

PREDIKSI POLA PERSEBARAN TUMPAHAN MINYAK MENGUNAKAN DATA CITRA SATELIT SENTINEL-1 DI PERAIRAN BINTAN, KEPULAUAN RIAU

(PREDICTION OF OIL SPILL TRAJECTORY USING SENTINEL-1 IMAGERY DATA IN BINTAN COASTAL WATER, RIAU ISLANDS)

Tirsa Aulia Puspitasari^{1,a}, Mochamad Arif Zainul Fuad^{1,a}, Ety Parwati²

¹Universitas Brawijaya

²Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

^aKontributor Utama

email: tirsaulia06@gmail.com

Diterima 29 Mei 2020; Direvisi 28 November 2020; Disetujui 11 Desember 2020

ABSTRACT

Bintan is a regions with annual cases of oil spills, which were excluded from tank cleaning and black waste disposal activities. The oil spill that has spread to several resorts in Bintan has certainly caused losses in both the tourism sector and capture fisheries. In order to reduce these impacts, it is necessary to arranging oil spill response carefully. As a first step, it is necessary to have information on areas that could potentially be affected by oil spill. This study aims to predict the oil spill trajectory using Sentinel-1 satellite imagery data on December 27, 2019. Imagery data processing is carried out using SNAP software with Lee's Algorithm filter (window 5x5), to determine the location of the oil spill. The software used to predict the distribution of the oil spill is GNOME with diagnostic mode, based on imagery data processing result, and surface current and wind conditions in Bintan coastal water. Estimation of areas potentially affected by oil spills using the Environmental Sensitivity Index (ESI), based on coastal characteristics. In this case, oil spill will reach the Bintan Coast within 2 to 5 days on Northwest Monsoon with average surface current speed of 4.28 ms and wind speed of 3.6 – 5.7 m/s. The estimated of oil total amount is 1,767 barrels. The most sensitive area to oil spills is Trily Resort Center Bintan and Sebong Bay with Index of 10D.

Keywords: oil spill, Bintan coastal water, Sentinel-1 satellite imagery data, SNAP, Lee algorithm, GNOME, diagnostic mode, Environmental Sensitivity Index (ESI)

ABSTRAK

Bintan merupakan wilayah dengan kasus tumpahan minyak yang terjadi di setiap tahunnya, diduga berasal dari aktivitas *tank cleaning* dan pembuangan limbah hitam. Tumpahan minyak yang telah menyebar ke beberapa *resort* di Bintan menyebabkan kerugian baik di sektor pariwisata maupun perikanan tangkap. Untuk mengurangi dampak kerugian, perlu dilakukan upaya penanggulangan yang matang. Sebagai langkah awal, informasi mengenai daerah yang berpotensi untuk terkena dampak tumpahan minyak sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan memprediksi pola sebaran minyak menggunakan data citra satelit Sentinel-1 pada tanggal 27 Desember 2019. Pengolahan data citra dilakukan menggunakan perangkat lunak SNAP dengan *filter* Algoritma Lee (*window* 5x5), untuk mengetahui lokasi tumpahan minyak. Perangkat lunak yang digunakan dalam memprediksi sebaran minyak yaitu GNOME dengan mode diagnostik, berdasarkan hasil pengolahan citra satelit serta kondisi arus dan angin di perairan Bintan. Pendugaan daerah yang berpotensi terkena tumpahan minyak menggunakan Indeks Sensitivitas Lingkungan (ESI), berdasarkan karakteristik pantai. Pada model ini diperoleh bahwa tumpahan minyak pada Musim Utara akan mencapai wilayah pesisir Bintan dalam waktu 2 sampai 5 hari dengan kecepatan arus rata-rata 4.28 meter/detik dan kecepatan angin 3.6 – 5.7 meter/detik. Total minyak yang tumpah diperkirakan sebanyak 1.767 barel. Wilayah yang paling sensitif terhadap tumpahan minyak adalah Trily *Resort Center* Bintan dan Teluk Sebong dengan Indeks 10D.

Kata kunci: *tumpahan minyak, perairan Bintan, Sentinel-1, SNAP, algoritma Lee, GNOME, mode diagnostik, Indeks Sensitivitas Lingkungan (ESI)*

1 PENDAHULUAN

Bintan merupakan wilayah kepulauan di Provinsi Kepulauan Riau yang terletak di antara Selat Malaka dan Selat Karimata yang berbatasan langsung dengan negara Singapura dan Malaysia. Aktivitas kapal tanker menjadi salah satu penyumbang dalam pencemaran laut di Perairan Bintan, Kepulauan Riau. Penyebab utama tumpahan minyak di Perairan Bintan yaitu kegiatan *tank cleaning* dan pembuangan limbah minyak hitam (CNBC, 2019). Kapal asing seringkali membuang limbahnya di Perairan Indonesia sebelum berlabuh ke Singapura. Menurut Panglima Komando Armada I TNI Angkatan Laut, pada bulan Oktober 2019 terdapat sekitar 15 – 20 kapal asing yang diusir setiap hari dari perairan Indonesia karena melakukan lego kapal atau membuang limbah di Perairan Indonesia (Kumparan, 2019).

Pencemaran minyak berpotensi untuk merusak ekosistem dan biota, pariwisata, dan merusak jaring milik nelayan sehingga sangat merugikan karena penghasilan yang menurun (Sulistiyono, 2012). 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 berasal dari

perairan lepas pada musim angin utara (Tribun Batam, 2019). Contoh kasus tumpahan minyak tersebut memang tergolong ke dalam kasus skala kecil apabila dilihat volume minyak yang ada di perairan, namun frekuensi terjadinya dapat menimbulkan dampak yang besar untuk jangka panjang.

Oleh karena itu, kasus tumpahan minyak di Bintan tentunya memerlukan langkah penanggulangan yang serius. Peneliti melakukan penelitian mengenai pemodelan pola persebaran minyak melalui pendeteksian titik lokasi tumpahan minyak, sehingga dapat membantu dalam penyusunan upaya penanggulangan (*contingency planning*) yang paling efektif dan efisien, berdasarkan urutan prioritas penanganan pada daerah yang berpotensi tercemar.

Citra satelit yang umumnya digunakan untuk mendeteksi tumpahan minyak adalah citra radar atau SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Citra radar memiliki beberapa keunggulan dibandingkan citra optis yaitu kemampuan citra radar untuk melakukan akuisisi data. Akuisisi data dilakukan secara independen dari kondisi cuaca pada siang maupun malam hari (Prastyani dan Basith, 2019).

Satelit Sentinel-1 digunakan karena dapat beroperasi tanpa gangguan cuaca dan dapat menembus awan (Rijal *et al.*, 2019). Tidak seperti satelit optis, Sentinel-1 tidak dipengaruhi siang dan malam (sensor aktif), sehingga tidak

bergantung pada matahari untuk memancarkan gelombang/ energi (Kushardono *et al.*, 2016).

General NOAA Oil Modelling Environment (GNOME) merupakan model sebaran tumpahan minyak yang mensimulasikan pergerakan minyak yang dipengaruhi oleh angin dan arus. GNOME dikembangkan oleh *Hazardous Materials Response Division* (HAZMAT) of the *National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration*. HAZMAT menggunakan model ini selama tumpahan minyak untuk memperkirakan “*best guess*” dari sebaran tumpahan minyak yang diasosiasikan dengan ketidakpastian (*uncertainty*) sebaran tumpahan minyak. Fungsi GNOME secara luas yaitu untuk memprediksikan pengaruh angin, arus, dan proses pergerakan lain di laut terhadap tumpahan minyak di laut. GNOME juga digunakan untuk memprediksi ketidakpastian dari sebaran tumpahan minyak dan kondisi minyak yang dipengaruhi oleh cuaca di sekitar tumpahan minyak (Krisdiantoro, 2012).

Dalam memprediksi persebaran tumpahan minyak, GNOME menggunakan bantuan visual *plots* (bercak/sebaran) yang terdiri dari *black plots* dan *red plots*. *Black plots* mewakili perkiraan lintasan terbaik (*best guess*) GNOME untuk tumpahan minyak dari tanker, diperkirakan akurasi 1-2 mil dalam 48 jam. Untuk membuat *best guess*, GNOME mengasumsikan bahwa; (1) angin terus bertiup dengan cepat pada kecepatan dan arah yang dimasukkan ke dalam model, (2) data dalam *File* Lokasi secara akurat mewakili pola saat ini selama masa tumpahan. *Red Plots* mewakili estimasi lintasan kesalahan minimum (*minimum regret trajectory*) GNOME yang lebih besar untuk tumpahan yang sama. GNOME mengasumsikan tingkat ketidakpastian berdasarkan *input* data, sehingga didapatkan estimasi kesalahan prediksi lintasan tumpahan minyak tidak akan berada di luar area yang dicakup oleh *red plots* (probabilitas 90%) (NOAA, 2020).

GNOME memiliki dua mode utama, yaitu mode standar dan mode diagnostik. Pada mode standar digunakan *location file* yang berupa informasi peta *polygon*, arus, angin, karakteristik minyak,

kedalaman laut dan data lainnya. Pada mode tersebut pengguna hanya memvariasikan berbagai parameter tambahan seperti jumlah tumpahan dan pengaruh tambahan untuk melihat dampaknya terhadap perubahan *trajectory* minyak. Walaupun menggunakan mode standar sangatlah mudah, namun peta lokasi yang tersedia sangat terbatas, yang sebagian besar berada di laut sekitar Amerika. Apabila lokasi yang diinginkan tidak tersedia, maka dapat menggunakan *diagnostic mode* (Salim dan Sutanto, 2013). Dibandingkan dengan model tumpahan minyak lainnya, GNOME merupakan perangkat lunak yang mudah dioperasikan (*user friendly*) dan sederhana, namun kadar ilmiahnya bisa dipertanggungjawabkan. Hasil dari simulasi model lintasan minyak menggunakan GNOME juga cukup representatif dengan keadaan lapangnya. Selain itu, GNOME juga merupakan perangkat lunak yang tidak berbayar sehingga dapat diakses oleh semua kalangan.

Indeks kepekaan lingkungan pada dasarnya digunakan untuk mengukur potensi kehilangan nilai ekonomi, sosial, fisik dan biologi dari lahan yang ada. Indeks kepekaan lingkungan disusun untuk mengetahui tingkat karakteristik, kepekaan, dan kerentanan sumberdaya yang ada di pesisir. Indeks kepekaan lingkungan pada awalnya dilakukan khusus terhadap tumpahan minyak untuk kepentingan perencanaan mitigasi bila terjadi tumpahan minyak pada tahun 1976. Peta indeks kepekaan lingkungan sangat berperan dalam perencanaan ICZM (*Integrated Coastal Zone Management*) seperti sebagai dasar perencanaan kebijakan pemeliharaan lingkungan pesisir, konservasi dan perlindungan habitat/sumberdaya pesisir, pengendalian pencemaran dan perencanaan mitigasi untuk menghadapi bencana laut dan untuk rehabilitasi dan restorasi lingkungan, serta mampu untuk pengkajian dampak lingkungan yang strategis (Wibowo, 2009).

Sensitivitas lingkungan pesisir dapat diidentifikasi dengan mengetahui tipe garis pantai suatu wilayah. Tipe garis pantai (ukuran butir sedimen dan kemiringan) akan menentukan kapasitas penetrasi dan/ atau pengendapan

minyak di pantai, serta pergerakannya. Indeks Sensitivitas Lingkungan (ESI) menggunakan sistem kode warna untuk penentuan jenis pantai dan sensitivitasnya (umumnya terhadap tumpahan minyak) dengan cepat dan mudah (IPIECA, 2011).

Tumpahan minyak yang telah menyebar ke beberapa *resort* di Bintan tentunya menyebabkan kerugian baik di sektor pariwisata maupun tangkapan ikan. Untuk mengurangi dampak kerugian tersebut, perlu dilakukan penyusunan upaya penanggulangan yang matang. Sebagai langkah awal dalam menyusun langkah penanggulangan tumpahan minyak, perlu adanya informasi mengenai daerah yang berpotensi untuk terkena dampak tumpahan minyak. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pola sebaran minyak menggunakan data citra satelit Sentinel-1 pada tanggal 27 Desember 2019.

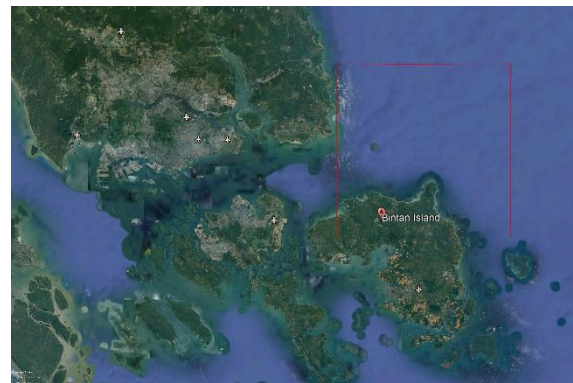
2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Penelitian ini dilakukan di Perairan Bintan, Kepulauan Riau dengan peta lokasi dapat dilihat pada Gambar 2-1. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data citra satelit Sentinel-1A Level 1 GRD dengan polarisasi IW (*interferometric wide*) tanggal 27 Desember 2019, untuk mendeteksi tumpahan minyak. Data tersebut dipilih karena merupakan kasus terbaru tumpahan minyak dan terjadi secara berkala di Perairan Bintan, dan data pada tanggal 27 Desember 2019 merupakan data dengan tumpahan minyak terbanyak. Data yang digunakan untuk membuat model pola persebaran minyak, yaitu kecepatan angin (dari situs ECMWF) dengan *grid* 0,125 x 0,125; kecepatan arus permukaan (dari situs OSCAR); dan peta lokasi garis pantai (dari situs (GOODS NOAA). Waktu pada data tersebut disesuaikan dengan data citra satelit Sentinel-1.

Data Sentinel-1 akan diolah pada perangkat lunak SNAP untuk kemudian diketahui lokasi *dark spot* (tumpahan minyak) dan nilai *backscatter*-nya (dB), menggunakan Algoritma Lee (*window* 5x5). Algoritma Lee (*window* 5x5) diketahui dapat menghaluskan *noise*

(bintik) pada data serta mampu mempertahankan ketajaman gambar (Sarjani *et al.*, 2017). Pendugaan wilayah yang terkena dampak tumpahan minyak dilakukan menggunakan Indeks Sensitivitas Lingkungan (ESI), yang berdasarkan pada kode warna. Setiap kode warna mewakili tingkat sensitivitas berdasarkan karakteristik lingkungannya.



Gambar 2-1: Peta Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth Pro, 2020)

2.2 Metode Penelitian

Proses pengolahan data secara umum terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu:

- 1) Pengolahan data citra satelit menggunakan algoritma Lee, berdasarkan persamaan berikut (Trisasongko, 1999):

$$R = I_c \times W + I_m \times (1-W) \quad (2-1)$$

dengan

$$W = 1 - C_u^2 / C_i^2 \quad (2-2)$$

$$I_c = \text{pusat } \textit{pixel} \text{ pada jendela } \textit{Filter} \quad (2-3)$$

$$C_u = \text{SQRT}(1/NLOOK) \quad (2-3)$$

I_m = intensitas nilai *mean* pada jendela

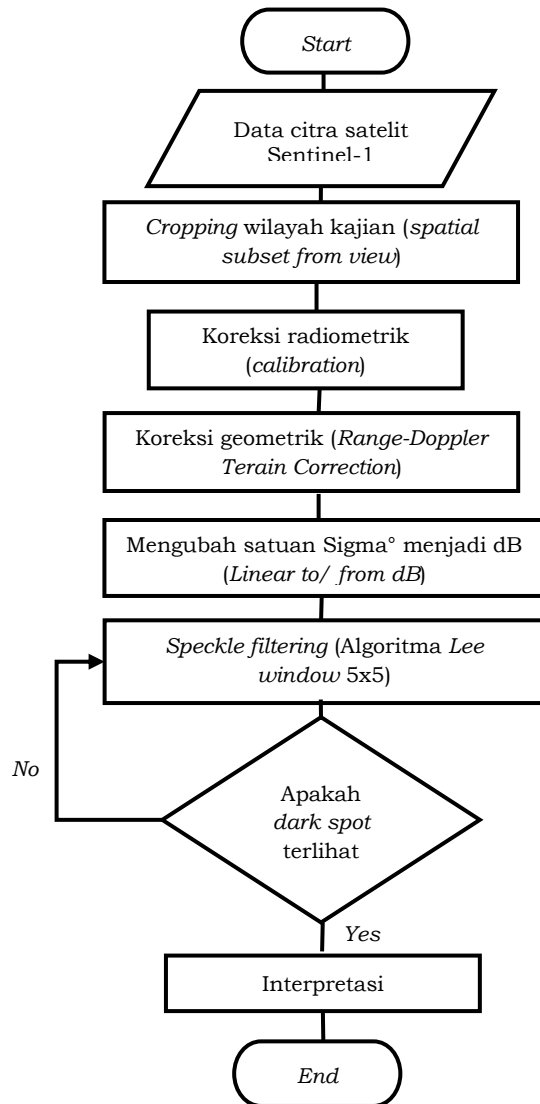
$$C_i = S / I_m \quad (2-4)$$

S = intensitas standar deviasi pada jendela

- 2) Membuat skenario tumpahan minyak berdasarkan data kondisi perairan seperti pada Tabel 2-1;
- 3) Membuat prediksi pola persebaran tumpahan minyak berdasarkan skenario yang telah dibuat dengan input data garis pantai, kondisi angin, dan arus permukaan.

Salah satu cara penajaman data SAR dapat dilakukan dengan teknik *Filtering*. *Speckle Filtering* merupakan suatu cara ekstraksi bagian data tertentu dari suatu kumpulan data, dengan menghilangkan bagian-bagian yang tidak diinginkan).

Algoritma *Lee* merupakan *filter* yang dapat menghaluskan *noise* (bintik) serta mampu mempertahankan ketajaman gambar (Sarjani *et al.*, 2017).



Gambar 2-2: Prosedur Pengolahan Data Citra Satelit Sentinel-1

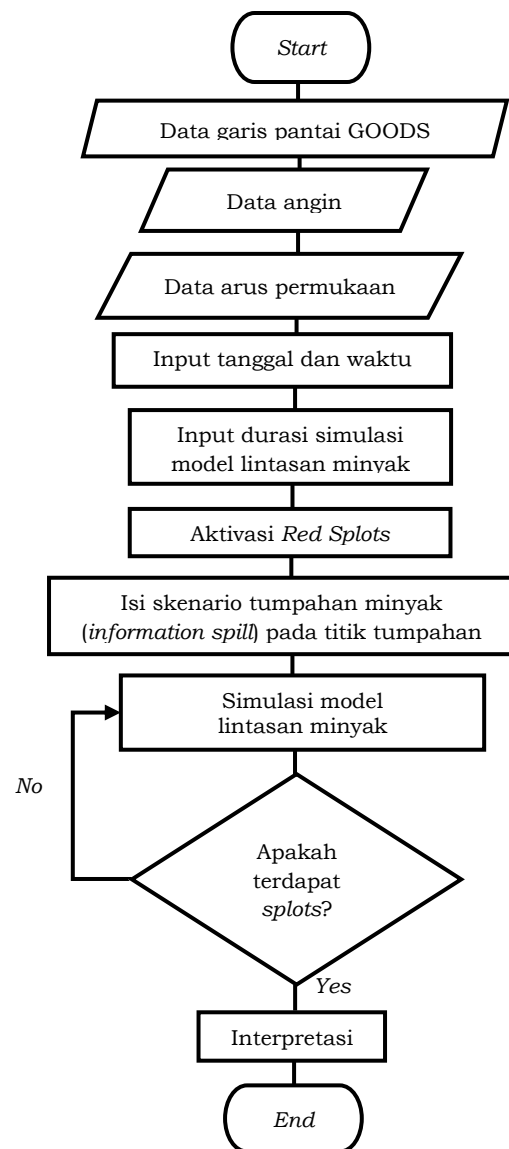
Ukuran *window* yang digunakan pada Algoritma *Lee* yaitu 5x5, mengacu pada penelitian Putri dan Harahap (2015), yang mengidentifikasi metode *filtering* untuk menghilangkan *noise* (*speckle*). Penelitian tersebut menjelaskan bahwa metode yang paling baik dalam menghilangkan *noise* adalah menggunakan ukuran *window* 5x5 (Metode Gaussian).

Dalam skenario tumpahan minyak, tentunya informasi mengenai jumlah volume minyak yang tumpah di perairan sangat dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan. Penentuan volume minyak yang tumpah dilakukan berdasarkan

Berita Republika dan analisis visual pada data citra satelit Sentinel-1 tanggal 27 Desember 2019.

Tabel 2-1: SKENARIO TUMPAHAN MINYAK

No	Parameter	Sumber Data
1	Volume minyak	476 barel (Sumber: Hipotetik)
2	Jenis Minyak	Fuel oil #6
3	Waktu <i>running</i> model	10 hari
4	Kecepatan Angin	ECMWF
5	Kecepatan Arus	PODAAC
6	Nama kapal	Tidak Diketahui
7	Asal	Perairan Internasional
8	Tujuan	Perairan Bintang
9	Waktu Tumpahan	27 Desember 2019

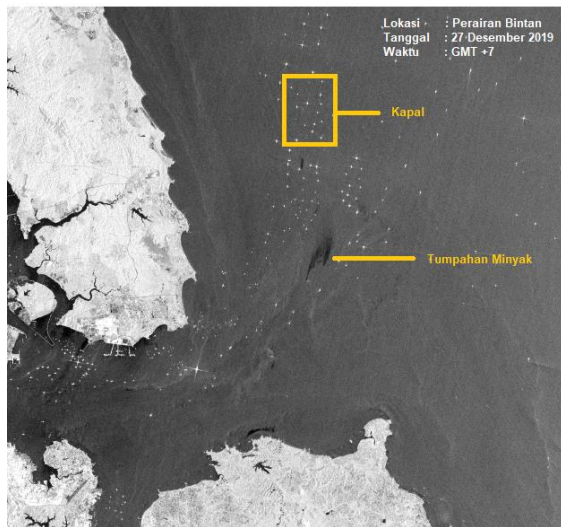


Gambar 2-3: Prosedur Pengolahan Data menggunakan GNOME

3 HASIL PEMBAHASAN

3.1 Lokasi Tumpahan Minyak

Pada Gambar 3-1 dapat dilihat hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak SNAP, menunjukkan terdapat beberapa area yang memiliki tampilan lebih gelap (*dark spot*). *Dark spot* pada data 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) yang menyebar ke wilayah Lagoi dan sekitarnya.



Gambar 3-1: Hasil Pengolahan Data Citra Satelit Sentinel-1 Tanggal 27 Desember 2019

Citra *backscatter* dengan polarisasi VV menunjukkan bahwa *oil spill* terlihat dengan tampilan berwarna lebih gelap (*dark spot*) karena memiliki pantulan yang rendah. 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 (Sulma *et al.*, 2019).

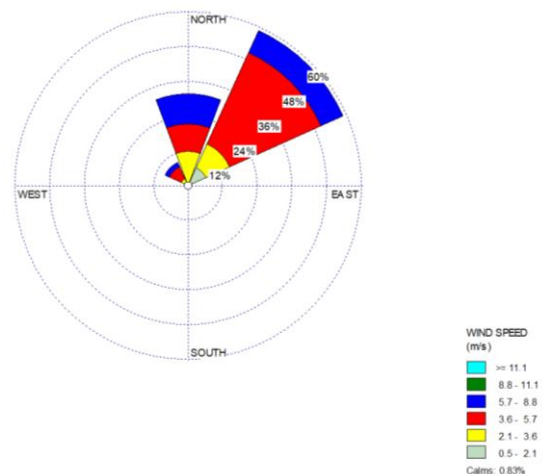
Terdapat 10 lokasi *dark spot* yang ditemukan pada wilayah Perairan Bintan, yang diduga sebagai tumpahan minyak dan akan digunakan sebagai input data titik koordinat tumpahan awal pada perangkat lunak GNOME.

Tabel 3-1: VOLUME TUMPAHAN MINYAK (SUMBER: PERANGKAT LUNAK SNAP)

Titik Lokasi	Longitude	Latitude	Volume Minyak (Barel)
1	104,452° - 104,456°	1,616° - 1,602°	100
2	104,476°	1,541°	100
3	104,535° - 104,55°	1,512° - 1,539°	255
4	104,545° - 104,57°	1,524° - 1,541°	150
5	104,491° - 104,459°	1,498° - 1,438°	476
6	104,598° - 104,551°	1,437° - 1,377°	200
7	104,408°	1,307°	100
8	104,371° - 104,412°	1,205° - 1,214°	186
9	104,278°	1,278°	100
10	104,192°	1,275°	100

3.2 Kondisi Angin

Kondisi angin pada Musim Utara di Perairan Bintan bertiup dominan dari arah Timur Laut menuju Barat Daya dengan kecepatan rata-rata 3,6 – 5,7 meter/detik. Kecepatan pada musim ini termasuk yang paling mempengaruhi pergerakan arus yang menyebabkan perpindahan tumpahan minyak di perairan, karena memiliki kecepatan paling tinggi dibandingkan musim lainnya.



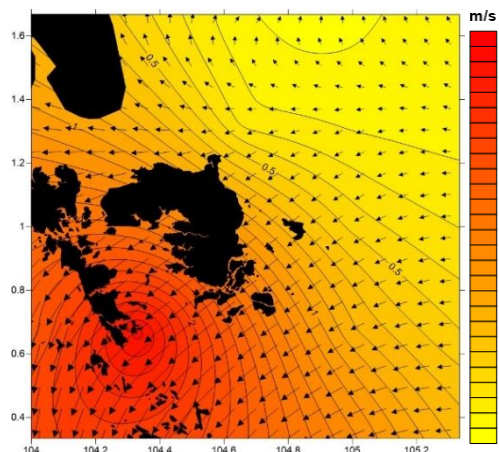
Gambar 3-2: Windrose Kecepatan Angin (Sumber: Data Angin ECMWF Bulan Desember 2019-Februari 2020)

Angin merupakan parameter lingkungan penting sebagai gaya penggerak dari aliran skala besar. Massa air permukaan selalu dalam keadaan bergerak. Gerakan ini ditimbulkan terutama oleh kekuatan angin yang bertiup melintasi permukaan air dan menghasilkan gerakan udara dari tempat bertekanan tinggi ke rendah, kuat lemahnya ditentukan oleh besarnya perbedaan tekanan (Mardiah *et al.*, 2003).

Musim angin utara yang terjadi di wilayah Pulau Bintan biasanya akan berlangsung antara bulan Desember sampai dengan Maret. Musim angin utara terjadi karena adanya tekanan rendah yang terjadi di belahan bumi selatan (BBS), jadi angin bertiup dari belahan bumi utara (BBU) ke belahan bumi selatan (BBS) (Negara, 2020).

3.3 Kondisi Arus Permukaan

Kecepatan arus di perairan Bintan diketahui sebesar 4,28 meter/detik pada musim Utara. Menurut Irawan (2017), posisi geografis wilayah Bintan menyebabkan perairan ini memiliki arus yang dipengaruhi oleh pasang surut dengan pola bolak-balik (*reversing tidal current*). Namun, pada simulasi model lintasan minyak ini tidak mempertimbangkan adanya faktor pasang surut. Arus Permukaan dianggap hanya dipengaruhi oleh faktor angin.



Gambar 3-3: Peta Kecepatan Arus Permukaan (Sumber: Data OSCAR PODAAC Bulan Desember 2019-Februari 2020)

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).

Musim angin utara di pesisir utara Pulau Bintan pada umumnya terjadi saat musim dingin (*winter*), dimana pergerakan arus pada saat itu juga menuju ke arah selatan, sehingga dapat disimpulkan pada musim angin utara angin dan arus bergerak searah dari utara menuju ke selatan. Hal inilah yang menyebabkan semua kotoran atau sampah mengapung di utara Pulau Bintan akan dibawa ke darat, terutama di pesisir utara Pulau Bintan (Negara, 2020).

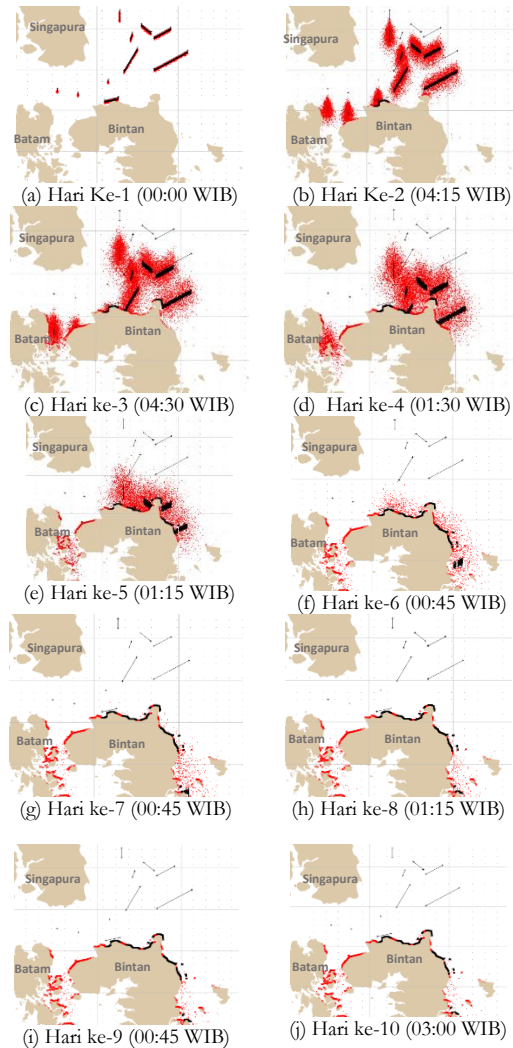
3.4 Prediksi Persebaran Tumpahan Minyak

Berdasarkan data angin dan arus di wilayah Bintan, dapat diperoleh pola lintasan *trajectory* minyak untuk tanggal 27 Desember 2019 selama 10 hari yang ditampilkan pada Gambar 3-4.

Berdasarkan hasil prediksi menggunakan GNOME, diketahui tumpahan minyak yang berasal dari Perairan Internasional akan menyebar ke wilayah Bintan bagian utara dan sekitarnya dalam waktu 2 sampai 5 hari. Adapun diketahui total minyak di perairan sebanyak 1.767 barel diantaranya total minyak yang mengapung pada hari ke-10 sebanyak 0 barel (semakin berkurang seiring bertambahnya waktu), total minyak yang ada di pantai sebanyak 1.157 barel, total minyak yang mengalami evaporasi dan dispersi sebanyak 606 barel, dan sisanya sebanyak 4 barel yang melewati batas peta sehingga tidak dapat terdeteksi.

Tumpahan minyak yang sampai ke darat akan menjadi pencemaran di wilayah pantai karena terdapat lapisan minyak hitam menempel pada pasir dan bebatuan. Hal ini tentunya akan sangat berdampak pada sektor pariwisata, karena objek wisata yang terdapat di wilayah ini semakin tercemar (nilai

estetikanya berkurang). Selain itu, tumpahan minyak yang menempel di bebatuan dan pasir akan memberikan dampak negatif pada biota yang hidup di ekosistem tersebut. Kondisi pantai di wilayah Bintan dapat dilihat pada Gambar 3-5, yang merupakan hasil dokumentasi penelitian milik Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).



Gambar 3-4: Model Sebaran Tumpahan Minyak (Sumber: Perangkat Lunak GNOME)

Pola persebaran tumpahan minyak pada model diatas, sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Mujahidawati (2018), yaitu 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 di Bintan bagian Timur lebih rentan terpapar oleh tumpahan minyak karena pola arus bolak balik (*reversing tidal current*) yang

mengikuti pola arus Laut Natuna (Mujahidawati, 2018).



Gambar 3-5: Kondisi Pesisir Bintan yang terkena dampak tumpahan minyak (Sumber: Dokumentasi Lapang LAPAN 13 Desember 2019)

Pada penelitian ini, tidak dilakukan *ground truth*, karena diasumsikan tumpahan minyak sudah tidak terdapat di perairan. Namun, data penelitian ini divalidasi menggunakan data Sistem Pemantauan Bumi Nasional (SPBN) dan dokumentasi lapang milik Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Data SPBN yang digunakan yaitu peta tumpahan minyak di Peairan Batam-Bintan menggunakan Sentinel 1 dan 2 pada tanggal 27 Desember 2019, 28 Desember 2019, 2 Januari 2020, dan 3 Januari 2020.

3.5 Hubungan Pola Persebaran Minyak dengan Indeks ESI

Untuk wilayah pesisir yang diduga terkena dampak tumpahan minyak dapat diprediksi menggunakan pendekatan ESI dengan mengidentifikasi karakteristik wilayah dengan hasil dugaan dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: PANTAI YANG TERKENA DAMPAK PENCEMARAN MINYAK (SUMBER: IPIECA, 2011)

No	Nama	Index ESI
1	Pulau Pangkil	Indeks 3A
2	Pulau Mapur	Indeks 3A
3	Pulau Lobam	Indeks 3A
4	Pantai Indah	Indeks 3A
5	Bintan Lagoon Resort	Indeks 3A
6	Pengudang	Indeks 3A
7	Lagoi	Indeks 3B
8	Tanjung Berakit	Indeks 3B
9	Cabana	Indeks 3B
10	Pantai Mayang Sari	Indeks 3B
11	Club Med Bintan	Indeks 3B

No	Nama	Index ESI
12	Pantai Senggiling	Indeks 3B
13	Sakera	Indeks 4
14	Pantai Pasir Panjang	Indeks 4
15	Bintan Sayang Resort	Indeks 7
16	Trikora, Telukdalam	Indeks 8
17	Banyan Tree Resort	Indeks 8
18	Pantai Batu Junjung	Indeks 8
19	Trily Resort Center	Indeks 10D
20	Teluk Sebong	Indeks 10D

Wilayah yang memiliki indeks tertinggi merupakan wilayah yang rentan mengalami kerusakan apabila terdampak tumpahan minyak. Adapun wilayah tersebut yaitu Trily Resort Center Bintan dan Teluk Sebong yaitu indeks 10D. Adapun indeks sensitivitas (ESI) rata-rata yang dimiliki oleh daerah terdampak tumpahan minyak adalah indeks 3A dan 3B seperti Lagoi, Tanjung Berakit, Pulau Pangkil, Pulau Mapur, Cabana, Pulau Lobam, Pantai Mayang Sari, Pantai Indah Club Med Bintan, Bintan Lagoon Resort, Pantai Senggiling, dan Pengudang. Peta wilayah yang diduga terdampak tumpahan minyak dapat dilihat pada Gambar 3-6.

Indeks Sensitivitas Lingkungan (ESI) menggunakan sistem kode warna untuk penentuan jenis pantai dan sensitivitasnya (umumnya terhadap tumpahan minyak) dengan cepat dan mudah (IPIECA, 2011). Terdapat 10 warna tingkatan indeks sensitivitas lingkungan (ESI) pada Tabel 3-3, dimana setiap warnanya mewakili karakteristik untuk identifikasi sensitivitas pantai tersebut secara visual.

Tabel 3-3: KODE WARNA INDEKS SENSITIVITAS LINGKUNGAN (ESI)

Kode Warna	Karakteristik	Kode Warna	Karakteristik
1A	Exposed rocky shore	8A	Sheltered scarps in bedrock, mud or clay and sheltered rocky shore
1B	Exposed, solid man-made structures	8B	Sheltered, solid man-made structures
1C	Exposed rocky cliffs with boulder talus base	8C	Sheltered riprap
2A	Exposed wave-cut platforms in bedrock, mud, or clay	8D	Sheltered rocky rubble shores

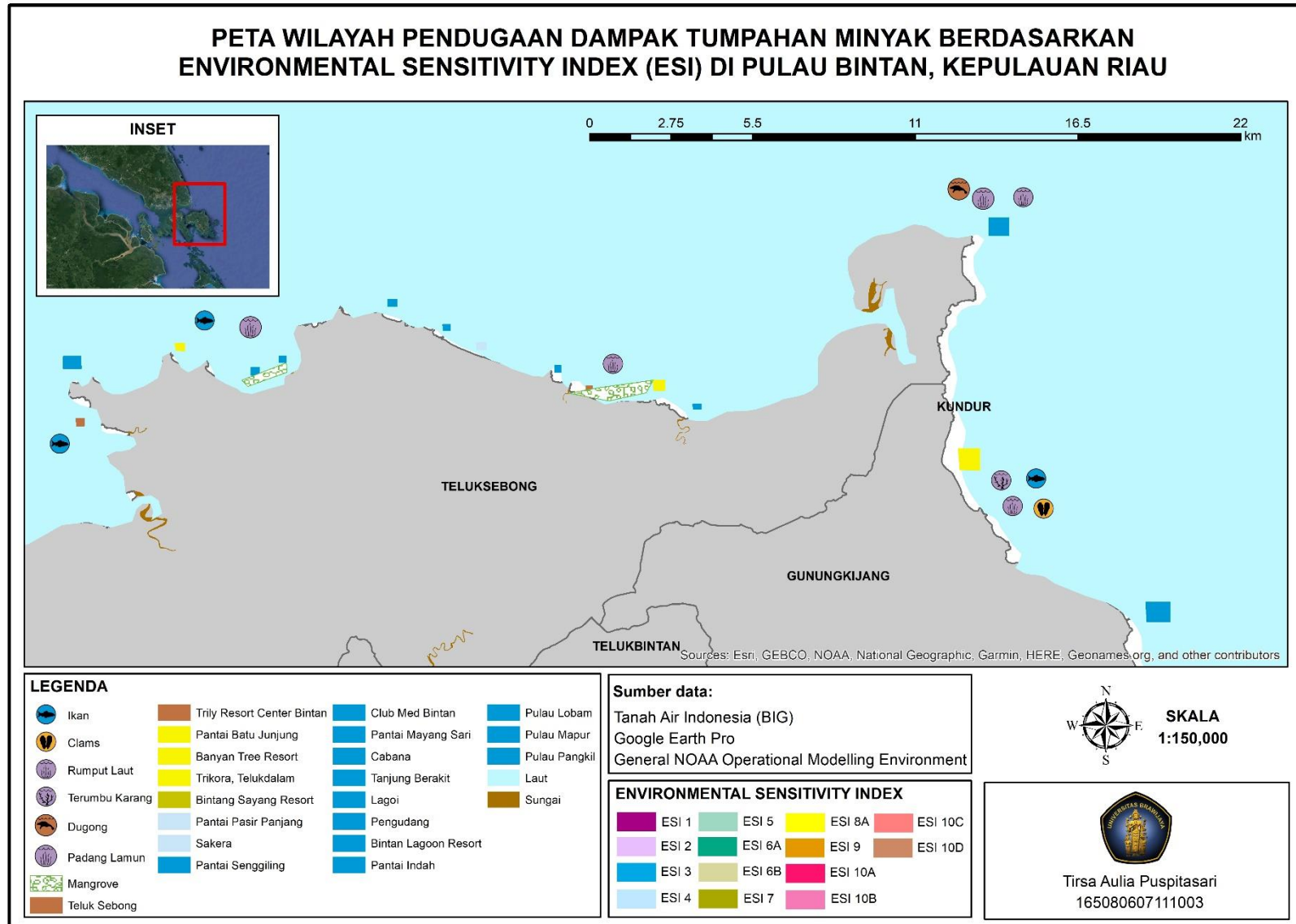
Kode Warna	Karakteristik	Kode Warna	Karakteristik
2B	Exposed scarps and sleep slope in clay	8E	Peat shorelines
3A	Fine-medium-grained sand beaches	9A	Sheltered tidal flats
3B	Scarps and sleep slopes in sand	9B	Vegetated low banks
4	Coarse-grained sand beaches	9C	Hypersaline tidal flats
5	Mixed sand and gravel beaches	10A	Salt and brackish water marshes
6A	Gravel beaches (granule and pebbles)	10B	Freshwater marshes
6B	Riprap structures and gravel beaches (cobbles and boulders)	10C	Swamps
7	Exposed tidal flats	10D	Mangroves

Nilai indeks yang diperoleh sangat ditentukan oleh ekosistem itu sendiri dalam menerima, dan menolak dampak dari tumpahan minyak. Kepekaan terhadap tumpahan minyak mengasumsikan bahwa suatu ekosistem terkena tumpahan minyak, dan menggambarkan efek relatif dari paparan tersebut (Prasetyo et al., 2017).

3.6 Validasi Simulasi Model Persebaran Minyak

Persebaran tumpahan minyak yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak GNOME kemudian divalidasi dengan menggunakan data tumpahan minyak dari SPBN milik LAPAN. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan jarak antara titik koordinat lokasi GNOME dengan titik koordinat SPBN LAPAN.

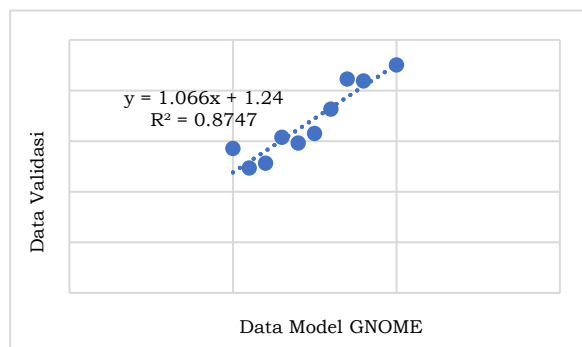
Mean square error digunakan untuk menghitung tingkat error dari dua buah hasil percobaan model. Jika semakin rendah tingkat error maka performance model semakin baik, namun sebaliknya jika tingkat error semakin besar maka performance model semakin buruk (Wardana et al., 2018).



Gambar 3-6: Peta Wilayah Bintan Berdasarkan ESI

Tabel 3-4: NILAI RMSE

Titik Lokasi	Jarak (km)	Error ²	RMSE
1	4,27	18,23	2,53
2	0,79	0,63	
3	0,80	0,64	
4	2,53	6,38	
5	4,11	16,93	
6	0,75	0,57	
7	2,15	4,61	
8	1,32	1,74	
9	2,37	5,62	
10	2,94	8,65	



Gambar 3-7: Grafik Validasi Model

Berdasarkan Gambar 3-7, koefisien determinasi *R square* sebesar 0,8747 hal ini menunjukkan bahwa 87,47% nilai model GNOME dapat mewakili keadaan sebenarnya, yang ditunjukkan dengan data validasi SPBN LAPAN. Sedangkan sisanya sebesar 12,53% dipengaruhi oleh kondisi arus dan angin yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Menurut Pardede (2017), untuk nilai R^2 syaratnya yaitu $>0,5$ untuk mendapatkan hubungan korelasi yang baik, dan nilai RMSE memiliki syarat ≤ 1 piksel untuk mendapat nilai *error* dari data perbandingan. Dalam penelitian ini, model simulasi GNOME dengan RMSE 2,53 cukup merepresentasikan keadaan sebenarnya.

4 KESIMPULAN

1. Berdasarkan kondisi angin rata-rata sebesar 3,6 – 5,7 meter/detik dan kecepatan arus 4,28 meter/detik di Perairan Bintan pada saat Musim Utara, hasil pemodelan persebaran tumpahan minyak pada 10 titik diperoleh bahwa tumpahan minyak akan mencapai wilayah pesisir Bintan dalam waktu 2 sampai 5 hari dilihat dari pola *trajectory* pada GNOME.

Total tumpahan minyak yaitu sebesar 1.767 barel, dengan 1.157 barel diantaranya akan mencemari pantai, 606 barel akan mengalami evaporasi dan dispersi serta sisanya sebanyak 4 barel tidak diketahui kondisinya oleh model karena melewati batas peta (*off map*).

2. Terdapat 20 wilayah yang diduga akan terkena dampak tumpahan minyak di Pulau Bintan berdasarkan prediksi menggunakan pendekatan Indeks Sensitivitas Lingkungan (ESI). Wilayah yang memiliki indeks tertinggi merupakan wilayah yang rentan mengalami kerusakan apabila terdampak tumpahan minyak. Adapun wilayah dengan indeks tertinggi yaitu Trily Resort Center Bintan dan Teluk Seborg (Indeks 10D). Indeks sensitivitas rata-rata pada Pulau Bintan adalah Indeks 3A dan 3B yaitu wilayah Lagoi, Tanjung Berakit, Pulau Pangkil, Pulau Mapur, Cabana, Pulau Lobam, Pantai Mayang Sari, Pantai Indah Club Med Bintan, Bintan Lagoon Resort, Pantai Senggiling, dan Pengudang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN dan Universitas Brawijaya yang telah memfasilitasi penulis selama melakukan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- CNBC (Consumer News and Business Channel Indonesia). (2019). Belasan Tahun Laut RI Tercemar Minyak dari Kapal Asing. Diakses melalui <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190930190618-4-103302/waduh-belasan-tahun-laut-ri-tercemar-minyak-dari-kapal-asing>.
- IIPECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). (2011). Sensitivity Mapping Forfor Oil Spill Response. Blackfriars Road, London SE1 8NL, United Kingdom: The Global Oil Andand Gas Industry Association Forfor Environmental Andand Social Issues.

- Irawan, S. (2017). Kondisi Hidro-Oceanografi Perairan Pulau Bintan (Studi Kasus Perairan Teluk Sasah). *Jurnal Kelautan*, 10 (1), 41-53.
- Krisdiantoro. (2012). Model Sebaran Tumpahan Minyak di Perairan Indramayu, Jawa Barat. *Departemen Ilmu Dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor*.
- Kumparan. (2019). Di Bintan, Tiap Hari 20 Kapal Asing Diusir Akibat Dicurigai Limbah. Diakses melalui <https://kumparan.com/kumparanbisnis/di-bintan-tiap-hari-20-kapal-asing-diusir-akibat-dicurigai-limbah-1rzPANoclI>.
- Kushardono, D., Dimiyati, R. D., Arief, R., & Maryanto, A. (2016). Kebutuhan Pengguna Data Penginderaan Jauh di Indonesia: Studi Awal untuk Conceptual Design Review Satelit SAR Ekuatorial Indonesia InaRSSat-1. *ICOIRS 2016: The 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing Remote Sensing for a Better Governance*.
- Mardiah., Joni, H., & Hasan, I. (2003). Simulasi Sebaran Tumpahan Minyak di Perairan Dumai, PT. Caltex Pacific Indonesia. *Jurnal Purifikasi* Vol. 4 (2), April 2003: 49 – 54.
- Mujahidawati. (2018). Kajian Sumberdaya Pesisir Dan Laut Akibat Pencemaran Di Perairan Kecamatan Gunung Kijang Kabupaten Bintan. *Institut Pertanian Bogor*. Bogor.
- Negara, G. S. (2020). Dampak Lingkungan Terhadap Pencemaran Laut Di Pesisir Utara Pulau Bintan Selama Musim Angin Utara. *Jurnal Saintek Maritime*, Volume 20 Nomor 2, Maret 2020. ISSN : 1412-6826.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2017). General NOAA Operational Modeling Environment. *Office of Response and Restoration*.
- Pardede, F. (2017). Pengaruh Fenomena La Nina Terhadap Konsentrasi Klorofil-A Dengan Menggunakan Citra Aqua Modis. *Thesis: Institut Teknologi Nasional Malang*.
- Prasetyo, A., Nyoto, S., & Lilik, B. P. (2017). Kepekaan Lingkungan Ekosistem Mangrove Terhadap Tumpahan Minyak di Kecamatan Ujung Pangkah, Gresik. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. Vol. 14 No. 2, Desember 2017 : 91-98.
- Prastyani, R., & Abdul, B. (2019). Deteksi Tumpahan Minyak di Selat Makassar Dengan Penginderaan Jauh Sensor Aktif dan Pasif. *Jurnal Elipsoidal* Vol 2 (1), Juni 2019 (88-94) ISSN 2621-9883.
- Putri, D. A., & Harahap, R. S. R. (2015). Identifikasi Perbandingan Metode Filtering untuk Menghilangkan Noise (Speckle) pada citra Radar RGB Pauli Menggunakan Software PolSAR Pro. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2015*. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Republika Nusantara News. (2019). Delapan Resor di Bintan Tercemar Limbah Minyak Hitam. Diakses melalui https://www.republika.co.id/berita/daerah/sumatra/20/01/22/q4hv_p5383-delapan-resor-di-bintan-tercemar-limbah-minyak-hitam.
- Rijal, S. S., Setyawan, F. O., & Aliviyanti, D. (2019). Ground Deformation Mapping in Lombok Earthquake 2018 Using SAR (Synthetic Aperture RADAR) Technology. *Correct IJSS Conference 2019*. Bali.
- Salim, A., & Sutanto, T. E. (2014). Model Pergerakan Tumpahan Minyak Ddi Perairan Selat Sunda Dengan Gnome Analysis. *Jurnal Biologi Al-Kauniyah*, 6(2).
- Sarjani, F., Sumantyo, J. T. S., & Yohandri. (2017). Pengolahan Citra Satelit Alos Palsar Menggunakan Metode Polarimetri Untuk Klasifikasi Lahan Wilayah Kota Padang. *Jurnal Eksakta*, 18 (1), 1411-3724.
- 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.

- Sistem Pemantauan Bumi Nasional. (2020). Dampak Bencana Tumpahan Minyak. Diakses melalui https://spbn.pusfatja.lapan.go.id/maps/?limit=100&offset=0&owner_username=in=minyak_tumpah. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Sulistiyono. (2012). Dampak Tumpahan Minyak (Oil spill) Di Perairan Laut Pada Kegiatan Industri Migas Dan Metode Penanggulangannya. *Jurnal Forum Teknologi*. Vol. 3(1).
- Sulma, S., Rahmi, K. I. N., Febrianti, N., & Sitorus, J. (2019). Deteksi Tumpahan Minyak Menggunakan Metode Adaptive Threshold Dan Analisis Tekstur Pada Data SAR. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh – LAPAN. *Majalah Ilmiah Globē*, 21(1), 45-52.
- 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-di-perairan-kepri>.
- Trisasongko, B, H. (1999). Radarsat Image Processing: Interpolation for Mangrove and Geomorphology. *Paper (no publication). Introductory Course RADAR Imagery* held in BPPT.
- Wardana, A. S., & Timur, M. I. A. (2018). Collaborative Filtering Recommender System pada Virtual 3D Kelas Cendekia. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)* Vol.8, No.1, April 2018, pp. 73~82 ISSN (print): 2088-3714, ISSN (online): 2460-7681 DOI: 10.22146/ijeis.28729.
- Wibowo, M. (2009). Pemetaan Tingkat Kepekaan Lingkungan Pesisir Di Kota Semarang. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 4 (1), 17-22.

LAMPIRAN

Tabel 1: HASIL PEMODELAN POLA PERSEBARAN MINYAK

Titik Lokasi	Posisi Awal	Posisi Akhir	Volume minyak (barell)				
			<i>Released</i>	<i>Floating</i>	<i>Beached</i>	Evaporasi dan Dispersi	<i>Off Map</i>
1	104,427° dan 1,576°	104,427° dan 1,539°	100	0	64	36	0
2	104,497° dan 1,485°	104,472° dan 1,460°	100	0	64	36	0
3	104,516° dan 1,519°	104,556° dan 1,487°	255	0	170	85	0
4	104,568° dan 1,468°	104,637° dan 1,505°	150	0	98	52	0
5	104,501° dan 1,423°	104,444° dan 1,329°	476	0	317	159	0
6	104,707° dan 1,410°	104,568° dan 1,336°	200	0	128	68	4
7	104,380° dan 1,292°	104,380° dan 1,292°	100	0	64	36	0
8	104,422° dan 1,220°	104,365° dan 1,208°	186	0	124	62	0
9	104,256° dan 1,240°	104,256° dan 1,240°	100	0	66	34	0