

Analisis Deteksi Tumpahan Minyak di Perairan Pantura Jawa Menggunakan Satelit Sentinel-1A Metode *Adaptive Threshold*

Niken Rahayuningtyas dan Lalu Muhamad Jaelani

Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: lmjaelani@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Sebagai salah satu dengan arus transportasi pelayaran dan pengeboran sumur minyak dan gas yang ramai, Perairan Pantura Jawa sangat rentan terhadap peristiwa pencemaran laut akibat dari peristiwa tumpahan minyak. Karena itu diperlukan sebuah metode yang dapat mendeteksi persebaran tumpahan minyak dengan cepat guna meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan. Penginderaan jauh aktif sangat berguna dalam deteksi cepat ini karena memiliki kemampuan untuk melakukan akuisisi data secara independen dari kondisi cuaca dan kemampuan akuisisi pada siang maupun malam hari. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis deteksi dan monitoring persebaran tumpahan minyak menggunakan citra satelit Sentinel-1A dengan menerapkan *tools oil spill detection* pada software SNAP yang mengidentifikasi area hitam menggunakan nilai ambang batas *threshold*. Diperlukan data tambahan berupa arah dan kecepatan angin yang didapatkan dari metode *Wind Field Estimation* untuk membedakan area tumpahan minyak. Luas tumpahan minyak di perairan Pantura Jawa pada Bulan Juli, Agustus dan September 2019 sebesar 18,79 km², 15,08 km², dan 19,6804 km², sementara pada Bulan Januari 2020 sebesar 8,62 km².

Kata Kunci—*Adaptive Threshold, Oil Spill, Sentinel-1A, Perairan Karawang.*

I. PENDAHULUAN

PANTAI Utara Jawa atau yang dikenal dengan Pantura membentang melewati 5 provinsi yaitu Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat dan Jawa Timur. Tidak hanya jalur barat yang menjadi urat nadi utama transportasi melainkan jalur perairan juga. Pantai Utara Jawa menghubungkan dua pelabuhan antara Sumatera, Jawa dan Bali yakni pelabuhan Merak dan Ketapang sehingga hal ini menyebabkan padatnya jalur pelayaran. Selain sebagai jalur pelayaran di Perairan Pantura Jawa juga banyak sekali aktivitas pengeboran sumur minyak dan gas.

Hal tersebut mengakibatkan kemungkinan terjadinya tumpahan minyak yang akan mengakibatkan dampak yang serius kepada lingkungan dan biota laut. Oleh karena diperlukan metode deteksi adanya tumpahan minyak di laut yang cepat dan efisien. Hal ini bertujuan untuk menyediakan informasi spasial dalam penanggulangan awal tumpahan minyak.

Salah satu metode yang bisa diterapkan adalah metode penginderaan jauh (PJ). Metode ini menjadi salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk deteksi cepat tumpahan minyak dan memungkinkan untuk diperolehnya

informasi penting tentang penyebaran minyak dari waktu ke waktu yang berguna dalam pembersihan dan pengendalian sebaran tumpahan minyak [1]. Sistem penginderaan jauh aktif dengan citra radar memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan citra optis dari sensor pasif seperti kemampuan untuk akuisi pada siang maupun malam hari, menembus awan, pepohonan serta perairan dangkal tergantung dari jenis band yang digunakan [2].

Penginderaan jauh dengan radar merupakan pencitraan dengan memancarkan radiasi gelombang radar ke obyek di permukaan bumi. Citra dari permukaan bumi dibentuk oleh pantulan atau hamburan energi gelombang dari permukaan baik daratan maupun lautan lalu dikembalikan lagi ke sensor [2]. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan monitoring dan deteksi secara berkala pada kurun waktu tertentu terhadap persebaran tumpahan minyak di Perairan Pantai Utara Jawa.

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data Satelit Sentinel-1A pada bulan Juli tahun 2019 hingga Maret 2020. Metode yang digunakan adalah *Adaptive Threshold* karena tumpahan minyak pada citra dicirikan dengan rendahnya *backscatter* maka dengan dilakukannya *thresholding* akan memisahkan area hitam. Metode ini memiliki kelebihan untuk mendeteksi area hitam lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan pendeteksian secara manual dengan interpretasi satu-persatu spot pada citra oleh operator [3].

II. DETEKSI TUMPAHAN MINYAK PADA CITRA RADAR

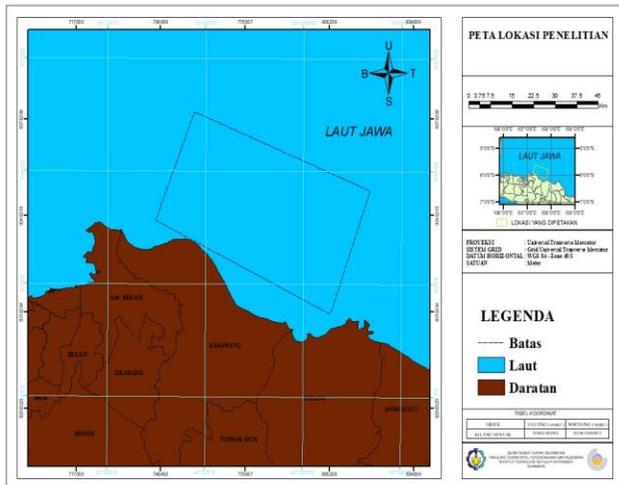
Konsep dasar deteksi tumpahan minyak berkaitan dengan dinamika laut dan hamburan sinyal radar (*backscatter*). Secara umum, mekanisme *backscatter* sinyal radar di laut tidak terlepas dari gelombang [4]. Sinyal radar dihamburkan oleh permukaan laut yang terdiri dari gelombang yang disebut *Capillary waves* dan *gravity waves*. Kedua jenis gelombang ini terbentuk karena adanya interaksi antara massa air dan angin [5].

Deteksi tumpahan minyak pada citra radar dibatasi oleh kecepatan angin saat akuisisi citra. Pada kecepatan angin yang rendah, *backscatter* tidak terjadi karena tidak terbentuknya *capillary/gravity waves*, sehingga tampak area gelap yang dapat menyerupai tumpahan minyak [6]. Di sisi lain, pada kecepatan angin yang tinggi, tumpahan minyak pada permukaan laut akan bercampur dengan air laut dan tenggelam ke dalam kolom air sehingga tidak terdeteksi pada citra radar [7]. Disebutkan bahwa deteksi tumpahan minyak pada citra radar dapat

Tabel 1.

Penampakan Lapisan Minyak pada Citra SAR pada Kondisi Kecepatan Angin Tertentu

Kecepatan Angin (m/detik)	Tanda Lapisan
0 - 3	Tidak ada dampak angin pada lapisan minyak, terlihatnya objek mirip (look-alike)
3 - 10	Sedikit kesalahan interpretasi pada daerah dengan angin lokal rendah namun background minyak masih terlihat homogen
>10	Hanya minyak tebal yang terlihat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

dilakukan dengan kecepatan angin berkisar antara 2 – 14 m/s [3]. Penampakan lapisan minyak pada citra sar pada kondisi kecepatan angin tertentu dapat dilihat pada Tabel 1.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada dalam koordinat batas sebagai berikut:

- batas 1 : 5° 35' 59,246"LS; 107° 19' 55,064"BT
- batas 2 : 5° 49' 16,404"LS; 107° 52' 58,469"BT
- batas 3 : 5° 54' 16,007"LS; 107° 12' 39,958"BT
- batas 4 : 6° 09' 54,397"LS; 107° 45' 35,064"BT

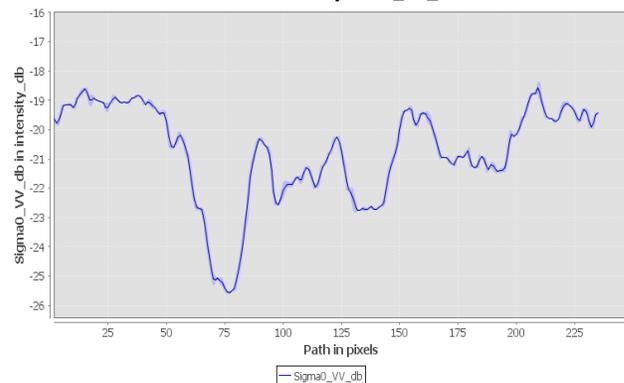
Gambar Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

B. Data dan Peralatan

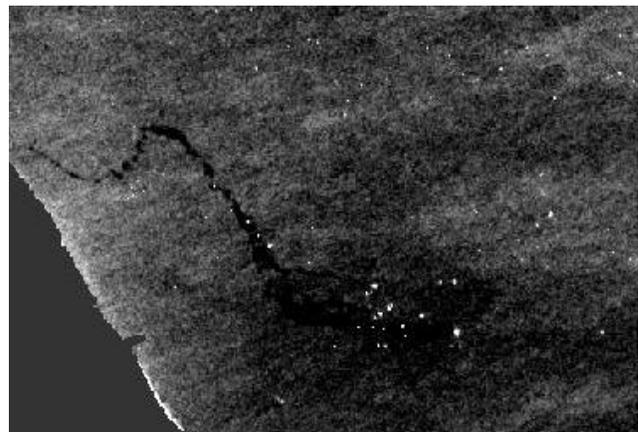
Data yang digunakan adalah data citra radar Sentinel 1A dengan mode *Interferometric Wide Swath (IW)* dual polarisasi VV dan VH. Data merupakan produk Level 1 *Ground Range Multi Look Detected (GRD)*. Adapun data yang dipakai yakni pada Bulan Juli 2019 hingga Maret 2020. Selain itu diperlukan data tambahan berupa data kecepatan dan arah angin yang diperoleh dengan melakukan proses *Wind Field Estimation* pada SNAP [8]. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yakni:

- Komputer dengan spesifikasi tinggi .
- Software SNAP untuk pengolahan Satelit Sentinel-A.
- Google Earth untuk membuka hasil masking.

Profile Plot for Amplitude_VV_db



Gambar 2. Nilai ambang batas threshold.



Gambar 3. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 18 Juli 2019.

d. Qgis untuk melakukan proses plotting..

C. Tahapan Pengolahan Data

1) Subset

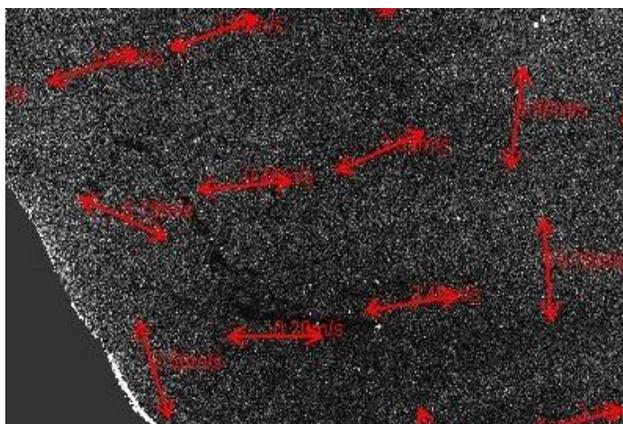
Fungsi *subset* pada software SNAP memiliki kegunaan untuk memotong citra sesuai dengan area yang diinginkan. Pemrosesan satu scene citra SENTINEL-1 secara utuh akan membutuhkan waktu yang cukup lama, kemampuan perangkat keras yang tinggi serta memori yang besar.

2) Radiometric Calibration

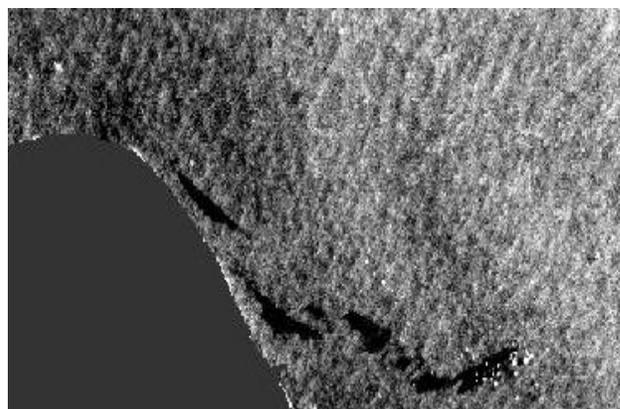
Tujuan dari *radiometric calibration* adalah untuk mendapatkan citra dengan nilai piksel yang secara langsung berhubungan atau berkaitan dengan nilai *backscatter*. Meskipun citra SAR yang belum terkalibrasi mencukupi untuk penggunaan kualitatif, namun citra SAR yang telah terkalibrasi sangat penting untuk penggunaan kuantitatif dari data SAR. Pada pemrosesan *radiometric calibration* ini, juga dilakukan *radiometric correction*, sehingga nilai piksel dari citra SAR benar-benar merepresentasikan *backscatter* dari pantulan permukaan. *Radiometric correction* juga dibutuhkan untuk membandingkan citra SAR dengan sensor yang berbeda, atau berasal dari sensor yang sama namun dengan waktu yang berbeda, atau antara mode yang berbeda.

3) Multilooking

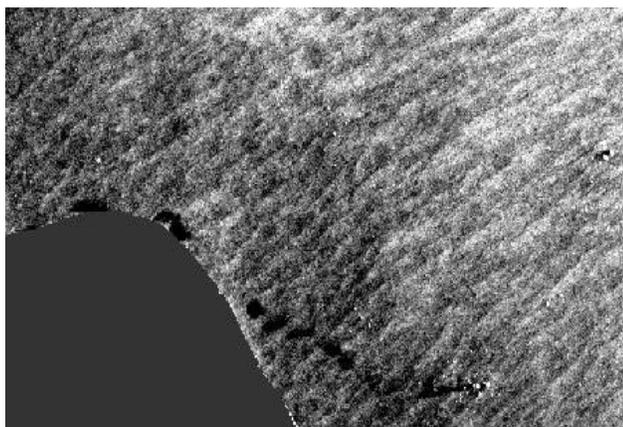
Dalam perekaman citra, SAR biasanya memiliki ukuran pixel pada arah azimuth dan range yang berbeda. Hal ini dikarenakan citra SAR ingin mendapatkan resolusi yang tinggi. Namun resolusi radiometrik dari citra SAR tersebut tidak



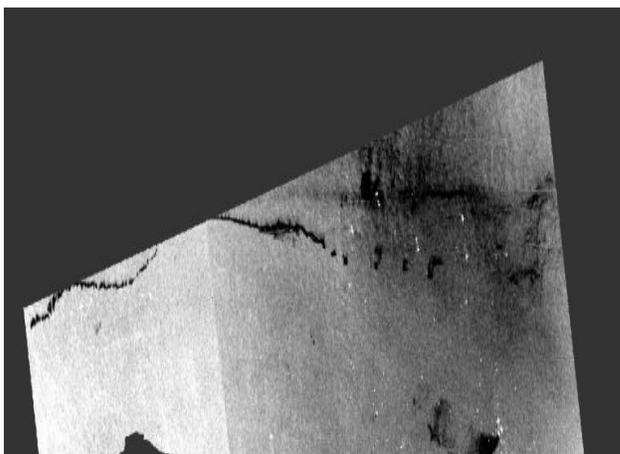
Gambar 4. Hasil estimasi kecepatan dan arah angin pada 18 Juli 2019.



Gambar 6. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 04 September 2019.



Gambar 5. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 23 Agustus 2019.



Gambar 7. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 10 Oktober 2019.

bagus. Oleh karena itu, terdapat proses *multilooking* yaitu menyamakan ukuran pixel pada arah azimuth dan *range* sehingga dapat berbentuk hampir persegi. Proses ini dapat meningkatkan resolusi radiometrik namun mengurangi tingkat resolusi spasialnya. Proses *multilooking* juga dapat digunakan untuk mengurangi efek *speckle*.

4) *Speckle Filtering*

Citra SAR memiliki suatu tekstur yang seperti pasir dan merica yang disebut *speckles*. *Speckles* tersebut menurunkan kualitas dari citra dan membuat interpretasi fitur-fitur pada citra menjadi lebih sulit. Berbagai metode dalam penyaringan spasial dapat digunakan untuk mengurangi *speckle*. Pada software SNAP, metode yang tersedia adalah *mean*, *median*, *frost*, *lee*, dan *gamma map*. Metode yang digunakan dalam *spatial filtering* bergantung pada tujuan penggunaan

Menurut M. Marghany and J. Van Genderen (2014) algoritma Lee dapat beroperasi dengan baik pada lapisan minyak yang linier. Menggunakan standar deviasi untuk menghitung nilai baru sebuah piksel yang berada di sekitar kotak lokal (kesatuan piksel yang digunakan untuk memfilter citra digital) [9]. Berbeda dengan filter penghalus berfrekuensi rendah, *adaptive filter* menjaga ketajaman dan detail citra ketika mereduksi *noise*.

5) *Geometric Correction*

Citra tersebut posisinya masih terbalik atau belum sesuai kondisi lapangan sehingga diperlukan koreksi geometrik. Dengan menerapkan tools *Ellipsoid Corection*.

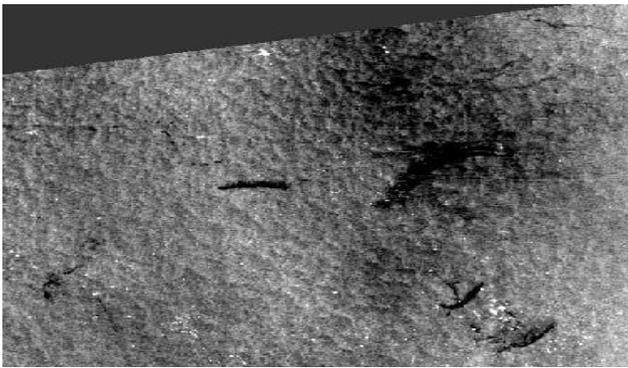
6) *Wind Estimation Field*

Backscatter pada citra radar juga turut dipengaruhi oleh angin yang membentuk *capillary/gravity waves*. Beberapa metode telah dikembangkan untuk menginversikan *backscatter* dalam nilai *Normalised Radar Cross Section (NRCS)* untuk memperoleh kecepatan angin. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah berdasarkan model geofisika CMOD5 yang dikembangkan oleh *European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF)*, dimana model inilah yang diterapkan pada SNAP [10].

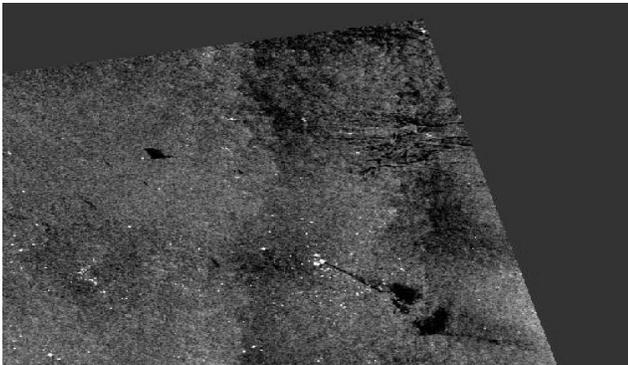
7) *Oil Spill Detection dengan Metode Adaptive Threshold* *Adaptive threshold dilakukan dengan menerapkan tools oil spill detection pada aplikasi SNAP.*

Secara umum, air yang telah dicemari oleh tumpahan minyak akan memiliki nilai piksel yang lebih rendah atau tampak lebih gelap. Berdasarkan grafik pada Gambar 2 kita dapat melihat bahwa piksel dengan tumpahan minyak memiliki nilai lebih rendah sekitar 3 hingga 4 dB daripada air jernih di sekitarnya. Oleh karena itu, ambang batas 4 dB atau sedikit lebih rendah dari 4 dB digunakan untuk mengekstraksi piksel dengan tumpahan minyak.

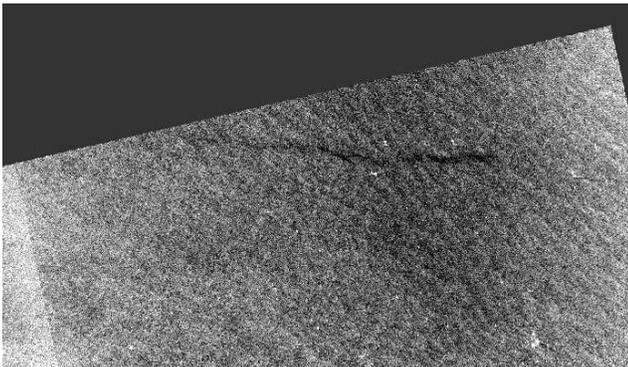
Menurut B. Fiscella, et.al (2000), klasifikasi area hitam sebagai tumpahan minyak ditentukan dengan nilai presisi dari pendeteksian lebih dari 70% [11]. Perhitungan nilai presisi didapatkan untuk mengetahui kesesuaian diantara beberapa data pengukuran yang sama yang dilakukan secara berulang.



Gambar 8. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 27 November 2019.



Gambar 9. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 09 Desember 2019.



Gambar 10. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 02 Januari 2020.

Adapun nilai presisi dapat dihitung dengan persamaan (3) dibawah ini:

$$p = \frac{\text{standar deviasi pendeteksian 1}}{\text{standar deviasi pendeteksian 2}} * 100\% \quad (3)$$

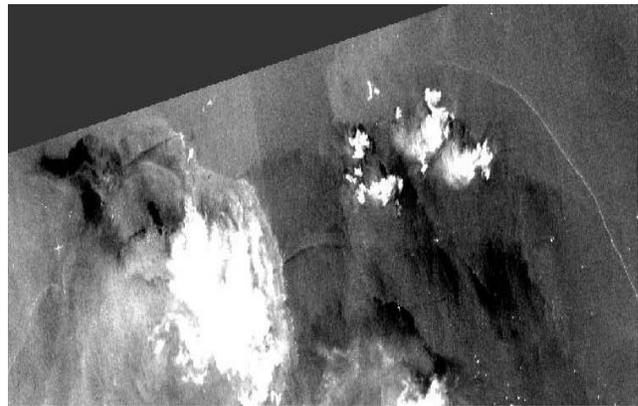
Dimana:

p= nilai presisi

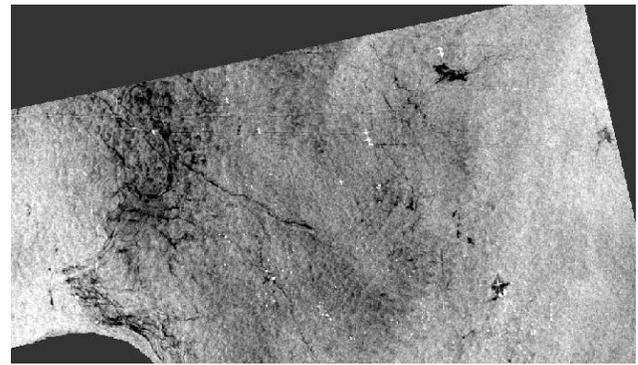
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil filtering

Dalam pendeteksian tumpahan minyak, sebelumnya diperlukan proses dengan *adaptive threshold*. Proses *filter* perlu dilakukan untuk mengurangi kesalahan dengan menjaga ketajaman dan detail citra. Pemilihan filter Lee dengan ukuran jendela pengamatan sebesar 5x5 diterapkan pada citra Sentinel-1A dengan tipe polarisasi VV ini. Dari hasil proses filter, didapatkan informasi statistik yang memuat nilai standar



Gambar 11. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 07 Februari 2020.



Gambar 12. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 26 Maret 2020.

deviasi citra. Adapun standar deviasi yang memiliki nilai semakin kecil maka semakin baik digunakan pada tahap pendeteksian tumpahan minyak. Hasil analisis fitur dapat dilihat pada table 2.

B. Hasil Pendeteksian Tumpahan Minyak

Hasil pendeteksian tumpahan minyak dan estimasi kecepatan dan arah angin pada 18 Juli 2019 dapat dilihat pada Gambar 3 dan gambar 4.

Dari hasil estimasi kecepatan angin tersebut, diketahui bahwa area gelap yang merupakan tumpahan minyak memiliki kecepatan angin antara 1,9 – 5,7 m/s. Rentang ini masih sesuai dengan rentang yang disebutkan untuk melakukan deteksi tumpahan minyak pada citra SAR, hanya saja batas bawah kecepatan angin kurang dari 2 m/s. Namun selisih 0.1 m/s tersebut masih dapat dianggap tidak terlalu berbeda secara signifikan. Dari perhitungan nilai presisi, didapatkan nilai presisi sebesar 86,56% sehingga pendeteksian dapat dikatakan sebagai tumpahan minyak.

Hasil estimasi kecepatan angin oleh SNAP tidak memberikan arah angin yang definitif atau dengan ambiguitas arah sebesar 180° sehingga arah angin direpresentasikan dengan panah dua arah. Arah angin secara definitif dapat ditentukan dengan data masukan tambahan seperti pengukuran in-situ [10].

Pada Bulan Agustus dengan rentang estimasi kecepatan angin sebesar 6,8 – 11,7 m/s yang masih sesuai dengan rentang yang disebutkan untuk melakukan deteksi tumpahan minyak pada citra SAR. Nilai presisi sebesar 97,81%, dan dapat dilihat pada gambar 5.

Dengan rentang 1,9 – 12,9 m/s estimasi kecepatan sebesar

Tabel 2.
Hasil analisis fitur

Bulan	Piksel	Standar Deviasi 1	Standar Deviasi 2
Juli 2019	46982	0,8245	0,9213
Agustus 2019	37723	0,7571	0,7740
September 2019	49201	0,8689	0,9318
Oktober 2019	192154	0,9760	0,9573
November 2019	195651	1,0773	1,0536
Desember 2019	54257	0,8133	0,7408
Januari 2020	57965	0,9207	0,9525
Februari 2020	1399619	1,5931	2,0887
Maret 2020	305324	0,8674	0,9695

Tabel 3.
Hasil Perhitungan Luas

Bulan	Luas (km ²)
Juli 2019	18,79
Agustus 2019	15,08
September 2019	19,68
Januari 2020	8,62

yang masih sesuai dengan rentang yang disebutkan untuk melakukan deteksi tumpahan minyak pada citra SAR. Nilai presisi pada Bulan September sebesar 93,24% sehingga pendeteksian dapat dikatakan sebagai tumpahan minyak, dan dapat dilihat pada Gambar 6.

Ditemukan area gelap dengan ukuran yang cukup besar dan memanjang pada pendeteksian bulan Oktober dengan estimasi kecepatan angin yang rendah berkisar 0,1 – 2,2 m/s, dapat dilihat pada gambar 7. Dugaan untuk area tersebut tidak mungkin merupakan tumpahan minyak karena jika benar demikian, hal tersebut sudah akan dilaporkan oleh media. Kemungkinan area hitam tersebut adalah dampak dari kerusakan ekosistem yang disebabkan oleh tumpahan minyak seperti kerusakan terumbu karang, alga dan ikan-ikan. Hasil pendeteksi tumpahan minyak pada 27 November dapat dilihat pada gambar 8.

Estimasi kecepatan angin berkisar antara 0,1- 1,7 m/s. Untuk memastikan bahwa area hitam hanyalah *look-alikes* berupa fitoplankton yang terekam pada pendeteksian Bulan Oktober, dilakukan pendeteksian pada bulan selanjutnya untuk melihat jika ada sisa area gelap yang terekam. Terbukti pada pendeteksian Bulan November terdapat sisa area hitam yang telah berpindah ke sebelah utara dan timur. Area hitam yang lebih kecil dimungkinkan sebagai ikan yang mati dan mengapung. Hasil pendeteksi tumpahan minyak pada 9 Desember 2019 dapat dilihat pada gambar 9.

Untuk data pendeteksian pada Bulan Desember, area hitam *look-alikes* masih berpindah. Estimasi kecepatan angin berkisar 0,1 – 2,2 m/s. Dengan estimasi kecepatan angin sebesar 4,9 – 8,2 m/s area gelap tersebut merupakan tumpahan minyak namun karena bentuknya yang memanjang membentuk garis lurus. Area tumpahan minyak tersebut diakibatkan karena aktivitas pelayaran kapal tanker. Dengan nilai presisi sebesar 96,66%. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 2 Januari 2020 dapat dilihat pada gambar 10. Gambar 11. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 07 Februari 2020

Citra radar dikenal sebagai citra yang dapat menembus awan dan bahkan dianggap tidak terpengaruh oleh cuaca. Namun,

pada pendeteksian Bulan Februari dapat dilihat bahwa terdapat area putih terang menyerupai awan dan area gelap yang berada disekitarnya. Area terang merupakan efek *scattering* oleh *hydrometeor* yang berada di atmosfer, sementara area gelap merupakan fenomena hujan pada permukaan laut [12].

Dari hasil estimasi kecepatan angin diketahui bahwa area gelap pada pendeteksian kecepatan angin berkisar 0,3 – 3,8 m/s. Permasalahan yang muncul adalah disebutkan bahwa surfaktan alami akan muncul pada area dengan kecepatan angin dibawah 5 m/s [13]. Pada kecepatan angin yang semakin tinggi, surfaktan alami akan mudah terdisintegrasi dan larut kedalam laut. Hal ini menimbulkan pertanyaan terkait keakuratan estimasi kecepatan angin dalam eksperimen ini. Estimasi kecepatan angin berdasarkan citra SAR merupakan pekerjaan yang kompleks. Sumber kesalahan estimasi biasanya berasal dari ketidakpastian arah angin, akurasi NRCS atau sigma nought yang diperoleh dari hasil kalibrasi atau *window size* yang didefinisikan oleh operator dalam proses perhitungan estimasi kecepatan angin [14]. Hasil pendeteksian tumpahan minyak pada 26 Maret 2020 dapat dilihat pada gambar 12.

Pada pendeteksian Bulan Maret dengan estimasi kecepatan angin sebesar 0,1 – 2,2 m/s dapat dilihat bahwa area gelap berpindah ke arah barat laut. Area hitam yang berupa *lookalikes* didefinisikan sebagai fitoplankton. Fitoplankton merupakan organisme autotrof yang mampu mensintesa senyawa organik yang kompleks melalui proses fotosintesis dengan memanfaatkan energi matahari dan pigmen klorofil. Fitoplankton berukuran mikroskopis yang hidup melayang di laut dan tak dapat terlihat oleh mata telanjang [15]. Pada umumnya fitoplankton laut terdiri dari algae terutama diatom, dinoflagellata dan beberapa flagellata. Fitoplankton melimpah di daerah eufotik (zona fotik) yaitu zona yang dimulai dari permukaan sampai kedalaman dimana masih ada intensitas cahaya matahari [16].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada C. Il Lee., et.al (2009) adanya tumpahan minyak pada perairan menyebabkan konsentrasi klorofil-a menurun 45-50% dari kondisi normal sebelum terjadi tumpahan minyak [17]. Hal tersebut menunjukkan bahwa tumpahan minyak berpengaruh negatif terhadap kepadatan fitoplankton. Pada dasarnya, sifat minyak yang mudah membentuk lapisan tipis di permukaan perairan dapat mengurangi penetrasi cahaya sehingga akan mengurangi intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan. Hal ini, akan mengganggu proses fotosintesis fitoplankton sehingga memungkinkan musnahnya populasi fitoplankton. Penelitian yang dilakukan pada J. González et al. (2009) menunjukkan bahwa kelimpahan fitoplankton dan konsentrasi klorofil pada perairan yang mengandung minyak akan menurun dalam jangka waktu yang cukup cepat [18].

Untuk menguatkan argumen terkait jenis *lookalikes* berupa fitoplankton, terumbu karang atau ikan yang mati diperlukannya analisis dari produk satelit optik dengan data oseanografi lainnya seperti SST dan konsentrasi klorofil-A sehingga bisa didefinisikan jenisnya.

C. Hasil Perhitungan Luas

Untuk mendapatkan luas dari tumpahan minyak, perlu

adanya perhitungan dari nilai piksel dengan resolusi spasial dari citra. Seperti yang diketahui, citra Sentinel-1A memiliki nilai resolusi spasial sebesar 10x10 m. Menurut T. Nurul (2017) Perhitungan luas tumpahan minyak ditunjukkan pada persamaan 4 [19].

$$L = \text{resolusi spasial} * \text{jumlah piksel} \quad (1)$$

Adapun hasil pendeteksian oil spill pada sampel wilayah memiliki nilai luas oil spill yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil pendeteksian luas menunjukkan bahwa pada Bulan pendeteksian Juli, Agustus dan September memiliki luas yang tidak jauh berbeda hal ini disebabkan karena telah terjadinya tumpahan minyak di sekitar daerah penelitian yang berada di dekat pesisir. Namun pada Bulan penelitian Januari ditunjukkan bahwa hasil luas lebih sedikit daripada bulan sebelumnya. Ini dikarenakan lokasi tumpahan minyak dari Bulan Januari terletak tidak pada area dari tumpahan minyak melainkan berada di bagian utara tepatnya berada di tengah lautan dan jauh dari pesisir dan lokasi tumpahan minyak. Dilihat dari bentuk tumpahannya, hasil pendeteksian bulan Januari 2020 diakibatkan karena terjadinya tumpahan minyak akibat dari pelayaran kapal sementara pada bulan Juli, Agustus dan September 2019 diakibatkan karena adanya kebocoran dari aktivitas pengeboran sumur dan minyak.

V. KESIMPULAN

Metode *threshold adaptif* dapat digunakan dalam pendeteksian tumpahan minyak hal tersebut didukung dengan adanya hasil pendeteksian tumpahan minyak yang menunjukkan bahwa data pada Bulan Juli, Agustus dan September memiliki nilai presisi lebih dari 70%. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa area hitam yang terdeteksi merupakan tumpahan minyak. Selain itu, tingkat kepercayaan untuk data pendeteksian tumpahan minyak pada Bulan Agustus dan September adalah tingkat kepercayaan tinggi karena data memiliki kecepatan angin sebesar 6-10 m/s. Sedangkan data pada Bulan Juli 2019 dan Januari 2020 memiliki tingkat kepercayaan menengah karena memiliki data kecepatan angin sebesar 3-6 m/s. Sementara data pada bulan pengamatan Oktober, November, Desember, Februari dan Maret 2019 *dark spot* yang terdeteksi tidak dapat dikatakan sebagai tumpahan minyak karena memiliki estimasi kecepatan angin yang rendah.

Luas tumpahan minyak di Perairan Pantura Jawa menunjukkan pada Bulan Juli 2019 sebesar 18,79 km², pada bulan Agustus 2019 sebesar 15,08 km², pada Bulan September 2019 sebesar 19,6804 km² dan pada Bulan Januari 2020 sebesar 8,62 km².

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih European Space

Agency yang telah menyediakan data Sentinel 1 dan Perangkat Lunak SNAP

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fingas and C. Brown, "Review of oil spill remote sensing," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 83, no. 1, pp. 9–23, 2014, doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.03.059.
- [2] A. Kusman, "Studi deformasi gunung api batur dengan menggunakan teknologi SAR interferometri (InSAR)," Institut Teknologi Bandung, 2008.
- [3] C. Brekke and A. H. S. Solberg, "Oil spill detection by satellite remote sensing," *Remote Sens. Environ.*, vol. 95, no. 1, pp. 1–13, 2005, doi: 10.1016/j.rse.2004.11.015.
- [4] J. C. Curlander, R. N. McDonough, G. Franceschetti, and R. Lanari, "EE355/GP265-Radar Remote Sensing: Fundamentals and Geophysical Application of Imaging Radar Systems Title: Synthetic Aperture Radar Title: Synthetic Aperture Radar Processing," *Lect. Mitchell Earth Sci. Room MW*, 1991.
- [5] J. A. Richards, *Erratum To: Remote Sensing with Imaging Radar. In: Remote Sensing with Imaging Radar. Signals and Communication Technology*. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [6] B. Jones, "A comparison of visual observations of surface oil with synthetic aperture radar imagery of the Sea empress oil spill," *Int. J. Remote Sensin.*, vol. 22, no. 9, pp. 1619–1638, 2001, doi: 10.1080/713861238.
- [7] K. N. Topouzelis, "Oil spill detection by SAR images: dark formation detection, feature extraction and classification algorithms," *Sensors*, vol. 8, no. 10, pp. 6642–6659, 2008, doi: 10.3390/s8106642.
- [8] A. Misra and R. Balaji, "Simple approaches to oil spill detection using sentinel application platform (snap)-ocean application tools and texture analysis: a comparative study," *J. Indian Soc. Remote Sens.*, vol. 45, no. 6, pp. 1065–1075, 2017, doi: 10.1007/s12524-016-0658-2.
- [9] M. Marghany and J. Van Genderen, "Entropy algorithm for automatic detection of oil spill from radarsat-2 SAR data," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 18, no. 1, pp. 6–11, 2014, doi: 10.1088/1755-1315/18/1/012051.
- [10] Prastyani Ratna, "Deteksi tumpahan minyak di selat makassar dengan penginderaan jauh sensor aktif dan pasif," Universitas Gadjah Mada, 2019.
- [11] B. Fiscella, A. Giancaspro, F. Nirchio, P. Pavese, and P. Trivero, "Oil spill detection using marine SAR images," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 21, no. 18, pp. 3561–3566, 2000, doi: 10.1080/014311600750037589.
- [12] W. Alpers and H. a Espedal, "Chapter 11 . Oils and Surfactants," *NOAA SAR Man.*, 2004.
- [13] J. C. Romano, "Sea-surface slick occurrence in the open sea (Mediterranean, Red Sea, Indian Ocean) in relation to wind speed," *Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 1996, doi: 10.1016/0967-0637(96)00024-6.
- [14] J. Horstmann, S. Lehner, W. Koch, and R. Tonboe, "Computation of wind vectors over the ocean using spaceborne synthetic aperture radar," *Johns Hopkins APL Tech. Dig. (Applied Phys. Lab.)*, vol. 21, no. 1, pp. 100–107, 2000.
- [15] A. Nontji, *Laut Nusantara*. Jakarta: Djambatan, 2007.
- [16] N. Anugerah, "Plankton laut."
- [17] C. Il Lee, M. C. Kim, and H. C. Kim, "Temporal variation of chlorophyll a concentration in the coastal waters affected by the hebei spirit oil spill in the west sea of korea," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 58, no. 4, pp. 496–502, 2009, doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.12.007.
- [18] J. González *et al.*, "Effect of a simulated oil spill on natural assemblages of marine phytoplankton enclosed in microcosms," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2009, doi: 10.1016/j.ecss.2009.04.001.
- [19] N. Tazaroh, "Pendeteksian daerah tumpahan minyak menggunakan data ENVISAT ASAR (Studi kasus: perairan kepulauan seribu)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017.