



**Pemodelan tumpahan minyak (*oill spill*) pada perairan Kepulauan Riau menggunakan perangkat lunak *general NOAA oil modelling environment (GNOME)***

***Modeling of oil spill in Riau Islands using general NOAA oil modeling environment (GNOME)***

**Najwa Tiara Maharani<sup>1</sup>, Agus Setiawan<sup>2</sup>, M. Arif Zainul Fuad<sup>\*</sup>**

<sup>1\*</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Jalan Veteran Kota Malang 65145

<sup>2</sup>Pangandaran Integrated Aquarium and Marine Research Institute, Pusat Riset Kelautan-KKP, Jawa Barat 46396

Email : [fuad\\_maz@ub.ac.id](mailto:fuad_maz@ub.ac.id)

**ABSTRAK**

Kepulauan Riau berbatasan dengan Samudera Hindia yang merupakan akses transportasi laut ke Indonesia. Bintan merupakan wilayah di Provinsi Kepulauan Riau yang terletak di Selat Malaka yang berbatasan langsung dengan negara Singapura dan Malaysia. Perairan Bintan termasuk jalur pelayaran internasional sehingga pelayaran kapal tangker di wilayah ini tinggi. Keberadaan kapal tengkel mengindikasikan memberikan dampak pencemaran laut seperti limbah minyak. Pemodelan tumpahan minyak fokus terhadap *Tank Cleaning* dan pembuangan limbah minyak hitam dari kapal asing. Pemodelan sebaran tumpahan minyak membutuhkan menggunakan parameter oseanografi yaitu arah dan kecepatan angin, arus, peta dasar dan data volume tumpahan minyak. Data yang sudah terkumpul maka selanjutnya akan tabulasi kedalam perangkat lunak GNOME beserta data profil tumpahan minyak. Hasilnya akan diketahui mengenai arah sumber tumpahan minyak di wilayah perairan Bintan. Total minyak yang tumpah diperkirakan sebanyak 476 barrels.

**Kata kunci:** Kepulauan Riau, Tumpahan minyak, GNOME

**ABSTRACT**

*The Riau Islands is bordered by the Indian Ocean which is the sea transportation access to Indonesia. Bintan is an area in the Riau Islands Province which is located in the Malacca Strait which is directly adjacent to Singapore and Malaysia. Bintan waters include international shipping lanes so that tanker shipping in this region is high. The existence of the tengkel indicates that it has an impact on marine pollution such as waste oil. Oil spill modeling focuses on Tank Cleaning and disposal of black oil waste from foreign ships. Modeling the distribution of oil spills requires using oceanographic parameters, namely wind direction and speed, currents, base maps and oil spill volume data. The data that has been collected will then be tabulated into the GNOME software along with the oil spill profile data. The result will be known about the direction of the source of the oil spill in the waters of Bintan. The total oil spilled is estimated at 476 barrels.*

**Keywords:** Riau Islands, Oil Spill Modeling, GNOME



## I. Pendahuluan

Pulau Bintan merupakan Pulau Terbesar di Kepulauan Riau yang melabur dari Selat Malaka sampai ke Laut Cina Selatan. Pulau Bintan terbentang dari seberang Singapura hingga Malaysia dan menjadi jalur transportasi laut. Wilayah ini dijadikan jalur transportasi laut dan tempat wisata.. Pemanfaatan wilayah perairan sebagai jalur transportasi laut dapat mengakibatkan resiko terjadinya tumpahan minyak (*oil spill*) berasal dari kapal tanker, kapal dagang dan kapal penumpang (Irawan, 2017). Pencemaran laut mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas dan kuantitas sumberdaya pesisir dan laut. Sebagian besar masyarakat didaerah Kecamatan Tambak bermata pencaharian sebagai nelayan dan bekerja dibidang industri pengolahan ikan dan perdagangan hasil laut serta lokasi perairan tersebut sering di lalui oleh kapal-kapal industri. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya aktivitas kapal di perairan Pantai. Kandungan minyak yang mencemari perairan dapat mengganggu aktivitas ekosistem dan biota ada di dalamnya. Sehingga produktivitas fotosintesa akan menurun karena cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan terhambat (Qowiyah *et al.*, 2021). Penggunaan GNOME sangat sering digunakan untuk menganalisis simulasi *trajectory* dan melihat hasil simulasi terbaik di perairan. GNOME memanfaatkan data angin dan arus permukaan. Berdasarkan hasil analisis GNOME, simulasi tumpahan minyak jenis *medium crude* dilakukan dengan tumpahan yang berawal dari jalur distribusi minyak. Dilihat dari *trajectory* tumpahan minyak yang dilakukan, tumpahan minyak dapat dianalisis dengan melihat plot merah dan hitam yang bergerak. Pemodelan biasanya dilakukan selama 10hari dengan asumsi minyak bergerak dan sudah sampai kedaratan (Salim dan Taufik, 2013).

*Oil spill* merupakan tumpahan minyak yang dapat mengakibatkan pencemaran, berasal dari operasional kapal tanker, perbaikan, perawatan kapal, proses bongkar muat ditengah laut STS (*Ship to Ship*), dan bocornya pipa minyak bawah laut, serta juga kecelakaan kapal. Permasalahan tumpahan minyak sering terjadi terutama pada alur pelayaran kapal. Kerugian sosial ekonomi dan dampak lingkungan merupakan akibat dari terganggunya lingkungan perairan akibat tumpahan minyak yang berdampak kepada penurunan hasil perikanan tangkap dan juga terganggunya kenyamanan penduduk di pesisir (Suci Meinarni, 2016). Berdasarkan tinjauan ekologisnya, lapisan minyak dipermukaan air laut dapat menghambat penetrasi cahaya matahari masuk ke dalam kolom perairan sehingga laju fotosintesis akan terganggu dan berkurang yang menyebabkan penurunan produktivitas primer perairan. Ketika produktivitas primer berkurang dalam rantai makanan dilaut, maka makanan untuk konsumen tingkat satu akan berkurang sehingga persaingan merebutkan makanan oleh organisme tingkat 2 di atasnya meningkat dan menyebabkan banyak kematian, yang akan terus berlanjut hingga konsumen tingkat atas (Rustam, 2016).

Tumpahan minyak di Perairan Bintan pada tanggal 14 Desember 2019 mulai meresahkan masyarakat dikarenakan sudah menyebar ke lima resort yang ada di Wisata Lagoi, diantaranya Nirwana Garden Resort, Bintan Lagoon Resort (BLR), Ria Bintan, Banyan Tree, dan Club Med. Limbah tersebut di curugai berasal dari perairan lepas yang berlangsung di musim utara. pemodelan pola persebaran minyak melalui pendeteksian titik lokasi tumpahan minyak, sehingga dapat membantu dalam penyusunan upaya *contingency planning* (Puspitasari *et al.*, 2020). Pemodelan tumpahan minyak perlu dilakukan untuk mengkaji pola penyebaran tumpahan minyak yang meliputi: arah sebaran tumpahan minyak, luasan tumpahan minyak, dan



konsentrasi tumpahan minyak serta waktu papar tumpahan minyak. Selain pemodelan cara untuk melihat potensi luasan daerah terdampak akibat tumpahan minyak, yang dapat dilakukan ialah 1) pemantauan langsung dengan *airborne surveillance*, atau 2) pemanfaatan data satelit secara kontinu (*real time*). Harganya yang relative tinggi sehingga pada penelitian ini penulis hanya melakukan pemodelan dengan perangkat lunak GNOME (Purwandani, 2012).

Sebaran tumpahan minyak dapat diprediksi dengan menggunakan software GNOME dengan bantuan data sekunder seperti data kecepatan angin dan arus. Pemodelan lintasan tumpahan minyak (*trajectory*) dibutuhkan untuk menganalisis prediksi serta kemungkinan yang terjadi berdasarkan simulasi kejadian dengan informasi yang ada. Software GNOME (*General NOAA Operational Modelling Environment*) digunakan untuk mengetahui luas dan volume persebaran minyak dalam jangka waktu tertentu, GNOME dapat di unduh dari website resmi NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Purnomo *et al.*, 2019). *General NOAA Oil Modelling Environment* (GNOME) merupakan model sebaran tumpahan minyak yang mensimulasikan pergerakan minyak yang dipengaruhi oleh pergerakan angin dan arus dipermukaan (Beegle-Krause, 2001). Fungsi GNOME secara luas adalah untuk memprediksi pengaruh angin, arus, dan proses pergerakan lain dilaut dan pengaruhnya terhadap pergerakan tumpahan minyak. GNOME juga digunakan untuk memprediksi ketidakpastian dari sebaran tumpahan minyak yang dipengaruhi oleh cuaca di sekitar daerah tumpahan minyak (Salim dan Sutanto, 2014).

Prediksi GNOME menggunakan bantuan visual *splots* yang terdiri dari *black splots* dan *red splots*. *Black splots* mewakili perkiraan lintasan terbaik untuk tumpahan minyak, diperkirakan akurasi 1-2mil dalam 48jam. GNOME mengansumsikan bahwa (1) angin terus bertiup pada kecepatan dan arah yang dimasukkan kedalam model, (2) data dalam lokasi mewakili pola sebenarnya selama masa tumpahan. *Red splots* mewakili lintasan kesalahan minimum. GNOME mengansumsikan tingkat ketidakpastian berdasarkan hasil input data sehingga asumsi kesalahan prediksi tumpahan minyak tidak akan berada diluar area yang dicakup dengan probabilitas 90% (Zelenke *et al.*, 2012). GNOME memiliki dua mode utama yaitu metode standar dan diagnostik. Pada mode standar, informasi peta polygon, arus, angin, jenis minyak dan data lainnya hanya dapat divariasikan dengan beberapa parameter tambahan seperti jumlah tumpahan untuk melihat pengaruhnya terhadap *trajectory* minyak. Kekurangan dari mode standar adalah kesediaan peta lokasi yang terbatas. Apabila lokasi yang diinginkan tidak tersedia, maka dapat menggunakan diagnostic mode. Dibandingkan dengan perangkat lunak yang dapat memodelkan tumpahan minyak, GNOME merupakan perangkat lunak yang mudah dioperasikan. Hasil dari simulasi model lintasan minyak GNOME cukup representatif dengan keadaan dilapang. Selain itu, GNOME juga merupakan perangkat lunak yang tidak berbayar sehingga dapat diakses oleh semua kalangan (Puspitasari *et al.*, 2020).

Indeks Kepekaan lingkungan (IKL) pada dasarnya digunakan untuk mengukur potensi kehilangan nilai ekonomi, sosial, fisik dari lahan yang ada. Indeks Kepekaan Lingkungan disusun untuk mengetahui gambaran kerentanan sumberdaya yang ada dipesisir. Permasalahan IKL dapat terus berkembang sesuai dengan semakin banyaknya jenis zat pencemar dengan emperhatikan sumberdaya fisik dan biologi di pesisir, lingkungan dan ekonomi serta ekologi. Salah satu solusi untuk mengurangi dampak pencemaran tumpahan minyak adalah dengan memetakan tingkat kerentanan



lingkungannya berdasarkan indeks kepekaan lingkungan. Tingkat kerentanan wilayah pesisir mempunyai tingkatan yang berbeda terhadap gangguan lingkungan yang diterima, baik dari faktor alam maupun akibat aktivitas manusia (Danipranata, 2019).

*Backwards* adalah salah satu fitur GNOME yang memfasilitasi untuk menarik mundur *trajectory* simulasi tumpahan minyak sesuai waktu yang diinput dan mengetahui sumber minyak. Jika dikorelasikan dengan pengoprasian AIS, maka akan dapat mengetahui dan melacak sumber tumpahan minyak diseluruh dunia (Keramea *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, *spray* digunakan sebagai pemodelan dari adanya tumpahan minyak berdasarkan hasil data citra Sentinel-1 yang selanjutnya digambar atau disimulasikan pada GNOME. *Spray* menggambarkan tumpahan minyak yang telah tersebar dilaut (*trajectory*). model ini juga menggunakan data kecepatan angin dan arus dalam memodelkannya dengan data yang diinput mundur sebelum waktu kejadian. *Run Backwards* digunakan sebagai pengujian kebenaran dari adanya data yang diinput kedalam GNOME untuk memastikan benar tidaknya hasil model yang kemudian di cocokan dengan sumber tumpahan minyak sesuai dengan informasi *oil spill* yang didapatkan.

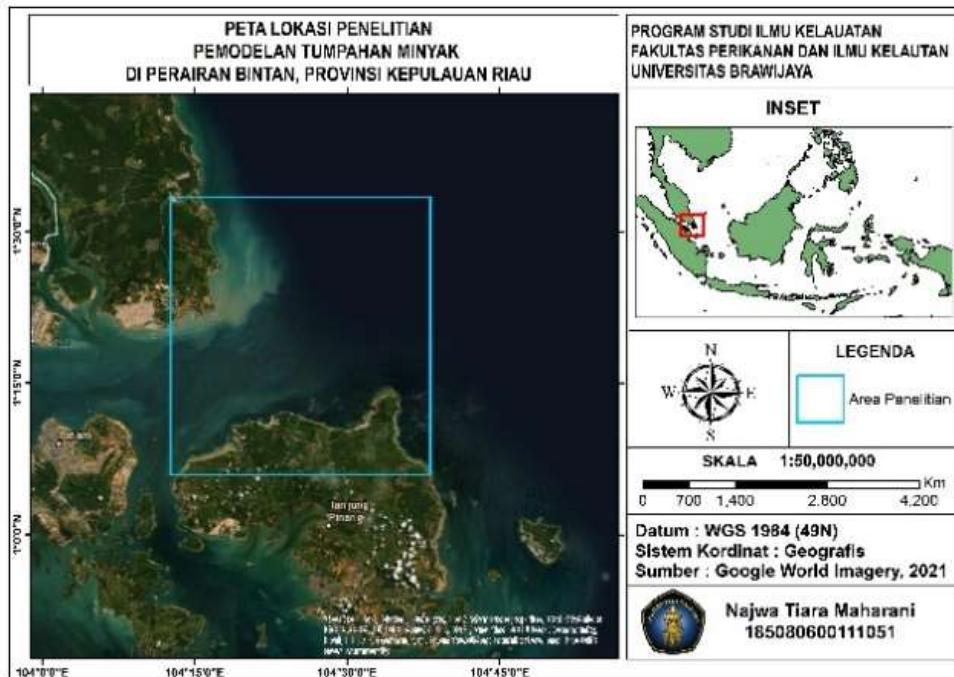
Tumpahan minyak yang telah mencemari lingkungan disekitar resort di Bintan menyebabkan kerugian baik dalam sektor pariwisata maupun perikanan. Maka dari itu, perlu dilakukan upaya untuk menanggulangi masalah tumpahan minyak. Informasi mengenai daerah yang berpotensi terkena tumpahan minyak digunakan sebagai langkah awal untuk penyusunan rencana penanggulangan bencana dari adanya tumpahan minyak di wilayah perairan Bintan. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu mengetahui arah dan letak persebaran tumpahan minyak dilaut berdasarkan hasil olah data Citra Sentinel-1 serta mengoreksi atau memvalidasi sumber tumpahan minyak di Desember 2019. Diharapkan penelitian ini mampu membantu meminimalisir kerugian yang ditimbulkan oleh tumpahan minyak di daerah tersebut.

## II. Metode penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian dilakukan pada perairan Pulau Bintan, Kepulauan Riau dengan wilayah yang terbentang dari seberang Singapura hingga Malaysia dimana perairannya merupakan jalur pelayaran International (Gambar 1). Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu pengumpulan informasi tumpahan minyak dari literatur, pengunduhan data pendukung, pengolahan data dan analisis hasil. Pengumpulan informasi dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan mengenai lokasi kejadian, waktu kejadian, volume tumpahan minyak, sumber tumpahan dan jenis minyak. Pengunduhan data dilakukan untuk melengkapi data yang dibutuhkan pada pemodelan tumpahan minyak di aplikasi GNOME seperti data kecepatan arus, kecepatan angin, informasi tumpahan minyak dan peta dasar. Pengolahan data dan analisis data dilakukan untuk mengoreksi dan menarik kesimpulan dari penelitian.

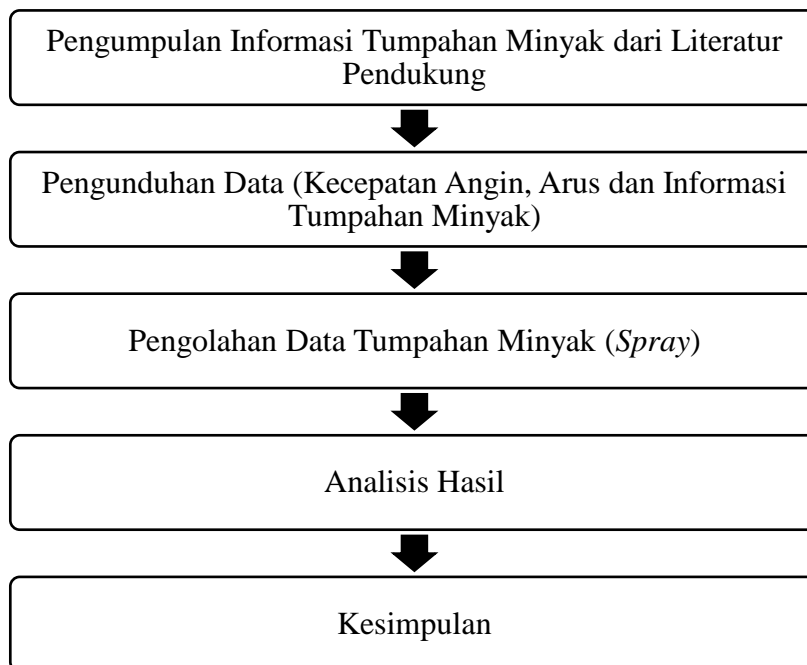
Data pendukung yang digunakan untuk membuat model pola persebaran minyak yaitu, kecepatan angin dari situs Copernicus Climate; kecepatan arus permukaan dari situs HYCOM dengan resolusi 0,125 x 0,125. Situs tersebut dipilih karena memiliki resolusi data yang paling bagus dan halus jika dimasukkan kedalam model, sehingga pergerakan arus akan terlihat jelas dan rapih; dan peta lokasi (peta dasar) dari situs GOODS NOAA. Waktu yang digunakan pada pemodelan tumpahan minyak disesuaikan dengan data hasil olah Citra Sentinel-1 pada literatur.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

## 2.2. Skema Kerja Penelitian

Berikut merupakan Skema Kerja Penelitian yang dilakukan dalam pemodelan tumpahan minyak (Gambar 2).



Gambar 2. Skema Kerja Penelitian

Informasi dan skenario mengenai jenis dan volume minyak yang tumpah di perairan dibutuhkan untuk memodelkan tumpahan minyak pada GNOME dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (Tabel 1).



Tabel 1. Skenario Tumpahan Minyak

No	Parameter	Sumber Data
1	Volume Minyak	476 barrel
2	Jenis Minyak	<i>Fuel Oil</i>
3	Waktu <i>running</i> model	4 hari
4	Kecepatan Angin	Copernicus Climate
5	Kecepatan Arus	HYCOM
6	Nama Kapal	Tidak diketahui
7	Asal	Perairan Internasional
8	Tujuan	Perairan Bintan
9	Waktu Tumpahan	27 Desember 2019

### 2.3. Data Penelitian

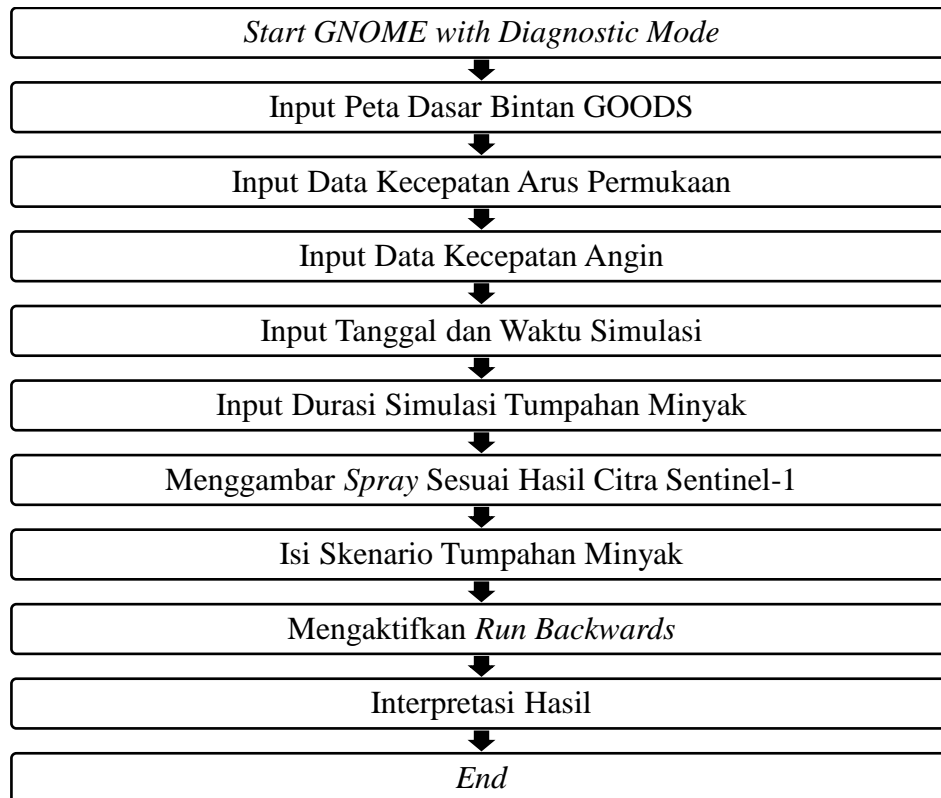
Adapun data yang digunakan beserta sumbernya (Tabel 2) :

Tabel 2. Data Penelitian

No	Nama Data	Sumber
1	Peta Dasar Bintan	<a href="https://gnome.orr.noaa.gov/goods/">https://gnome.orr.noaa.gov/goods/</a>
2	Kecepatan Arus	<a href="https://www.hycom.org/data/glb0pt08/expt-91pt2">https://www.hycom.org/data/glb0pt08/expt-91pt2</a>
3	Kecepatan Angin	<a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-singlelevels?tab=form">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-singlelevels?tab=form</a>
4	Skenario Tumpahan Minyak	Jurnal Penginderaan Jauh (Puspitasari, et al., 2020)

### 2.4. Alur Pengolahan Data

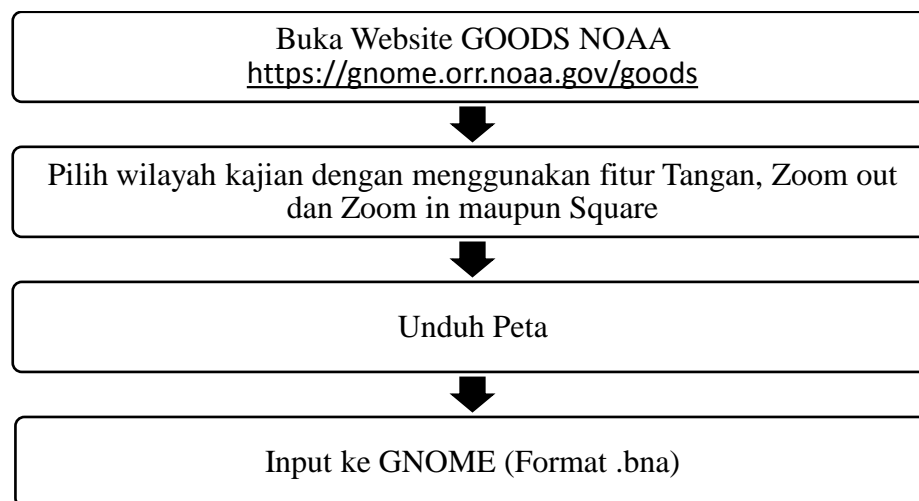
Pengolahan data pendukung seperti data kecepatan arus, kecepatan angin, peta dasar dan informasi tumpahan minyak diinput kedalam GNOME untuk dilakukan simulasi tumpahan minyak menggunakan *Run Backwards*. Skema kerja pemodelan tumpahan minyak menggunakan GNOME (Gambar 3)



Gambar 3. Alur Pengolahan Data Tumpahan Minyak Pada GNOME

## 2.5. Pengolahan data peta dasar Bintang

Karna pada penelitian ini menggunakan mede diagnostic pada GNOME, maka perlu dilakukan pengunduhan peta lokasi atau peta dasar wilayah yang dijadikan sebagai tempat penelitian tumpahan minyak. Pengolahan data peta dasar Bintang dilakukan dengan mengunduh peta dasar Bintang di website <https://gnome.orr.noaa.gov/goods> (Gambar 4)

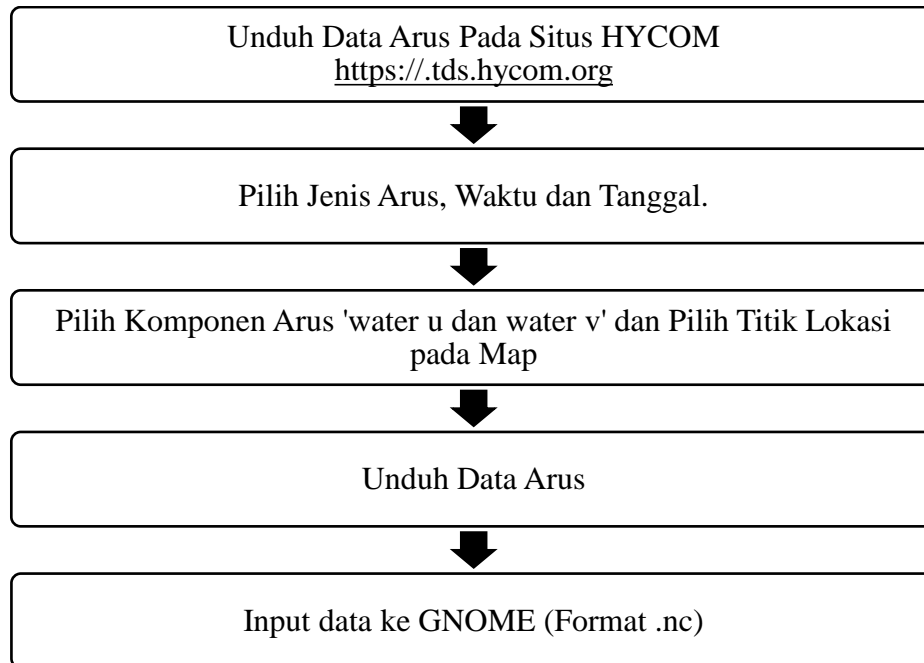


Gambar 4. Pengolahan Data Peta Dasar Bintang



## 2.6. Pengolahan data arus permukaan

Pengolahan data arus permukaan diawali dengan mengunduh data secara resmi pada website HYCOM. Data arus dari website HYCOM dipilih karna mempunyai resolusi grid data 0,125 x 0,125 yang paling bagus dan halus jika dimasukkan kedalam model, sehingga pergerakan arus akan terlihat jelas dan rapih. Berikut merupakan alur pada pengolahan data arus permukaan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengolahan Data Arus Permukaan

## 2.7. Pengolahan data angin

Pengolahan data angin diawali dengan mengunduh data secara resmi pada website Copernicus Climate. Situs tersebut dipilih karena memiliki data yang real time dan juga update setiap tahunnya. Selanjutnya data yang sudah diunduh diolah terlebih dahulu pada aplikasi ODV dan Excel baru setelah itu bisa diinput secara manual kedalam GNOME.

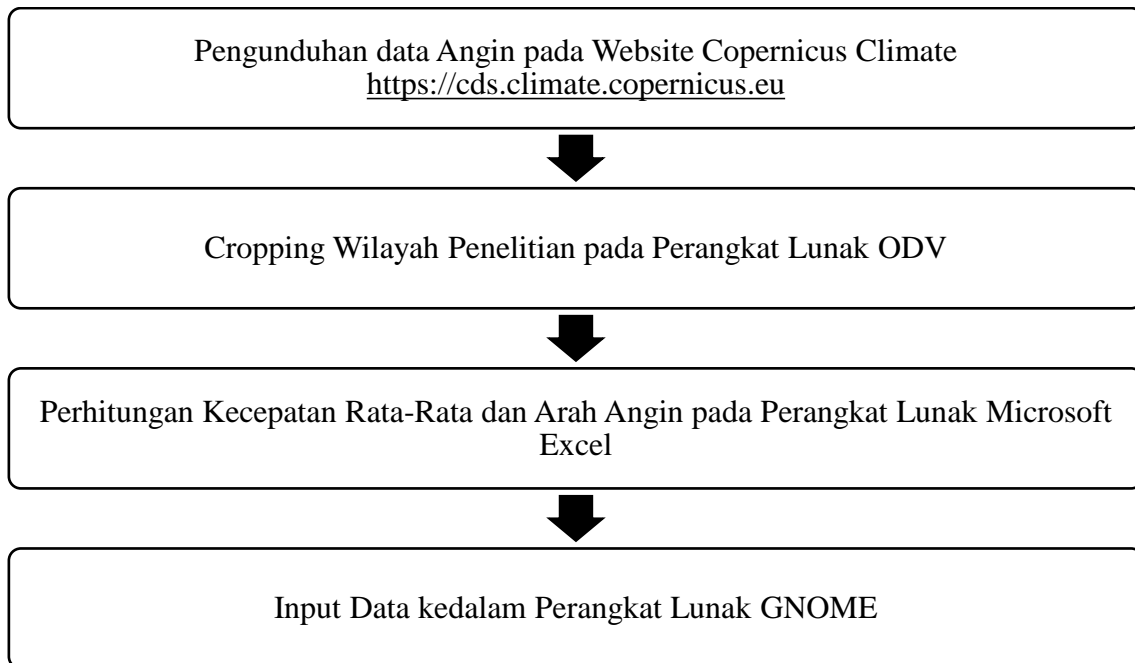
## 2.8. Pengolahan informasi tumpahan minyak

Sebelum melakukan Spray pada GNOME, informasi tumpahan minyak pada kotak dialog *Overflight Information* seperti *Spill Name*, *Overflight Time*, *Pollutant*, *Amount Released* dan *Polutant Agee* perlu diinput terlebih dahulu agar GNOME bisa menjalankan model (*running model*).

## 2.9. Pembuatan *spray oil* dan *run backwards*

Penggambaran *Spray* mengacu pada literatur yang telah didapatkan sesuai hasil olah data Citra Sentinel-1. Hasil *Spray* pada perairan diduga sebagai kumpulan minyak yang telah ada diperairan selama kurang lebih 2 minggu dari tanggal kejadian tumpahan minyak. Untuk menjalankan hasil *spray*, gunakan fitur *run backwards* untuk menarik mundur waktu pemodelan tumpahan minyak sesuai hari dan tanggal yang sudah diinput. Selanjutnya adalah melakukan analisis hasil pemodelan.



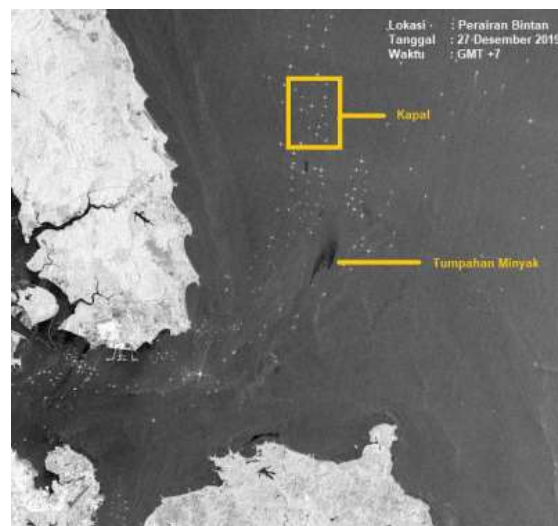


Gambar 6. Pengolahan Data Angin

### III. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengolahan data Citra Sentinel-1 yang didapatkan dari literatur (Gambar 7)

:



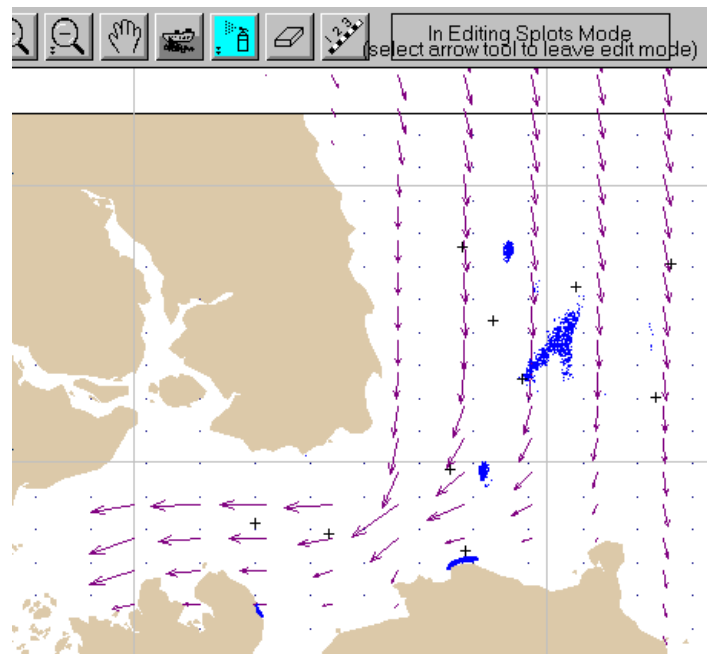
Gambar 7. Sebaran tumpahan minyak berdasarkan interpretasi Citra Sentinel-1 Tanggal 27 Desember 2019 (Puspitasari *et al.*, 2020)

*Dark spot* pada gambar diasumsikan sebagai area yang terkena tumpahan minyak, sedangkan titik putih yang terdapat disekitar dark spot merupakan objek kapal. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa tumpahan minyak sudah berada di perairan wilayah Lagoi dan diduga berasal dari perairan Internasional (Puspitasari *et al.*, 2020). Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan sinyal yang dipantulkan adalah



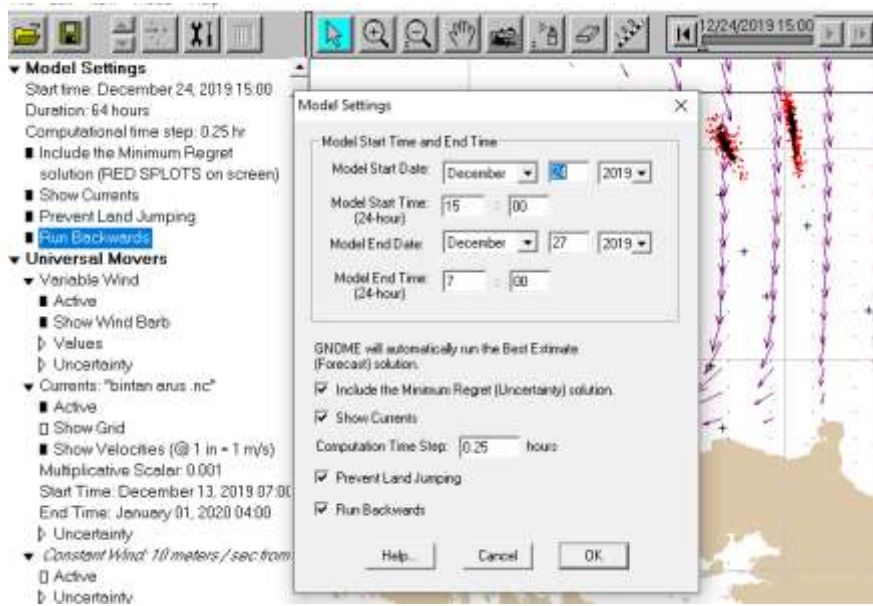
kekasaran objek. Mekanisme yang mendominasi hamburan balik pada permukaan laut adalah adanya gelombang dengan tipe resonansi Bragg, dimana lapisan minyak dapat mengurangi gelombang Bragg ini yang kemudian mempengaruhi sinyal yang diindera oleh SAR. Ketika gelombang tipe Bragg berkurang maka sangat sedikit sinyal yang dipancarkan kembali ke SAR sehingga daerah gelap (*dark spot*) akan muncul di citra SAR. *Dark spot* pada Gambar 7 tersebut merupakan area yang terkena tumpahan minyak, sedangkan titik putih yang terdapat di sepanjang area merupakan objek kapal. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa tumpahan minyak yang ada di wilayah Lagoi dapat diduga berasal dari Perairan Internasional (berjarak 30-50 meter) dan menyebar ke area disekitarnya.

Validasi yang dapat dilakukan pada aplikasi GNOME adalah penggunaan fitur *spray* yang digunakan untuk menguji kebenaran dari adanya hasil peta persebaran minyak berdasarkan olah data citra satelit sentinel-1. Hasil *spray* pada GNOME ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai berikut :



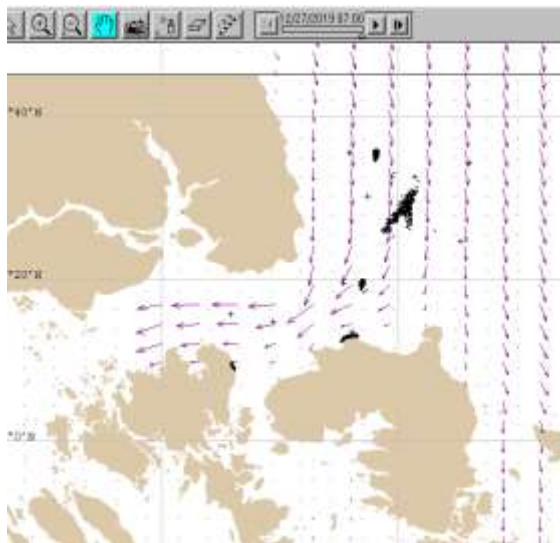
Gambar 8. Hasil *Spray* pada GNOME

Dalam menguji kebenaran sumber minyak, maka digunakan fitur *run backwards* pada aplikasi GNOME (Gambar 9). Berdasarkan informasi yang didapatkan, tumpahan minyak yang terlihat di perairan Bintan pada tanggal 14 Desember 2019 mulai mengganggu aktivitas masyarakat pesisir terutama nelayan (Tribun Batam, 2019). Maka dari itu, diasumsikan bahwa semenjak dari tanggal kejadian yaitu pada tanggal 14 Desember 2019 hingga 4 hari sebelum tanggal 27 Desember 2019 sesuai hasil olah data citra Sentinel-1 yakni tanggal 24 Desember 2019, minyak diasumsikan masih berada dan bergerak di perairan Internasional. Hasil dari *Running Spray* yang disimulasikan selama 4 hari kebelakang yaitu dari tanggal 27 Desember – 24 Desember 2019 adalah sebagai berikut :

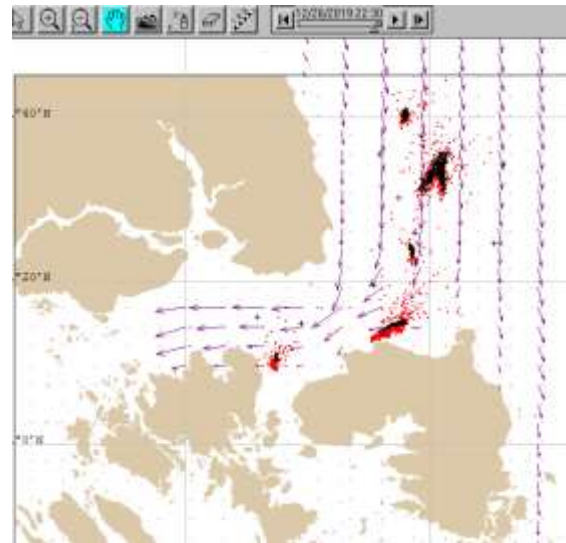


Gambar 9. Run Backwards Oil Information

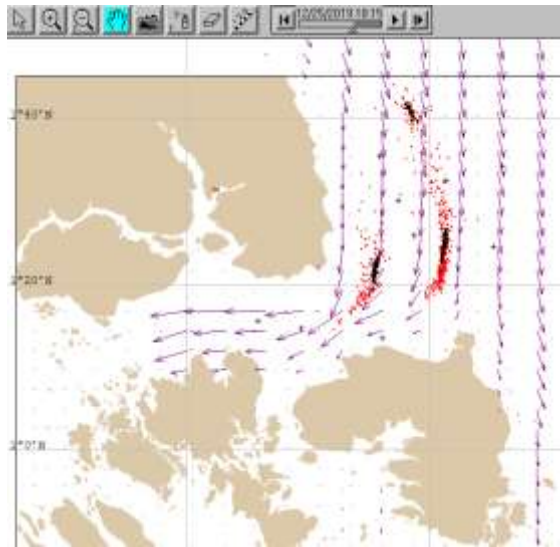
## Hasil



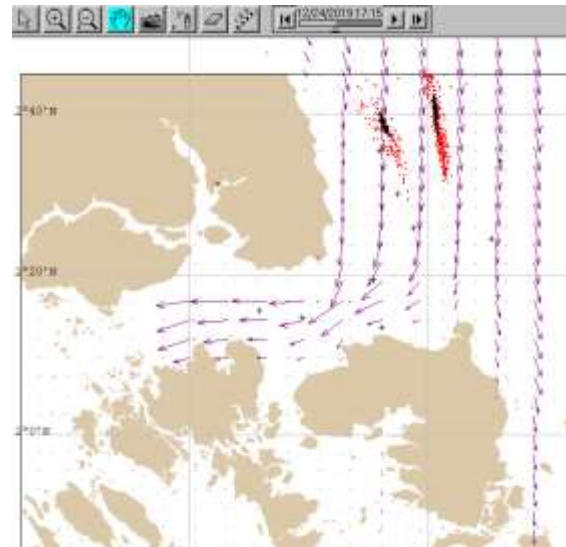
(a) 27 Desember 2019 (09.00 WIB)



(b) 26 Desember 2019 (22.30 WIB)



(c) 25 Desember 2019 (18.15 WIB)



(d) 24 Desember 2019 (17.15 WIB)

Berdasarkan hasil *Run Backwards* dari hasil *spray* pada GNOME yang dimulai dari tanggal 27 Desember hingga 24 Desember 2019, terlihat bahwa minyak yang menyebar di perairan Pulau Bintan bergerak menuju ke arah utara dan berada di alur pelayaran internasional. Jadi dapat divalidasi *Running* model dilakukan selama 4 hari sebelum tanggal kejadian menunjukkan bahwa sumber minyak memang berasal dari perairan internasional sekitar perairan pulau Bintan. Validasi sumber minyak ini dilakukan agar penelitian yang telah dilakukan dari hasil modelling bisa dipertanggung jawabkan secara teori.

*Black spots* mewakili perkiraan lintasan terbaik untuk tumpahan minyak, diperkirakan akurasi 1-2mil dalam 48jam. GNOME mengansumsikan bahwa (1) angin terus bertiup pada kecepatan dan arah yang dimasukkan kedalam model, (2) data dalam lokasi mewakili pola sebenarnya selama masa tumpahan. *Red spots* mewakili lintasan kesalahan minimum. GNOME mengansumsikan tingkat ketidakpastian berdasarkan hasil input data sehingga asumsi kesalahan prediksi tumpahan minyak tidak akan berada diluar area yang dicakup dengan probabilitas 90% (Zelenke *et al.*, 2012).

Arah pergerakan tumpahan ini sangat dipengaruhi oleh pergerakan arus permukaan yang dipengaruhi oleh angin dan pasang surut yang terjadi saat itu, karena arus laut merupakan faktor oseanografi yang menyebarkan minyak ketika tumpah di perairan setelah membentuk lapisan (*oil slick*) sehingga dengan segera akan bertambah luas permukaan minyak tersebut. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa angin dan arus pasang surut memindahkan unsur-unsur dari lapisan minyak secara relatif satu sama lain dan mempercepat proses penyebaran (Siagian *et al.*, 2016).

Jika terdapat pencemaran atau tumpahan minyak di perairan Internasional di Laut Cina Selatan ataupun di Utara perairan Bintan, maka tumpahan minyak tersebut akan bergerak menuju Selatan dan Utara, dan daerah Bintan bagian Timur lebih rentan terpapar oleh tumpahan minyak karena pola arus bolak balik yang mengikuti pola arus Laut Natuna (Mujahidawati, 2018).



#### IV. Kesimpulan

Dari hasil analisis penelitian didapatkan hasil bahwa sumber dari adanya tumpahan minyak di perairan Pulau Bintan adalah akibat dari aktivitas *Tank Cleaning* dan juga pembuangan minyak hitam di perairan internasional. Tumpahan minyak sebesar 476 barrels lalu terbawa arus dan angin hingga sampai di pesisir Pulau Bintan dan mencemari lingkungan sekitarnya. Hasil validasi sumber tumpahan minyak dengan fitur *spray* dan *run backwards* menunjukkan bahwa sumber tumpahan minyak benar berasal dari perairan internasional yang melewati perairan Bintan dengan bergerak menuju ke arah utara dan berada di alur pelayaran internasional wilayah Bintan.

#### Daftar Pustaka

- Beegle-Krause, J. 2001. General NOAA oil modeling environment (GNOME): a new spill trajectory model. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 2001, No. 2, pp. 865-871). American Petroleum Institute.
- Danipranata, J. 2019. Indeks Kepekaan Lingkungan Ekosistem Mangrove Dengan Interpretasi Citra Digital, Studi Kasus: Pesisir Barat Pulau Bangka, Propinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(1), pp.75-85.
- Irawan, Sudra. 2017. "Kondisi Hidro-Oseanografi Perairan Pulau Bintan (Studi Kasus Perairan Teluk Sasah)." *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* 10 (1): 41. <https://doi.org/10.21107/jk.v10i1.2145>.
- Keramea, Panagiota, Katerina Spanoudaki, George Zodiatis, Georgios Gikas, and Georgios Sylaios. 2021. "Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges." *Journal of Marine Science and Engineering* 9 (2): 1–41. <https://doi.org/10.3390/jmse9020181>.
- Mujahidawati. (2018). Kajian Sumberdaya Pesisir Dan Laut Akibat Pencemaran Di Perairan Kecamatan Gunung Kijang Kabupaten Bintan. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Purnomo, D A, A A B Dinariyana, and ... 2019. "Analisa Risiko Tubrukan Kapal Dan Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak Di Selat Bali." *Prosiding ...*, 1–10. <http://prosidingseminakel.hangtuah.ac.id/index.php/ps/article/view/295>.
- Purwandani, Andri. n.d. "Modeling of Oil Spill on Montara Well Head Platform In," 489–98.
- Puspitasari, Tirsa Aulia, Mochamad Arif Zainul Fuad, and Ety Parwati. 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.
- Qowiyah, Sarah Nur., Mahmiah, and Rudi Siap B. 2021. Pencemaran Minyak Di Perairan Utara Pulau Bawean. *J-Trpimar* 3 (2): 54-64.
- Rustam, Ismah. 2016. "Tantangan ALKI Dalam Mewujudkan Cita-cita Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia." *Indonesian Perspective* 1 (1): 1–21. <https://doi.org/10.14710/ip.v1i1.10426>.
- Salim, Agus, and Taufik Edi Sutanto. 2014. "Model Pergerakan Tumpahan Minyak Di Perairan Selat Sunda." *Cauchy* 3 (2): 99. <https://doi.org/10.18860/ca.v3i2.2580>.
- Setiawan, A. 2021. Laporan PIAMARI. Pangandaran. (tidak diterbitkan) 16 hlm.



- Siagian, Y. S., Aziz, R., & Aris, I. (2016). Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak Di Perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi*. Volume 5, Nomor 2, Tahun 2016, Halaman 270–276.
- Suci Meinarni, Ni Putu. 2016. “Dampak Pencemaran Lingkungan Laut Terhadap Indonesia Akibat Tumpahan Minyak Montara Di Laut Timor.” *Jurnal Komunikasi Hukum (JKH)* 2 (2): 228–35. <https://doi.org/10.23887/jkh.v2i2.8415>.
- Tribun Batam. (2020). Pemerintah Pusat Maksimalkan Operasi Laut, Cegah Tumpahan Limbah Minyak Hitam di Perairan Kepri. Diakses melalui <https://batam.tribunnews.com/2020/01/21/pemerintah-pusat-maksimalkan-operasi-laut-cegah-tumpahan-limbah-minyak-hitam-diperairan-kepri>
- Zelenke, B., C. O'Connor, C. Barker, C.J. Beegle-Krause, and L. Eclipse (Eds.). 2012. “General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME), Technical Documentation.” *NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 40*, no. October: 105. [http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/GNOME\\_Tech\\_Doc](http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/GNOME_Tech_Doc).