SW	9	W
15-Jul	23:00	13	SW	12	W
16-Jul	00:00	14	SW	16	SW
16-Jul	01:00	13	SW	14	SW
16-Jul	02:00	12	SW	14	SW
16-Jul	03:00	11	SW	14	SW
16-Jul	04:00	10	WSW	15	WNW
16-Jul	05:00	9	WSW	15	WNW
16-Jul	06:00	8	WSW	16	WSW
16-Jul	07:00	8	WSW	10	WSW
16-Jul	08:00	7	W	6	W
16-Jul	09:00	6	W	6	W
16-Jul	10:00	5	W	4	W
16-Jul	11:00	4	W	3	W
16-Jul	12:00	3	WNW	2	WNW
16-Jul	13:00	3	W	2	W
16-Jul	14:00	3	W	2	W
16-Jul	15:00	3	W	2	W
16-Jul	16:00	3	W	4	W
16-Jul	17:00	3	W	7	W
16-Jul	18:00	2	W	11	W
16-Jul	19:00	2	W	10	W
16-Jul	20:00	2	W	8	W
16-Jul	21:00	2	WSW	7	WSW
16-Jul	22:00	2	WSW	4	WSW
16-Jul	23:00	2	WSW	1	WSW
17-Jul	00:00	2	WSW	1	WSW
17-Jul	01:00	3	WSW	1	WSW
17-Jul	02:00	3	SW	0	SW
17-Jul	03:00	4	SSW	0	SSW
17-Jul	04:00	5	SSW	3	SSW
17-Jul	05:00	5	S	6	S
17-Jul	06:00	6	S	9	S
17-Jul	07:00	7	SSE	10	SSE
17-Jul	08:00	7	SE	12	SE
17-Jul	09:00	8	SE	13	SE
17-Jul	10:00	9	ESE	12	ESE
17-Jul	11:00	9	ESE	12	ESE

Tanggal	Waktu	Data Referensi		Data Simulasi	
		Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin	Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin
17-Jul	12:00	10	E	11	E
17-Jul	13:00	10	E	11	E
17-Jul	14:00	9	E	11	E
17-Jul	15:00	8	ESE	10	ESE
17-Jul	16:00	8	ESE	9	ESE
17-Jul	17:00	8	ESE	9	ESE
17-Jul	18:00	7	ESE	8	ESE
17-Jul	19:00	6	ESE	7	ESE
17-Jul	20:00	6	ESE	6	ESE
17-Jul	21:00	6	SE	5	SE
17-Jul	22:00	5	SE	5	SE
17-Jul	23:00	4	SE	5	SE
18-Jul	00:00	4	SE	4	SE
18-Jul	01:00	4	SE	5	SE
18-Jul	02:00	4	SE	6	SE
18-Jul	03:00	4	ESE	6	ESE
18-Jul	04:00	5	ESE	5	ESE
18-Jul	05:00	5	ESE	5	ESE
18-Jul	06:00	5	ESE	5	ESE
18-Jul	07:00	5	E	5	E
18-Jul	08:00	5	E	5	E
18-Jul	09:00	6	E	5	E
18-Jul	10:00	6	E	6	E
18-Jul	11:00	6	ENE	6	ENE
18-Jul	12:00	6	ENE	6	ENE
18-Jul	13:00	6	ENE	7	ENE
18-Jul	14:00	6	E	7	E
18-Jul	15:00	6	E	8	E
18-Jul	16:00	6	E	8	E
18-Jul	17:00	6	E	8	E
18-Jul	18:00	6	ESE	8	ESE
18-Jul	19:00	6	ESE	8	ESE
18-Jul	20:00	6	ESE	8	ESE
18-Jul	21:00	6	ESE	8	ESE
18-Jul	22:00	6	SE	7	SE
18-Jul	23:00	6	SE	7	SE
19-Jul	00:00	6	SE	6	SE
19-Jul	01:00	6	SE	6	SE
19-Jul	02:00	6	SE	6	SE
19-Jul	03:00	6	ESE	5	ESE
19-Jul	04:00	6	ESE	6	ESE
19-Jul	05:00	6	ESE	6	ESE
19-Jul	06:00	6	ESE	6	ESE
19-Jul	07:00	7	ESE	5	ESE

Tanggal	Waktu	Data Referensi		Data Simulasi	
		Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin	Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin
19-Jul	08:00	7	ESE	5	ESE
19-Jul	09:00	7	E	5	E
19-Jul	10:00	7	E	6	E
19-Jul	11:00	7	E	6	E
19-Jul	12:00	7	E	7	E
19-Jul	13:00	7	E	6	E
19-Jul	14:00	7	E	6	E
19-Jul	15:00	8	E	5	E
19-Jul	16:00	8	E	5	E
19-Jul	17:00	8	E	5	E
19-Jul	18:00	8	E	5	E
19-Jul	19:00	8	E	5	E
19-Jul	20:00	8	E	6	E
19-Jul	21:00	8	E	6	E
19-Jul	22:00	9	E	7	E
19-Jul	23:00	9	E	8	E
20-Jul	00:00	9	E	10	E
20-Jul	01:00	9	E	8	E
20-Jul	02:00	8	E	7	E
20-Jul	03:00	8	E	6	E
20-Jul	04:00	7	E	6	E
20-Jul	05:00	7	ESE	6	ESE
20-Jul	06:00	6	ESE	7	ESE
20-Jul	07:00	6	ESE	6	ESE
20-Jul	08:00	6	ESE	6	ESE
20-Jul	09:00	5	ESE	6	ESE
20-Jul	10:00	5	SE	4	SE
20-Jul	11:00	4	SE	3	SE
20-Jul	12:00	4	SE	3	SE
20-Jul	13:00	4	SE	5	SE
20-Jul	14:00	4	SE	7	SE
20-Jul	15:00	4	SE	9	SE
20-Jul	16:00	4	SE	8	SE
20-Jul	17:00	4	SE	7	SE
20-Jul	18:00	4	SE	6	SE
20-Jul	19:00	5	SE	6	SE
20-Jul	20:00	5	SE	6	SE
20-Jul	21:00	5	SE	6	SE
20-Jul	22:00	5	SE	6	SE
20-Jul	23:00	5	SE	6	SE
21-Jul	00:00	5	SE	5	SE
21-Jul	01:00	5	SE	5	SE
21-Jul	02:00	5	SE	5	SE
21-Jul	03:00	5	ESE	6	ESE

Tanggal	Waktu	Data Referensi		Data Simulasi	
		Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin	Kecepatan Angin (Knots)	Arah Angin
21-Jul	04:00	5	ESE	5	ESE
21-Jul	05:00	5	ESE	5	ESE
21-Jul	06:00	5	ESE	5	ESE
21-Jul	07:00	5	ESE	5	ESE
21-Jul	08:00	5	E	5	E
21-Jul	09:00	5	E	6	E
21-Jul	10:00	5	E	6	E
21-Jul	11:00	5	E	6	E
21-Jul	12:00	5	E	6	E
21-Jul	13:00	5	E	6	E
21-Jul	14:00	5	E	6	E
21-Jul	15:00	5	E	6	E
21-Jul	16:00	5	E	6	E
21-Jul	17:00	5	ESE	6	ESE
21-Jul	18:00	5	ESE	7	ESE
21-Jul	19:00	5	ESE	6	ESE
21-Jul	20:00	5	ESE	6	ESE
21-Jul	21:00	5	ESE	5	ESE
21-Jul	22:00	5	SE	5	SE
21-Jul	23:00	5	SE	5	SE
22-Jul	00:00	5	SE	5	SE
22-Jul	01:00	5	SE	5	SE
22-Jul	02:00	6	ESE	4	ESE
22-Jul	03:00	6	ESE	4	ESE
22-Jul	04:00	6	ESE	4	E
22-Jul	05:00	7	ESE	5	E
22-Jul	06:00	7	ESE	5	E
22-Jul	07:00	7	E	7	E
22-Jul	08:00	8	E	8	E
22-Jul	09:00	8	E	10	ESE
22-Jul	10:00	8	E	9	ESE
22-Jul	11:00	9	E	9	ESE
22-Jul	12:00	9	ENE	9	ENE
22-Jul	13:00	9	ENE	9	ENE
22-Jul	14:00	9	ENE	9	ENE
22-Jul	15:00	8	E	9	E
22-Jul	16:00	8	E	8	E
22-Jul	17:00	8	E	8	E
22-Jul	18:00	8	E	7	E
22-Jul	19:00	8	E	8	E
22-Jul	20:00	8	E	8	ENE
22-Jul	21:00	8	E	9	ENE
<b>Rata-rata</b>		<b>6,213017751</b>		<b>6,692307692</b>	
<b>AME (%)</b>			<b>0,071618037</b>		

Lampiran 2. Analisa Dampak Tumpahan Minyak pada Musim Timur  
*Appendix 2. Impact Analysis Oil Spill in the Souteast Monsoon*

<b>Waktu ke (n) setelah tumpahan minyak terjadi (jam)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang berada di Permukaan Perairan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang mencapai daratan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang tereaporasi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tata guna lahan wilayah sekitar</b>
1	064,1	000,0	003,1	-
2	128,3	000,0	005,3	-
3	192,5	000,0	007,5	-
4	256,8	000,0	010,4	-
5	319,5	000,0	014,1	-
6	381,4	000,0	018,6	-
7	378,0	000,0	022,0	-
8	375,4	000,0	024,6	-
9	373,2	000,0	026,8	-
10	371,5	000,0	028,5	-
11	370,1	000,0	029,9	-
12	369,1	000,0	030,9	-
13	368,1	000,0	031,9	-
14	367,1	000,0	032,9	-
15	366,2	000,0	033,8	-
16	365,3	000,0	034,7	-
17	364,5	000,0	035,5	-
18	363,6	000,0	036,4	-
19	362,2	000,0	037,8	-
20	360,6	000,0	039,4	-
21	358,7	000,0	041,3	-
22	357,2	000,0	042,8	-
23	356,0	000,0	044,0	-
24	355,0	000,0	045,0	-
25	354,1	000,0	045,9	-
26	353,4	000,0	046,6	-
27	352,8	000,0	047,2	-
28	352,3	000,0	047,7	-
29	351,8	000,0	048,2	-
30	351,4	000,0	048,6	-
31	350,9	000,0	049,1	-
32	350,4	000,0	049,6	-
33	349,9	000,0	050,1	-
34	349,4	000,0	050,6	-
35	348,9	000,0	051,1	-
36	348,4	000,0	051,6	-
37	348,0	000,0	052,0	-
38	347,5	000,0	052,5	-
39	345,0	002,1	052,9	Tambak, Mangrove
40	339,8	007,0	053,3	Tambak, Mangrove
41	335,2	011,1	053,6	Tambak, Mangrove
42	332,1	013,9	054,0	Tambak, Mangrove
43	327,6	018,0	054,3	Tambak, Mangrove
44	316,7	028,7	054,6	Tambak, Mangrove

<b>Waktu ke (n) setelah tumpahan minyak terjadi (jam)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang berada di Permukaan Perairan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang mencapai daratan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang terevaporasi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tata guna lahan wilayah sekitar</b>
45	296,3	048,8	054,9	Tambak, Mangrove
46	278,3	066,5	055,2	Tambak, Mangrove
47	259,8	084,8	055,5	Tambak, Mangrove
48	242,7	101,6	055,7	Tambak, Mangrove
49	226,3	117,7	056,0	Tambak, Mangrove
50	209,9	133,9	056,2	Tambak, Mangrove
51	193,1	150,4	056,4	Tambak, Mangrove
52	169,2	174,1	056,7	Tambak, Mangrove
53	146,6	196,6	056,9	Tambak, Mangrove
54	128,7	214,2	057,1	Tambak, Mangrove
55	111,7	231,0	057,3	Tambak, Mangrove
56	098,3	244,3	057,4	Tambak, Mangrove
57	088,3	254,2	057,6	Tambak, Mangrove
58	078,3	264,0	057,7	Tambak, Mangrove
59	072,2	270,0	057,8	Tambak, Mangrove
60	068,2	273,8	058,0	Tambak, Mangrove
61	063,5	278,4	058,1	Tambak, Mangrove
62	059,6	282,1	058,2	Tambak, Mangrove
63	059,5	282,2	058,3	Tambak, Mangrove
64	057,7	283,8	058,5	Tambak, Mangrove
65	056,7	284,7	058,6	Tambak, Mangrove
66	054,6	286,6	058,7	Tambak, Mangrove
67	053,6	287,6	058,8	Tambak, Mangrove
68	052,8	288,2	058,9	Tambak, Mangrove
69	050,8	290,2	059,0	Tambak, Mangrove
70	050,0	290,8	059,1	Tambak, Mangrove
71	049,0	291,8	059,2	Tambak, Mangrove
72	047,6	293,0	059,3	Tambak, Mangrove
73	046,9	293,7	059,4	Tambak, Mangrove
74	045,3	295,1	059,5	Tambak, Mangrove
75	044,9	295,4	059,6	Tambak, Mangrove
76	044,9	295,4	059,7	Tambak, Mangrove
77	044,4	295,7	059,9	Tambak, Mangrove
78	044,0	296,0	060,0	Tambak, Mangrove
79	043,3	296,6	060,1	Tambak, Mangrove
80	043,3	296,5	060,2	Tambak, Mangrove
81	042,5	297,2	060,3	Tambak, Mangrove
82	042,5	297,1	060,4	Tambak, Mangrove
83	042,0	297,5	060,5	Tambak, Mangrove
84	041,3	298,1	060,6	Tambak, Mangrove
85	040,6	298,7	060,7	Tambak, Mangrove
86	039,3	300,0	060,8	Tambak, Mangrove
87	038,6	300,6	060,9	Tambak, Mangrove
88	038,5	300,5	060,9	Tambak, Mangrove
89	038,5	300,5	061,0	Tambak, Mangrove



<b>Waktu ke (n) setelah tumpahan minyak terjadi (jam)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang berada di Permukaan Perairan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang mencapai daratan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang terevaporasi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tata guna lahan wilayah sekitar</b>
90	037,1	301,9	061,1	Tambak, Mangrove
91	037,0	301,9	061,1	Tambak, Mangrove
92	036,2	302,6	061,2	Tambak, Mangrove
93	034,5	304,3	061,2	Tambak, Mangrove
94	034,2	304,6	061,2	Tambak, Mangrove
95	034,2	304,6	061,3	Tambak, Mangrove
96	032,3	306,4	061,3	Tambak, Mangrove
97	032,1	306,5	061,4	Tambak, Mangrove
98	031,3	307,2	061,4	Tambak, Mangrove
99	031,1	307,4	061,5	Tambak, Mangrove
100	031,1	307,4	061,5	Tambak, Mangrove
101	030,7	307,7	061,6	Tambak, Mangrove
102	030,6	307,7	061,7	Tambak, Mangrove
103	030,0	308,3	061,7	Tambak, Mangrove
104	029,9	308,3	061,8	Tambak, Mangrove
105	029,9	308,3	061,8	Tambak, Mangrove
106	029,9	308,3	061,9	Tambak, Mangrove
107	029,8	308,3	061,9	Tambak, Mangrove
108	029,8	308,3	061,9	Tambak, Mangrove
109	029,2	308,9	061,9	Tambak, Mangrove
110	028,8	309,2	062,0	Tambak, Mangrove
111	028,8	309,2	062,0	Tambak, Mangrove
112	028,4	309,6	062,0	Tambak, Mangrove
113	028,4	309,6	062,1	Tambak, Mangrove
114	028,4	309,5	062,1	Tambak, Mangrove
115	028,4	309,5	062,2	Tambak, Mangrove
116	028,4	309,5	062,2	Tambak, Mangrove
117	028,3	309,4	062,2	Tambak, Mangrove
118	028,3	309,4	062,3	Tambak, Mangrove
119	028,3	309,3	062,3	Tambak, Mangrove
120	028,3	309,3	062,4	Tambak, Mangrove
121	028,3	309,3	062,4	Tambak, Mangrove
122	028,3	309,2	062,5	Tambak, Mangrove
123	028,3	309,2	062,5	Tambak, Mangrove
124	027,6	309,9	062,5	Tambak, Mangrove
125	027,6	309,8	062,5	Tambak, Mangrove
126	027,6	309,8	062,6	Tambak, Mangrove
127	026,7	310,6	062,6	Tambak, Mangrove
128	024,8	312,5	062,7	Tambak, Mangrove
129	023,1	314,2	062,7	Tambak, Mangrove
130	020,5	316,8	062,8	Tambak, Mangrove
131	019,8	317,4	062,8	Tambak, Mangrove
132	018,1	319,0	062,8	Tambak, Mangrove
133	017,6	319,6	062,8	Tambak, Mangrove
134	016,4	320,7	062,9	Tambak, Mangrove

<b>Waktu ke (n) setelah tumpahan minyak terjadi (jam)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang berada di Permukaan Perairan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang mencapai daratan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume tumpahan minyak yang terevaporasi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tata guna lahan wilayah sekitar</b>
135	015,8	321,3	062,9	Tambak, Mangrove
136	014,8	322,2	062,9	Tambak, Mangrove
137	014,2	322,8	063,0	Tambak, Mangrove
138	012,2	324,8	063,0	Tambak, Mangrove
139	010,9	326,1	063,0	Tambak, Mangrove
140	010,9	326,1	063,0	Tambak, Mangrove
141	010,7	326,2	063,0	Tambak, Mangrove
142	010,7	326,2	063,1	Tambak, Mangrove
143	010,1	326,8	063,1	Tambak, Mangrove
144	010,1	326,8	063,1	Tambak, Mangrove
145	010,1	326,8	063,1	Tambak, Mangrove
146	010,1	326,8	063,1	Tambak, Mangrove
147	010,1	326,7	063,2	Tambak, Mangrove
148	010,1	326,7	063,2	Tambak, Mangrove
149	010,1	326,7	063,2	Tambak, Mangrove
150	010,1	326,7	063,2	Tambak, Mangrove
151	010,1	326,7	063,2	Tambak, Mangrove
152	010,1	326,7	063,3	Tambak, Mangrove
153	010,1	326,7	063,3	Tambak, Mangrove
154	009,8	326,9	063,3	Tambak, Mangrove
155	009,5	327,2	063,3	Tambak, Mangrove
156	009,5	327,2	063,3	Tambak, Mangrove
157	008,8	327,9	063,4	Tambak, Mangrove
158	008,8	327,8	063,4	Tambak, Mangrove
159	008,8	327,8	063,4	Tambak, Mangrove
160	008,8	327,8	063,5	Tambak, Mangrove
161	008,8	327,7	063,5	Tambak, Mangrove
162	008,8	327,7	063,5	Tambak, Mangrove
163	008,8	327,7	063,6	Tambak, Mangrove
164	008,7	327,7	063,6	Tambak, Mangrove
165	008,1	328,2	063,6	Tambak, Mangrove
166	007,5	328,8	063,7	Tambak, Mangrove
167	007,3	329,0	063,7	Tambak, Mangrove
168	007,3	329,0	063,7	Tambak, Mangrove