

PENGUNAAN DATA SATELIT SENTINEL-1A DALAM SOFTWARE SNAP DAN GENERAL NOAA OIL MODELING ENVIRONMENT (GNOME) UNTUK DETEKSI SEBARAN TUMPAHAN MINYAK (OIL SPILL) DI SELAT MADURA DAN LAUT JAWA (SKENARIO TUMPAHAN MINYAK : 13-20 JULI 2024).

(Use of Sentinel-1A Satellite Data in SNAP Software and General NOAA Oil Modeling Environment (GNOME) for Detecting Oil spill Distribution in the Madura Strait and Java Sea (Oil spill Scenario: July 13-20, 2024))

Afifah Isvi Zarochtunnisa, Yenias Mia Ludina, Nesha Erlita Ardhiani, Dewi Rizki Fatmayanti
Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
Email: afifahisvi@gmail.com

Diterima: 20 September 2024; Direvisi: 30 September 2024; Disetujui untuk Dipublikasikan: 10 Oktober 2024

ABSTRAK

Tumpahan minyak di laut dapat menjadi dampak serius bagi lingkungan, terutama ekosistem laut dan kehidupan masyarakat pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan memprediksi pergerakan tumpahan minyak di Laut Jawa dan Selat Madura menggunakan perangkat lunak *General NOAA Operational Modeling Environment* (GNOME). Tumpahan minyak dideteksi menggunakan citra sentinel-1A yang kemudian dikoreksi menggunakan *software* SNAP (*Sentinel Application Platform*) untuk mengetahui tumpahan minyak pada citra yang dicirikan dengan rendahnya *backscatter* (hamburan sinyal radar) sehingga menghasilkan rona hitam. Rona hitam ini menjadi acuan dalam pembuatan model di GNOME. Data angin dan arus laut diintegrasikan pada GNOME mengetahui pola pergerakan tumpahan minyak di kedua wilayah tersebut. Skenario yang digunakan mencakup dua jenis minyak, yaitu *fuel oil* dengan volume 3000 barrel di Laut Jawa dan *crude palm oil* (CPO) dengan volume 7000 barrel di Selat Madura dengan periode simulasi di tanggal 13 hingga 20 Juli 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergerakan minyak di Laut Jawa bergerak ke arah barat laut akibat pengaruh angin dan arus laut, sementara di Selat Madura, minyak bergerak dengan pola sirkular yang sebagian besar mengendap di pesisir. Selain itu, perbedaan jenis minyak mempengaruhi kecepatan pergerakan dan pola penyebaran tumpahan. Simulasi GNOME mengindikasikan bahwa tumpahan minyak di Laut Jawa dan Selat Madura tidak saling mempengaruhi. Penelitian ini memberikan wawasan penting untuk penanganan tumpahan minyak di perairan Indonesia, khususnya terkait mitigasi risiko lingkungan di wilayah laut Jawa dan Selat Madura.

Kata kunci: GNOME, Laut Jawa, Selat Madura, SNAP, Sentinel-1A, tumpahan minyak

ABSTRACT

Oil spills in the ocean can have serious environmental impacts, especially on marine ecosystems and the livelihoods of coastal communities. This study aims to model and predict the movement of oil spills in the Java Sea and the Madura Strait using the General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) software. The oil spills were detected using Sentinel-1 imagery, which was then corrected using SNAP (Sentinel Application Platform) software to identify oil spills in the images, characterized by low backscatter (radar signal scattering), resulting in black tones. These black tones were used as a reference for model creation in GNOME. Wind and ocean current data were integrated into GNOME to determine the movement patterns of the oil spills in both regions. The scenarios used include two types of oil: fuel oil with a volume of 3,000 barrels in the Java Sea and crude palm oil (CPO) with a volume of 7,000 barrels in the Madura Strait, with the simulation period from July 13 to July 20, 2024. The results of the study showed that the oil in the Java Sea moved northwest due to the influence of wind and ocean currents, while in the Madura Strait, the oil moved in a circular pattern, with most of it settling along the coast. Additionally, the type of oil affects the speed and spread pattern of the spill. GNOME simulations indicated that the oil spills in the Java Sea and Madura Strait do not affect each other. This research provides important insights for addressing oil spills in Indonesian waters, particularly regarding environmental risk mitigation in the Java Sea and Madura Strait regions.

Keywords: GNOME, Java Sea, Madura Strait, SNAP, Sentinel-1A, oil spill

PENDAHULUAN

Laut merupakan bentang alam dengan sumber daya yang melimpah, seperti keanekaragaman sumber daya hayati yang bermanfaat untuk

kemakmuran dan kesejahteraan masyarakat. Permukaan bumi yang ditutup oleh laut sebesar 70%. Menurut Steybi et al. (2024) Laut Jawa merupakan laut yang terletak di antara pulau Jawa, Kalimantan, Sumatra dan Sulawesi, memiliki kondisi oseanografi

dinamis dengan kedalaman rata-rata sekitar 46 meter. Kondisi kedalaman tersebut mempengaruhi suhu, salinitas, dan arus laut di wilayah tersebut. Sedangkan Selat Madura terletak di antara pulau Jawa dan pulau Madura. Kedalaman perairan Selat Madura rata-rata mencapai ± 19 m (Muhsoni 2008). Pola arus yang demikian disebabkan karena pasang surut, topografi bawah laut (batimetri) dan morfologi wilayah sekitarnya dimana diapit oleh dua daratan di utara dan selatannya yaitu Pulau Madura dan Pulau Jawa bagian Timur (Siswanto & Nugraha 2014). Selat Madura sering menjadi jalur lalu lintas kapal besar yang mengangkut minyak. Kepadatan lalu lintas ini meningkatkan risiko kecelakaan kapal atau kebocoran yang dapat mengakibatkan risiko tumpahan minyak di perairan tersebut.

Oil spill adalah tumpahan minyak yang berpotensi mencemari laut (Marthen et al 2022). Tumpahan minyak tersebut dapat berasal dari pengoperasian kapal tanker, perbaikan atau pemeliharaan kapal, dan kebocoran pipa dibawah laut hingga pembuangan limbah minyak yang disengaja. Tumpahan minyak di wilayah perairan Indonesia marak terjadi karena tidak adanya hukum yang mengatur tentang hal tersebut. Kerusakan akibat tumpahan minyak ini berdampak besar pada ekosistem laut hingga perekonomian masyarakat pesisir. Tumpahan minyak di laut dapat terjadi akibat aktivitas kapal ataupun kegiatan dan eksploitasi minyak.

Menurut Puspitasari et al. (2020), GNOME (*General NOAA Operational Modelling Environment*) adalah sebuah sistem simulasi yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) untuk memprediksi pergerakan tumpahan minyak di laut. Sistem GNOME mampu mensimulasikan pergerakan tumpahan minyak dengan pertimbangan berbagai parameter seperti arus laut, angin, gelombang, pasang surut dan karakteristik minyak. GNOME juga dapat memvisualisasikan hasil simulasi dalam berbagai format seperti peta, grafik, dan animasi serta dampaknya terhadap lingkungan. Perencanaan tumpahan minyak di Laut Jawa dan Selat Madura sangat dipengaruhi oleh pola angin dan arus laut pada lokasi tersebut.

SNAP (*Sentinel Application Platform*) merupakan *software open source* yang dapat digunakan untuk mengolah data *Synthetic Aperture Radar* (SAR) Sentinel-1 (Septiana et al., 2017). SNAP memiliki peran penting dalam koreksi data SAR sentinel-1A. SAR mampu beroperasi dalam berbagai kondisi cuaca dan waktu karena menggunakan gelombang radar, sehingga menghasilkan pengamatan yang stabil. Namun, data radar tersebut perlu dikoreksi agar hasilnya akurat dan siap untuk dianalisis. SNAP sendiri menyediakan berbagai alat untuk melakukan koreksi data ini.

Menurut Santoso et al. (2018), *windrose* merupakan sebuah grafik yang memberikan gambaran tentang arah dan kecepatan angin dominan pada lokasi penelitian yang ditampilkan

dalam diagram *windrose*. Informasi arah dan kecepatan angin dapat menentukan strategi penanganan dan pengaturan posisi penanggulangan minyak serta membantu menentukan daerah yang berisiko terkena dampak tumpahan minyak, sehingga tindakan pencegahan dapat diambil secepat mungkin di sekitar Laut Jawa dan Selat Madura. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan dan memprediksi pergerakan tumpahan minyak di Laut Jawa dan Selat Madura serta menentukan apakah interaksi antar tumpahan minyak di kedua perairan tersebut.

METODE

Penelitian ini dilakukan secara bertahap, yaitu pengumpulan informasi tumpahan minyak dari literatur, pengunduhan data pendukung, pengolahan data dan analisis hasil. Pengumpulan informasi dilakukan untuk validasi terjadinya tumpahan minyak di Laut Jawa (**Gambar 1**) dan Selat Madura (**Gambar 2**) serta mendapatkan informasi lain sebagai dasar dari pengolahan data, seperti jenis dan volume tumpahan minyak. Pada **Tabel 1** dapat dilihat bahwa tumpahan minyak di Laut Jawa terdeteksi sebesar 3000 barrel per harinya (Arvirianty, 2019). Jenis minyak yang umumnya digunakan kapal yang melintas di perairan Laut Jawa membutuhkan bahan bakar solar (*diesel fuel oil*) (Djazuli, 2011).

Berdasarkan skenario oleh (Wattimena et al. (2023) tumpahan minyak di alur pelayaran Surabaya di Selat Madura memiliki volume minyak sekitar 7000 barrel (**Tabel 2**). Jenis minyak (bahan bakar) yang umum digunakan oleh kapal dengan *GT volume* sekitar 1559 GT (Kapal MT. Buana Mas Palmindo) hingga 4704 GT (Kapal MT. Dian Dina) di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang melewati Selat Madura ialah *crude palm oil* (Alam et al., 2023). Berdasarkan informasi tersebut dibuat skenario untuk simulasi pergerakan tumpahan minyak di Selat Madura dan Laut Jawa. Skenario ini dirancang berdasarkan referensi penelitian sebelumnya dengan asumsi dapat menggambarkan perairan yang diteliti.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Laut Jawa.

Citra satelit Sentinel 1A digunakan sebagai acuan titik adanya tumpahan minyak di perairan Selat Madura dan Lau Jawa. Satelit Sentinel 1A yang digunakan menerapkan pendekatan terpadu

menggunakan data SAR. Satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) adalah sensor yang dapat beroperasi di segala cuaca dan waktu. Sentinel 1A SAR menggunakan data citra dengan polarisasi ganda dengan spesifikasi VV (*vertical transmit and vertical receive*) dan VH (*vertical transmit dan horizontal receive*). Data Sentinel 1A tersebut kemudian dikoreksi menggunakan *software* SNAP (*Sentiel Application Platform*). Citra tumpahan minyak yang diperoleh kemudian dijadikan acuan daerah tumpahan minyak yang akan diolah menggunakan *software* GNOME (*General NOAA Operational Modelling Environment*). Pemodelan tumpahan minyak di aplikasi GNOME menggunakan data kecepatan arus, kecepatan angin, informasi tumpahan minyak dan peta dasar. Data pendukung yang digunakan untuk membuat model pola persebaran minyak, diantaranya data kecepatan angin, dan peta lokasi (peta dasar) yang diunduh dari situs GOODS (*Gnome Online Oceanographic Data Server*) milik NOAA. Sedangkan data kecepatan arus permukaan diambil dari situs HYCOM. Pemodelan tumpahan minyak dilakukan menggunakan prangkat laptop HP Pavilion 360x dengan spesifikasi RAM 16GB DDR4, 13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1355U *processor* dengan kapasitas penyimpanan (*storage*) sebesar 512GB SSD.

Tabel 1. Skenario tumpahan minyak di Laut Jawa

No.	Parameter	Sumber Data
1.	Volume Minyak	3000 barrel
2.	Jenis Minyak	<i>Fuel Oil</i>
3.	Waktu <i>Running</i> Model	8 Hari
4.	Peta Dasar	Situs GOODS
5.	Kecepatan Angin	Situs GOODS
6.	Kecepatan Arus	HYCOM
7.	Nama Kapal/ Sumber Tumpahan	Tidak Diketahui
8.	Waktu Tumpahan	12 Juli 2024



Gambar 2. Lokasi penelitian di Selat Madura.

Pemodelan tumpahan minyak yang dilakukan menggunakan GNOME pada penelitian ini merupakan prediksi sehingga tidak dilakukan uji validasi data lapangan (*ground truthing*)

menggunakan data primer. Sehingga validasi yang dilakukan ialah validasi arah sebaran tumpahan minyak dengan *Windrose*. Waktu yang digunakan pada pemodelan tumpahan minyak yakni 13 hingga 20 Juli 2024. Pemilihan waktu tersebut di sesuaikan dengan temuan tumpahan minyak terbaru menggunakan satelit Sentinel 1A di perairan tersebut.

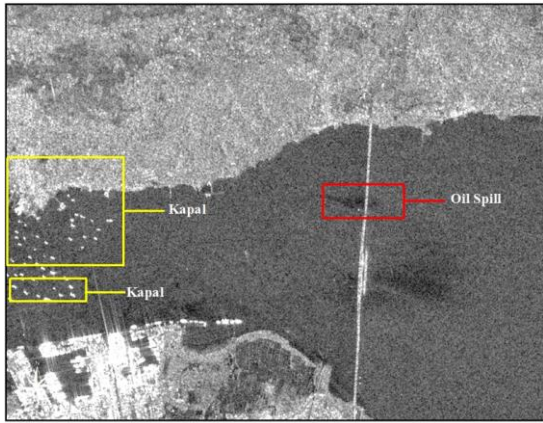
Tabel 2. Skenario tumpahan minyak di Selat Madura

No.	Parameter	Sumber Data
1.	Volume Minyak	7000 barrel
2.	Jenis Minyak	<i>Crude Palm Oil</i>
3.	Waktu <i>Running</i> Model	8 Hari
4.	Peta Dasar	Situs GOODS
5.	Kecepatan Angin	Situs GOODS
6.	Kecepatan Arus	HYCOM
7.	Nama Kapal/ Sumber Tumpahan	Tidak Diketahui
8.	Waktu Tumpahan	12 Juli 2024

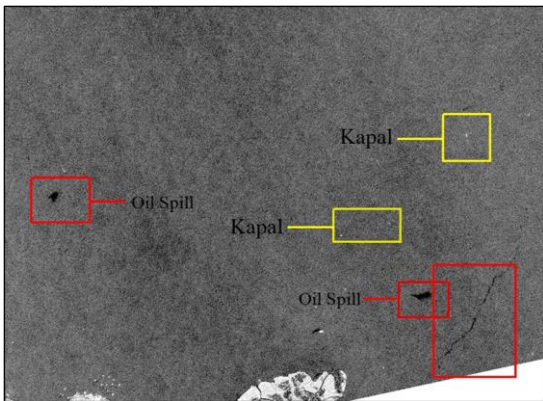
HASIL DAN PEMBAHASAN

(Purnomo et al. (2019) menyatakan bahwa *General NOAA Oil Modelling Environment* (GNOME) merupakan model persebaran tumpahan minyak yang mensimulasikan pergerakan minyak yang dipengaruhi oleh pergerakan angin dan arus di permukaan. Fungsi GNOME secara luas adalah untuk memprediksi pengaruh angin, arus, dan proses pergerakan lain di laut dan pengaruhnya terhadap pergerakan tumpahan minyak. GNOME juga digunakan untuk memprediksi ketidakpastian dari pergerakan tumpahan minyak yang dipengaruhi oleh cuaca di sekitar daerah tumpahan minyak (Salim & Sutanto, 2014).

Penelitian dilakukan pada dua lokasi yakni di Laut Jawa dan Selat Madura seperti yang ditunjukkan pada kotak merah di **Gambar 1** (Laut Jawa) dan **Gambar 2** (Selat Madura). **Gambar 3** dan **Gambar 4** merupakan kenampakan citra satelit sentinel 1A di Selat Madura (Perairan Surabaya) dan Laut Jawa pada tanggal 13 Juli 2024. Pada citra satelit terlihat bahwa adanya tumpahan minyak yang ditandai dengan rona hitam (*dark spot*) dan kapal ditandai dengan rona putih yang mengkilap. Seperti yang dinyatakan oleh (Rahayuningtyas & Jaelani, 2020), bahwa tumpahan minyak pada citra dicirikan dengan rendahnya *backscatter* (hamburan sinyal radar) sehingga menghasilkan rona hitam. Sedangkan titik putih yang terdapat di sepanjang area merupakan objek kapal (Puspitasari et al., 2020). *Dark spot* ini menjadi acuan dalam pembuatan model di GNOME untuk mengetahui arah sebarannya yang dipengaruhi oleh arus laut dan angin selama simulasi 8 hari (13 - 20 Juli 2024).



Gambar 3. Citra satelit Selat Madura 12 Juli 2024



Gambar 4. Citra Satelit Laut Jawa 12 Juli 2024

Laut Jawa

Skenario pemodelan GNOME untuk simulasi pergerakan tumpahan minyak jenis *fuel Oil* sebesar 3000 barrel pada Laut Jawa dilakukan dengan parameter data angin dan arus pada 13 - 20 Juli. Berdasarkan simulasi selama 8 hari (13 - 20 Juli 2024) diketahui bahwa tumpahan minyak bergerak ke arah barat laut dari utara Pulau Madura di **Titik A** ($6^{\circ}21.45'$ LS dan $113^{\circ}19.20'$ BT) dan **Titik B** ($6^{\circ}31.33'$ LS dan $112^{\circ}56.78'$ BT) mencapai timur Pulau Karimunjawa di koordinat $5^{\circ}50.53'$ LS dan $110^{\circ}57.37'$ BT (**Titik A**) dan koordinat $5^{\circ}50.53'$ LS dan $110^{\circ}57.37'$ BT (**Titik B**). Pola pergerakan serupa (bergerak ke arah barat laut) juga terlihat di **Titik C** ($6^{\circ}09.00'$ LS dan $111^{\circ}48.67'$ BT) yang berada di sekitar utara Tuban bergerak mencapai barat laut Pulau Karimunjawa di koordinat $5^{\circ}33.35'$ LS dan $110^{\circ}03.49'$ BT seperti yang terlihat pada **Gambar 5**.

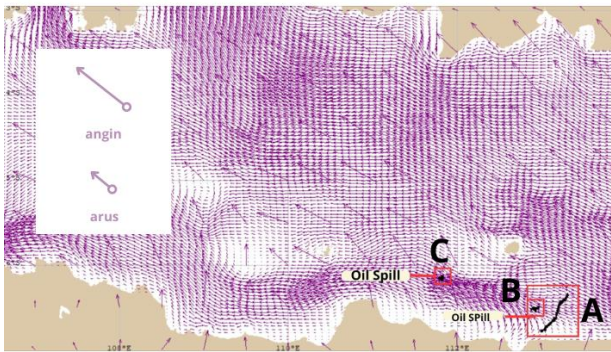
Arah pergerakan tersebut dipengaruhi oleh pergerakan arus yang bergerak ke arah barat laut. Arah arus laut permukaan di Laut Jawa ini dipengaruhi oleh arah angin yang juga mengarah ke arah Barat laut, seperti yang terlihat pada diagram *windrose* (**Gambar 6**) yang menunjukkan pergerakan arah angin dominan. Hasil *windrose* yang diperoleh, kondisi angin pada di Laut Jawa pada 13 - 20 Juli 2024 dominan bertiup ke arah barat laut dengan kecepatan rata-rata sebesar 26,59 knots atau 13,68 m/s yang dikategorikan sebagai angin kencang, sebagaimana yang dinyatakan oleh Stewart (2008), bahwa angin dengan kecepatan antara 24,5 hingga 28,4 knots dikategorikan sebagai

badai dimana menandakan angin yang kencang. Angin yang bergerak dengan kecepatan yang demikian mempengaruhi pergerakan arus yang menyebabkan perpindahan tumpahan minyak di perairan. Hasil simulasi pada *Google Earth* menunjukkan pergerakan minyak bergerak sekitar sejauh 363 km dari titik awal hingga ke titik akhirnya dalam kurun waktu 8 hari terhitung sejak tanggal 13 hingga 20 Juli 2024 (**Gambar 7**).

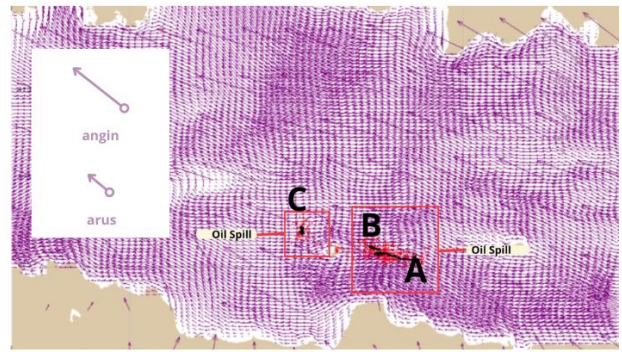
Selain dipengaruhi oleh arus laut permukaan dan angin, lama pergerakan tumpahan minyak juga bergantung pada jenis minyak yang tumpah. Dalam kasus ini di Laut Jawa, jenis tumpahan yang umum ditemukan ialah *fuel oil* (Djazuli et al., 2010). Menurut (Salsabila, 2019), *fuel oil* sendiri merupakan minyak bakar hasil destilasi dari penyulingan dan merupakan residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki kekentalan (kepekatan) yang tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel, sehingga memiliki konsentrasi dan kerapatan massa jenis yang lebih pekat. Kekentalan yang tinggi ini dapat menghambat pergerakan dari tumpahan minyak, sehingga pada simulasi dapat dilihat bahwa dengan angin yang kencang waktu *running model* membutuhkan waktu yang lebih lama yakni sekitar 2 menit untuk 8 hari total pemodelan.

Selat Madura

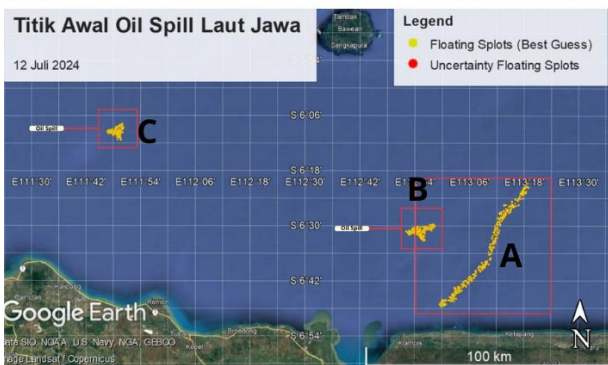
Hasil simulasi GNOME menunjukkan bahwa pergerakan minyak dari tanggal 13 hingga 19 bergerak ke arah barat laut hal ini karena adanya pengaruh angin sebesar 12,99 knots atau 6,68 m/s (**Gambar 9**). Angin dengan kecepatan demikian menurut skala Beaufort tergolong angin sedang (Stewart, 2008). Kecepatan angin ini menjadi salah satu faktor seberapa cepatnya tumpahan minyak bergerak (Millah et al., 2019). Simulasi dengan *software* GNOME hanya dapat menunjukkan pemodelan hingga tanggal 19 Juli 2024. Hal ini dikarenakan pada tanggal 20 Juli 2024 gerak tumpahan minyak telah berada di perairan sekitar Pelabuhan Tanjung Perak, sehingga tidak dapat terdeteksi karena pada pemodelan ini hanya memerhatikan faktor dari parameter arus laut permukaan dan arah serta kecepatan angin. Sementara itu, untuk wilayah perairan sempit diperlukan data dan analisis pasang surut lebih lanjut sebagai parameter yang mempengaruhi pergerakan arus laut di perairan tersebut (Yudhantoko et al., 2016).



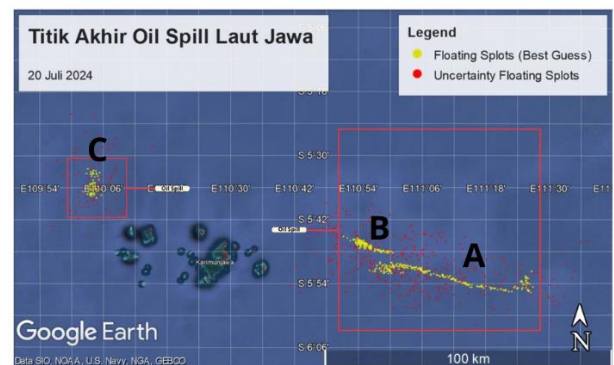
(a)



(c)

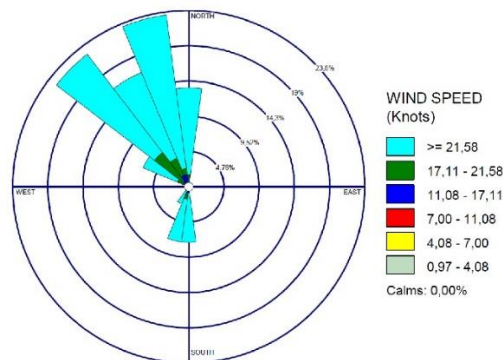


(b)



(d)

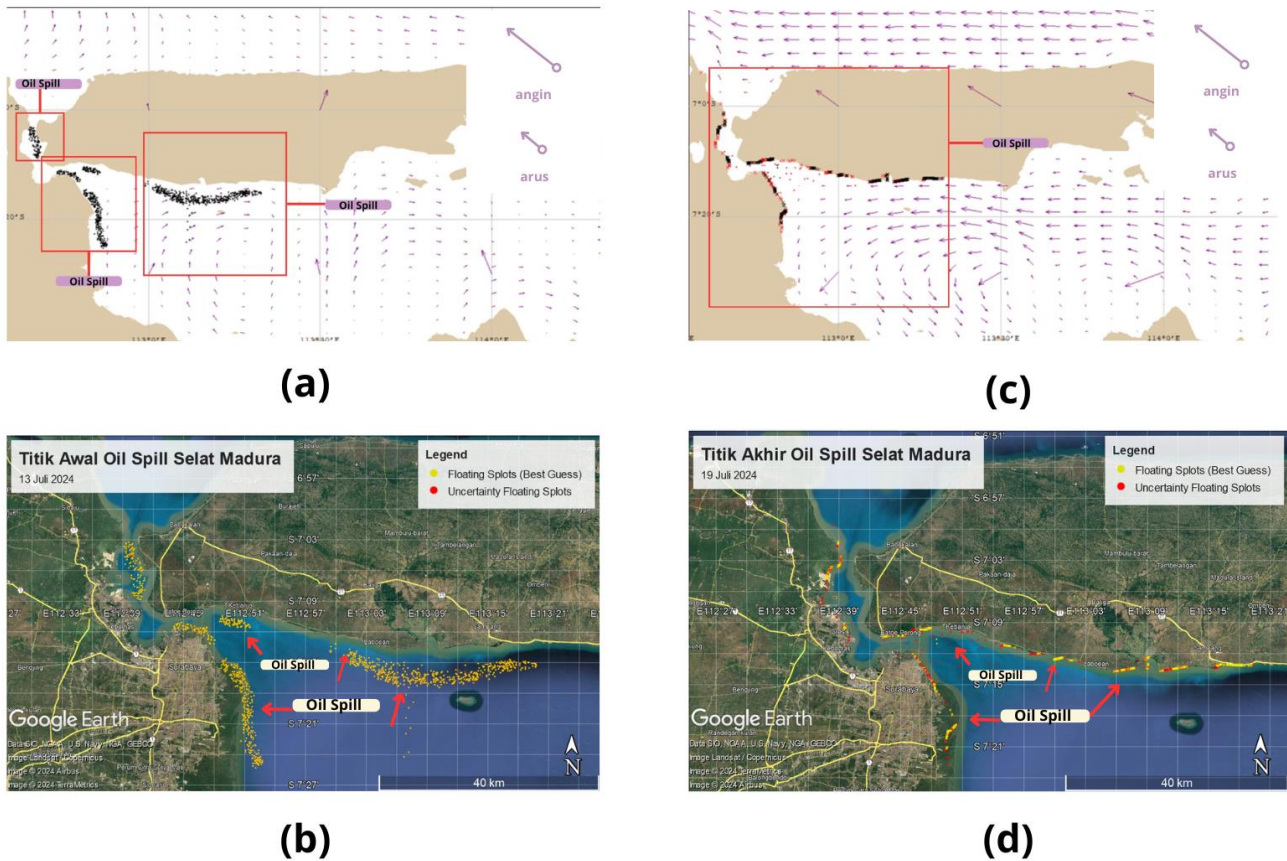
Gambar 5. Lokasi Titik Awal (12Juli 2024) dan Akhir (20 Juli 2024) Tumpahan Minyak di Laut Jawa
a)Titik Awal (Tampilan pada GNOME), b) Titik Awal (Tampilan pada Google Earth).
c)Titik Akhir (Tampilan pada GNOME), d)Titik Akhir (Tampilan pada Google Earth).



Gambar 6. Windrose Wilayah Laut Jawa pada tanggal 13-20 Juli 2024.



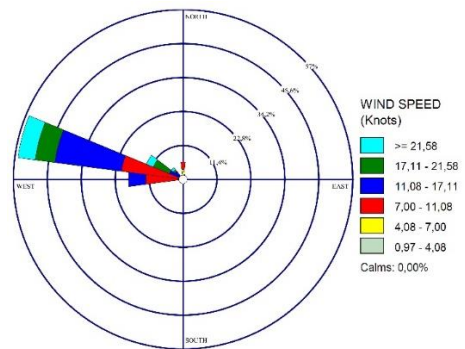
Gambar 7. Lintasan dan Jarak Sebaran Tumpahan Minyak di Laut Jawa (Run Model 13-20 Juli 2024)



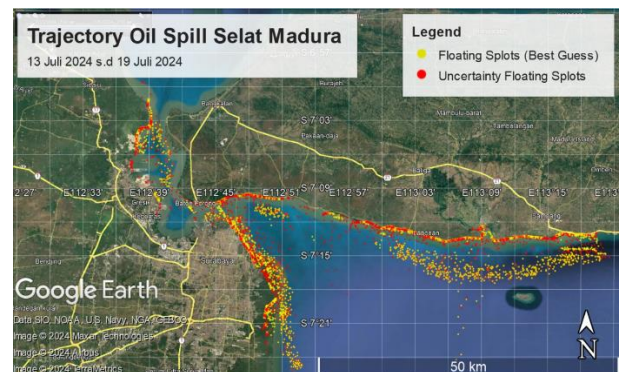
Gambar 8. Lokasi Titik Awal (12 Juli 2024) dan Akhir (19 Juli 2024) Tumpahan Minyak di Laut Jawa
 a)Titik Awal (Tampilan pada GNOME), b) Titik Awal (Tampilan pada Google Earth)
 c)Titik Akhir (Tampilan pada GNOME), d)Titik Akhir (Tampilan pada Google Earth)

Kondisi arus di Selat Madura menunjukkan pola sirkular (memutar), seperti yang dinyatakan oleh (Siswanto & Nugraha, 2014), pola arus yang demikian disebabkan karena pasang surut, topografi bawah laut (batimetri) dan morfologi wilayah sekitarnya dimana diapit oleh dua daratan di utara dan selatannya yaitu Pulau Madura dan Pulau Jawa bagian Timur. Pola arus yang demikian ini membuat gerak tumpahan minyaknya menyebar dan terpisah-pisah sehingga sebagian besar terbawa ke pesisir dan sebagian lagi melewati perairan sekitar Pelabuhan Tanjung Perak dan menuju ke Laut Jawa. **(Gambar 8)**. Selain itu, jenis minyak *crude palm oil* (CPO) atau minyak sawit kasar (kelapa sawit, *Elaeis guineensis Jacq.*) adalah minyak yang diekstrak dari daging buah kelapa sawit (mesokarp) dan mengandung lemak alkohol, metil ester, dan asam lemak. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Mutmainah et al., 2020), bahwa *Crude Palm Oil* (CPO) tumpah ke laut dan sebagian mengendap di pesisir. Hal ini dapat terlihat jelas pada hasil simulasi GNOME dimana sebagian besar mengendap di daerah pesisir Madura dan Surabaya **(Gambar 8 (d))**.

Jenis minyak yang berbeda antara di Laut Jawa dan Selat Madura ini mempengaruhi lama pergerakan tumpahan minyaknya. Oleh karena itu, meskipun di Selat Madura memiliki kecepatan angin



Gambar 9. Windrose Wilayah Selat Madura 13-20 Juli 2024



Gambar 10. Lintasan Sebaran Tumpahan Minyak di Selat Madura (Run Model 13-19 Juli 2024)

yang lebih rendah dengan jumlah barrel lebih besar dari Laut Jawa, akan tetapi waktu *running* simulasi pemodelannya hanya memakan waktu sekitar 30 detik. Karena CPO (*Crude Palm Oil*) tergolong minyak yang ringan dengan massa jenis kurang dari 1 gr/mL (massa jenis air) (Mutmainah et al., 2020b). Massa jenis yang lebih ringan dari air laut inilah yang menyebabkan sifatnya mengapung di air. Oleh karena itu mudah terbawa arus maupun angin dan menyebar di permukaan laut. Berbeda dengan *fuel oil* yang merupakan minyak residu hitam yang pekat, kental dan lengket. Bahan bakar ini memiliki berat jenis yang tinggi, biasanya dalam kisaran 0,92-1,02 g/cm³ (Ansell et al., 2001). Oleh karena itu, lebih lambat terbawa arus meskipun kondisi anginnya kencang. Hal ini yang membuat waktu *running model* lebih lama yakni 2 menit dalam kurun waktu yang sama (8 hari). Sementara itu, pola arus yang berbeda antara Laut Jawa dan Selat Madura mempengaruhi pola sebaran dari tumpahan minyaknya. Dapat dilihat pada Laut Jawa, pola sebaran minyaknya cenderung berkumpul menjadi satu karena arusnya memiliki pola sejajar dan searah (**Gambar 7**). Sedangkan pada Selat Madura pola arus yang sirkular membuat tumpahan minyaknya menyebar dan berpisah-pisah sehingga banyak yang mengendap di daerah pesisir dan hanya sebagian kecil yang terbawa arus dan angin hingga ke Laut Jawa (**Gambar 10**).

Penggunaan GNOME untuk pemodelan sebaran tumpahan minyak dianggap cukup akurat. Hal tersebut didukung oleh penelitian Puspitasari et al. (2020) yang memodelkan tumpahan minyak di Pulau Bintan dimana determinasi *R square* sebesar 0,8747 sehingga dapat diartikan bahwa 87,47% nilai model GNOME dapat mewakili keadaan sebenarnya. Penelitian lain tentang perbandingan pemodelan sebaran *oil spill* pada kasus tumpahan minyak di lepas pantai Karawang pada Juli 2019 telah dilakukan oleh Nugroho et al. (2021) penelitian tersebut menunjukkan perbandingan visual dimana GNOME memiliki tren hamburan yang dekat dengan hasil satelit dan dapat digunakan untuk mensimulasikan tumpahan minyak di lepas pantai Karawang dengan sangat baik. Penelitian lain juga telah dilakukan oleh Cheng et al. (2014) yang mensimulasikan kontingensi tumpahan minyak *platform Shell North Sea Gannet Alpha* yang terjadi pada 10 Agustus 2011, dengan GNOME. Lintasan simulasi ditemukan sangat sesuai dengan yang diamati oleh gambar *radar aperture sintetis (SAR)* X-band COSMO-SkyMed (CSK).

KESIMPULAN

Tumpahan minyak di perairan memberikan dampak signifikan secara ekologis, ekonomis, dan sosial, sehingga penanganannya menjadi prioritas dan mendesak. Dalam upaya untuk memprediksi pergerakan dan sebaran tumpahan minyak, penggunaan metode pemodelan seperti General NOAA Operating Modeling Environment (GNOME) sangat penting. GNOME memungkinkan analisis yang mempertimbangkan data oseanografi

diantaranya angin dan arus laut untuk memproyeksikan data pergerakan minyak.

Berdasarkan simulasi GNOME untuk tumpahan minyak di Laut Jawa pada 13-20 Juli 2024, pergerakan minyak tersebut dipengaruhi oleh pergerakan arus yang bergerak ke arah barat laut, sedangkan Hasil simulasi GNOME menunjukkan bahwa-pergerakan minyak di selat Madura di tanggal 13 hingga 20 bergerak ke arah barat laut dan menunjukkan pola sirkular. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, tumpahan minyak di Laut Jawa tidak mempengaruhi daerah Selat Madura dan begitu sebaliknya, tumpahan minyak di Selat Madura pada tanggal 13 hingga 19 Juli tidak mempengaruhi Laut Jawa.

Pemodelan tumpahan minyak dilakukan dengan tujuan mengetahui pola distribusi minyak dengan cepat dan efisien jika terjadi tumpahan di lokasi tertentu. Dengan mengetahui pola distribusi tersebut, proses netralisasi dan pembersihan tumpahan minyak dapat dilakukan secara tepat dan efisien. Diperlukan uji validasi lapangan untuk membantu verifikasi model tersebut lebih akurat ketika hasil tersebut ingin diterapkan dalam perencanaan mitigasi maupun pembersihan jikalau terjadi insiden tumpahan minyak dimasa yang akan datang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha esa atas terselesaikannya tulisan ini. Kami mengucapkan terimakasih kepada teman-teman atas dukungan dan motivasi, serta kepada dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya selama proses penelitian ini. Tidak lupa kepada orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan tiada henti. Ucapan terimakasih tidak lupa kami sampaikan kepada BMKG Maritim Surabaya atas data dan informasi yang sangat penting dalam penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. H. F., & Bimantoro, R. R. (2023). Implementation of MARPOL 73/78 Annex I on the prevention of oil spills at Nilam Terminal, Port of Tanjung Perak Surabaya. In *Journal of Marine Resources and Coastal Management Indonesian Journal of Marine Life And Utilization*, 4 (2), 17-21.
- Ansell, D. V., Dicks, B., Guenette, C. C., Moller, T. H., Santner, R. S., & White, I. C. (2001). A Review of The Problems Posed by Spills of Heavy Fuel Oils. In *International Oil Spill Conference South Korea*. (Vol. 2001, No. 1, pp. 591-596). American Petroleum Institute.
- Arvirianty, A. (2019, July 26). Tumpahan Minyak di Laut Jawa, Ternyata Ini Penyebab! *CNBC Indonesia*.
- Cheng, Y., Liu, B., Li, X., Nunziata, F., Xu, Q., Ding, X., Migliaccio, M., & Pichel, W. G. (2014). Monitoring of oil spill trajectories with COSMO-skymed X-band SAR images and model simulation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(7), 2895–2901. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2341574>
- Djazuli, S. (2011). Analisis Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar Mesin Induk Kapal Purse Seiner Di Pelabuhan

- Pendaratan Nusantara Pekalongan. *Gema Teknologi*, 16(2), 99-105.
- Marthen, A., Fadillah, A., & Pratama, P. (2022). Desain Oil spill Recovery Boat untuk Area Pelabuhan Tanjung Priok. *Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi*, 3(3), 1-9.
- Millah, N., Anggriani, I., & Nugraheni, K. (2019). Simulasi pergerakan tumpahan minyak di laut dengan pengaruh angin. *SPECTA Journal of Technology*, 3(3), 11-19.
- Muhsoni, F. F. (2008). Karakteristik Perikanan Tangkap di Perairan Madura. *Rekayasa*, 1(1), 18-31.
- Mutmainah, H., Ilham, I., Altanto, T., & Adi, R. A. (2020). Analisa Tumpahan Crude Palm Oil (CPO) di Teluk Bayur Sumatera Barat, 28 September 2017. *Jurnal Kelautan Nasional*, 15(1), 37-44. <https://doi.org/10.15578/jkn.v15i1.7853>
- Nugroho, D., Pranowo, W. S., Gusmawati, N. F., Nazal, Z. B., Rozali, R. H. B., & Fuad, M. A. Z. (2021). The application of coupled 3d hydrodynamic and oil transport model to oil spill incident in karawang offshore, indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1), 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012048>
- Purnomo, D. A., Dinariyana, A. A. B., & Artana, K. B. (2019). Analisa Risiko Tubrukan Kapal Dan Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak Di Selat Bali. *Prosiding Seminakel*, 1-10.
- Puspitasari, T. A., Arif, M., Fuad, Z., Parwati, E., Brawijaya, U., Pemanfaatan, P., Jauh, P., & Utama, K. (2020). Prediksi Pola Persebaran Tumpahan Minyak menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-1 di Perairan Bintan, Kepulauan Riau. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(2): 89-102. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2020.v17.a3348>
- Rahayuningtyas, N., & Jaelani, L. M. (2020). Analisis Persebaran Tumpahan Minyak di Perairan Pantura Jawa Menggunakan Satelit Sentinel-1A Metode Adaptive Thresholds. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), G55-G60.
- Salim, A., & Sutanto, T. E. (2014). Model pergerakan tumpahan minyak di perairan selat sunda. *CAUCHY: Jurnal Matematika Murni dan Aplikasi*, 3(2), 99-107.
- Salsabila, G. H. H. (2019). Proses Treatment Marine Fuel Oil (MFO) Sebagai Bahan Bakar Pada Mesin Diesel. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 11(1), 30-35.
- Santoso, K., Putra, I. D. N. N., & Dharma, I. G. B. S. (2019). Studi Hindcasting Dalam Menentukan Karakteristik Gelombang dan Klasifikasi Zona Surf Di Pantai Uluwatu, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(1), 119-130. <https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i01.p15>
- Septiana, B., Putra Wijaya, A., & Suprayogi, A. (2017). Analisis Perbandingan Hasil Orthorektifikasi Metode Range Dooler Terrain Correction dan Metode SAR Simulation Terrain Correction Menggunakan Data SAR Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 148-157.
- Siswanto, A. D., & Nugraha, W. A. (2014). . *Studi Parameter Oseanografi di Perairan Selat Madura Kabupaten Bangkalan*. *Jurnal Kelautan*, 7(1), 1907-9931.
- Stewart, R. (2008). Introduction To Physical Oceanography: *Department of Oceanography Texas*.
- Steybi, F. A., Azzahra, N. M., Cahyani, G. T., Amanullah, D., & Wijaya, M. M. (2024). Analisis Pencemaran di Laut Timor Akibat Kebocoran Minyak Montara antara Australia dan Indonesia. *Indonesian Journal of Law and Justice*, 1(3), 12. <https://doi.org/10.47134/ijlj.v1i3.2116>
- Wattimena, E.K. G., Setyawan, F. O., Muhammad, D., Asadi, A., Studi, P., Kelautan, I., & Perikanan, F. (2023). Simulasi Arah Gerak Tumpahan Minyak di Alur Pelayaran Barat Surabaya dari Hasil Model Hidrodinamika. *PoluSea: Water and Marine Pollution Journal*, 1(2), 29-45.
- Yudhantoko, M., Handoyo, G., & Zainuri, M. (2016). Karakteristik dan Peramalan Pasang Surut di Pulau Kelapa Dua, Kabupaten Kepulauan Seribu. *Journal of Oceanography*, 5(3), 368-377.