

DETEKSI TUMPAHAN MINYAK MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE THRESHOLD PADA CITRA SATELIT SENTINEL-1A DI PERAIRAN UTARA KARAWANG

David Situmorang¹, Jonson Lumban-Gaol¹, Timothy Efraim Hotasi², Efendy Tambunan³

^{1,2}Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Insitut Pertanian Bogor

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta 13630, Indonesia

Email: davidsitumorang65@gmail.com , jonsonlumban@yahoo.com, timothyeфраim35@gmail.com,
efendy.tambunan@uki.ac.id

Masuk: **29-03-2025**, revisi: **21-04-2025**, diterima untuk diterbitkan: **30-04-2025**

ABSTRAK

Perairan Utara Karawang merupakan salah satu perairan yang dilintasi Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) dimana kapal-kapal besar dan kapal tanker melintasi area perairan ini. Di bagian Utara Perairan Karawang juga terdapat kegiatan pengeboran minyak dan gas (migas) milik salah satu perusahaan minyak dan gas nasional, sehingga perairan ini beresiko yang tinggi terhadap bencana tumpahan minyak. Pada tanggal 22 April 2021, terjadi kebocoran pipa minyak bawah laut di sekitar area sumur minyak yang dioperasikan PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE ONWJ). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tumpahan minyak menggunakan data satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) Sentinel 1A. Lokasi penelitian meliputi Perairan Karawang yang pernah terjadi kasus tumpahan minyak. Metode yang digunakan untuk mendeteksi tumpahan minyak dari citra satelit Sentinel-1A adalah dengan *adaptive threshold*. Tahapan yang dilakukan untuk pengolahan citra satelit adalah koreksi citra seperti kalibrasi radiometrik, *multilooking*, *filtering* dan deteksi *dark spot* dengan menggunakan perangkat lunak *Sentinel Application Platform* (SNAP). Data arah dan kecepatan angin digunakan untuk melihat pergerakan area tumpahan minyak. Hasil kajian menunjukkan bahwa citra SAR Sentinel 1A memberikan informasi yang cukup baik untuk mendeteksi tumpahan minyak dan distribusinya di perairan Utara Karawang.

Kata Kunci: Perairan karawang; tumpahan minyak; SAR; sentinel 1A; *adaptive threshold*

ABSTRACT

The North Karawang Waters are part of the Indonesian Archipelagic Sea Lane (ALKI), where large ships and tankers frequently pass through. In the northern area of these waters, oil and gas drilling activities are also conducted by one of Indonesia's national oil and gas companies, making the region highly vulnerable to oil spill disasters. On April 22, 2021, an underwater oil pipeline leak occurred near an oil well operated by PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE ONWJ). This study aims to analyze the distribution of the oil spill using Sentinel-1A Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite data. The research area covers the Karawang Waters, where the oil spill incident took place. The method used for oil spill detection from Sentinel-1A imagery is the adaptive threshold approach. The image processing stages include radiometric calibration, multilooking, filtering, and dark spot detection, carried out using the Sentinel Application Platform (SNAP) software. Wind direction and speed data were also incorporated to assess the movement of the oil spill. The results show that Sentinel-1A SAR imagery provides sufficiently accurate information for detecting oil spills and mapping their distribution in the waters north of Karawang.

Keywords: Karawang waters; oil spill; SAR; sentinel 1A; *adaptive threshold*

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya aktivitas manusia di sekitar perairan menjadi ancaman terhadap ekosistem perairan. Salah satu ancaman yang sering terjadi di perairan Indonesia adalah ancaman bencana tumpahan minyak baik yang berasal dari transportasi laut maupun dari kegiatan penambangan minyak di perairan (Sulistiyono, 2013). Tumpahan minyak di perairan disamping menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan juga berdampak negatif terhadap kegiatan sosial ekonomi masyarakat (Ramadhan dkk., 2017). Untuk mengurangi dampak negatif akibat tumpahan minyak

di perairan ini perlu dilakukan pemantauan secara berkesinambungan. Pengamatan dan pemantauan tumpahan minyak di laut secara langsung ke lapangan membutuhkan biaya yang relatif besar dan waktu yang lama. Oleh karena itu, para peneliti telah mengembangkan metoda penginderaan jauh satelit *Synthetic Aperture radar* (SAR) untuk mendeteksi tumpahan minyak dan distribusinya di laut (J. Fan dkk., 2015; Y. Fan dkk., 2021; Fiscella dkk., 2000; Lumban-Gaol, 2010; Marghany & Genderen, 2014). Sensor satelit SAR mempunyai keunggulan dalam akuisisi data pada waktu siang ataupun malam hari dan padasegala kondisi cuaca. Selain itu, cakupan wilayah yang dideteksi dengan satelit cukup luas.

Berkembangannya teknologi sensor satelit SAR memberikan kontribusi yang besar terhadap pemanfaatan data SAR untuk pengamatan tumpahan minyak di perairan. Pada awalnya citra SAR cukup sulit didapatkan dan harganya relatif mahal, namun saat ini tersedia citra SAR Sentinel-1A yang gratis sehingga mendorong para peneliti untuk memanfaatkan datanya secara optimal (Chaturvedi dkk., 2020; Rajendran dkk., 2021). Selain itu metoda pengolahan dan analisis citra SAR untuk meningkatkan akurasi pendeteksian tumpahan minyak juga berkembang secara pesat (Conceição dkk., 2021; Li dkk., 2018; Zeng & Wang, 2020).

Perairan Karawang merupakan salah satu perairan yang dilintasi Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) dimana kapal-kapal besar dan kapal tanker melintasi area perairan ini, sehingga utara Perairan Karawang juga terdapat kegiatan pengeboran migas (minyak dan gas) sumur bor milik salah satu perusahaan minyak dan gas nasional, sehingga Perairan Karawang dan sekitarnya mempunyai resiko yang tinggi terhadap tumpahan minyak (Firmansyah dkk., 2021). Kebocoran pipa bawah air telah terjadi di tahun 2019 pada salah satu kilang minyak milik PT Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* (PHE ONWJ) dan menyebabkan pencemaran yang sangat berat di sekitar Perairan Utara Karawang (Maryanto & Nurohman, 2024; Sari dkk., 2021).

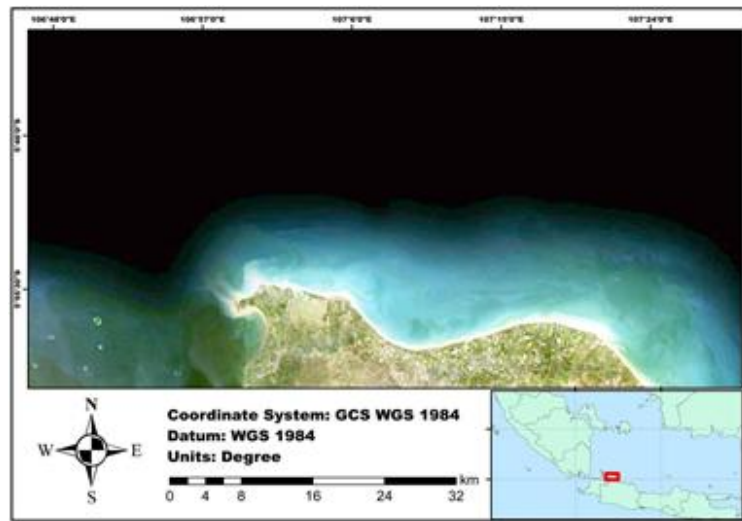
Pada tanggal 22 April 2021, terjadi lagi kebocoran pipa minyak bawah laut di sekitar sumur minyak yang dioperasikan PT. Pertamina PHE ONWJ (Firdaus, 2022). Kronologis informasi kasus tumpahan minyak ini ditemukannya *oil sheen* di sekitar pipa 16" MOL LIMA PRO – CP pada tanggal 15 April 2021 dan melakukan tindakan cepat dengan menutup aliran pipa dan melakukan aktivitas pembersihan sisa *oil sheen*. Pada tanggal 16 April 2021 dilanjutkan dengan pembersihan laut dan penutupan pipa 12" MOL LIMA COM-CP. Pada tanggal 17 April 2021 bahwa *oil sheen* berkurang dan kondisi laut cukup aman, dengan kondisi pipa tetap ditutup. Pada tanggal 18 April dilaporkan terdapat ceceran minyak kembali dan titik kebocoran ditemukan pada pipa 16" MMF-CP, kebocoran sudah berhenti dan dilakukan perbaikan pipa. Namun pada tanggal 21 April ceceran minyak mencapai pesisir. Pada tanggal 22 -25 April 2021 dilanjutkan proses pembersihan sisa-sisa ceceran minyak yang terdapat di *offshore*, *onshore*, *nearshore* dan menyelesaikan perbaikan kebocoran (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2021).

Pemantauan distribusi tumpahan minyak dari citra satelit SAR Sentinel-1 penting dilakukan sebagai informasi dasar untuk mengkaji dan mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan di lingkungan sekitarnya. Informasi ini juga penting untuk melakukan langkah-langkah pencegahan secara cepat jika dikemudian hari terjadi ancaman tumpahan minyak di wilayah yang sama akibat kebocoran pipa dari industri pertambangan dan juga kecelakaan kapal tanker.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di perairan Laut Jawa area Pertamina PHE-ONWJ pada koordinat 5°40'0"- 6°2'0" LS 106°50'0"-107°30'0" BT (Gambar 1). Data yang digunakan adalah data SAR Sentinel 1A dengan polarisasi VV dalam mode *descending* yang diperoleh dari NASA EARTH DATA (<https://search.asf.alaska.edu/#/>). Data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini

adalah data angin rata-rata harian pada tanggal 22 April 2021 dan 16 Mei 2021. Data angin harian pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut dengan resolusi spasial 25 km x 25 km diperoleh dari *National Ocean and Atmospheric Organization (NOAA) OceanWatch Central Pacific Node* (<https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/erddap/griddap/ccmp-daily-v2-1-NRT.graph>).

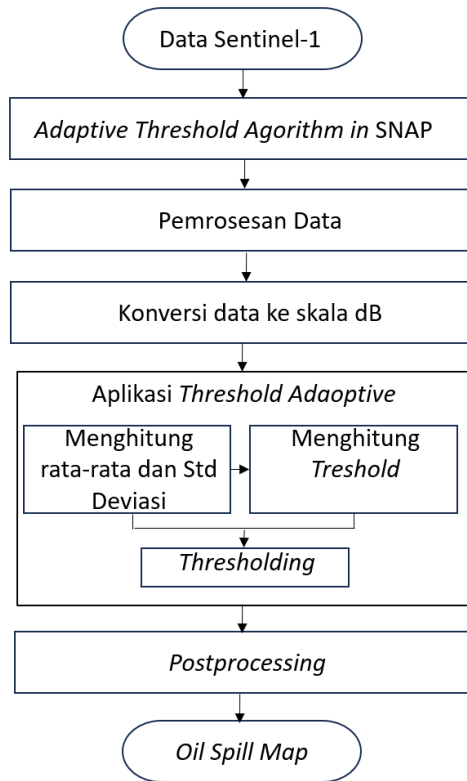


Gambar 1. Lokasi penelitian tumpahan minyak di Perairan Utara Karawang

Perangkat lunak yang digunakan adalah *Sentinel Application Platform (SNAP)* dan perangkat lunak sistem informasi geografis. Bahan yang digunakan adalah data SAR Sentinel-1A tipe level 1 *High resolution Ground Range Detected (GRDH)*, dengan lebar cakupan data adalah 250 km dengan ukuran piksel 10 meter yang diperoleh pada tanggal 22 April 2021 dan 16 Mei 2021, data *Digital Elevation Model (DEM)*. Pengolahan citra menggunakan metoda *adaptive threshold*, dengan melakukan segmentasi citra yang memisahkan antara objek dengan latar dalam suatu citra berdasarkan perbedaan tingkat kecerahannya atau gelap terangnya citra. Area pada citra yang cenderung gelap hingga gelap akan diklasifikasi dengan nilai intensitas 0, sedangkan area citra yang cenderung terang dan terang semakin terang nilai intensitas sebesar 1. Oleh karena itu, keluaran dari proses segmentasi dengan metode *thresholding* adalah berupa citra biner dengan nilai intensitas piksel sebesar 0 atau 1. Dasar metoda *Adaptive threshold* adalah dengan menghitung Rata-rata nilai hambur balik citra radar + standar deviasi yang digunakan dalam perangkat lunak SNAP. Diagram pengolahan data *oil spill* dari citra SAR tertera pada Gambar 2. Algoritma ini bekerja dengan mengidentifikasi area pada citra radar dari *oil spill* dengan nilai hamburan balik radar secara signifikan lebih rendah daripada lingkungan sekitar. Pendekatan ambang batas adaptif secara dinamis menyesuaikan ambang batas deteksi berdasarkan statistik citra lokal. Langkah-langkah penentuan *oil spill* pada citra radar adalah sebagai berikut:

- (1) Tahap pertama adalah menentukan ukuran moving window, misalnya, dengan ukuran piksel 5×5 atau 7×7. Untuk setiap piksel pusat, hitung rata-rata (μ) dan deviasi standar (σ) dari nilai piksel di jendela ini.
- (2) Tahap kedua adalah menghitung ambang batas lokal yang didefinisikan sebagai berikut:
$$T = \mu - k \cdot \sigma$$
dimana μ adalah rata-rata nilai *local window*; μ adalah rata-rata nilai lokal dan k adalah *tuning factor* (1.0 dan 2.0).
- (3) Membandingkan nilai pixel terhadap *threshold*, jika nilai pixel adalah lebih kecil dari T , menunjukkan tanda potensial *oil spill*.

$$\text{mask}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } I(x, y) < T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



Gambar 2. Digram pengolahan data citra SAR untuk peta distribusi *oil spill*

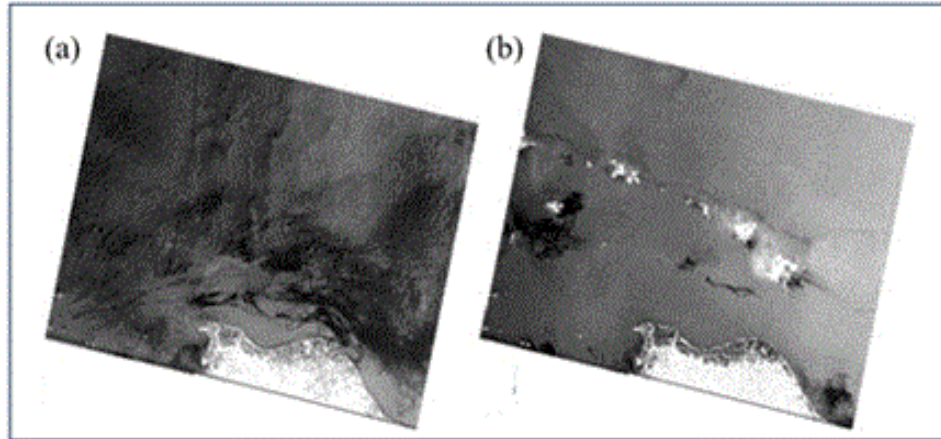
Tahap awal pengolahan citra dengan melakukankoreksi atau kalibrasi radiometrik dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai *back scattering* (hambur balik), dan koreksi geometrik dilakukan dengan algoritma *Range-Dopler Terrain Corection* dengan menggunakan referensi data DEM SRTM resolusi 30 m. Selanjutnya dilakukan proses *filtering* untukmenghilangkan *speckle noise* menggunakan *filter Lee*. Untuk membatasi wilayah kajian dilakukan *land masking*. Pada perangkat lunak SNAP tersedia toolbox yang bernama *oil spill detection*. Prinsip dasar *oil spill detection toolbox* ini adalah menyusun piksel gelap pada permukaan laut yang di duga sebagai tumpahan minyak dengan mengidentifikasi nilai, membedakan nilai dan mengelompokkan nilai-nilai piksel pada data citra SAR berdasarkan luasan *cluster* dan *threshold* yang dinput oleh pengguna padaperangkat lunak SNAP (Prastyani & Basith, 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Distribusi tumpahan minyak dari Citra

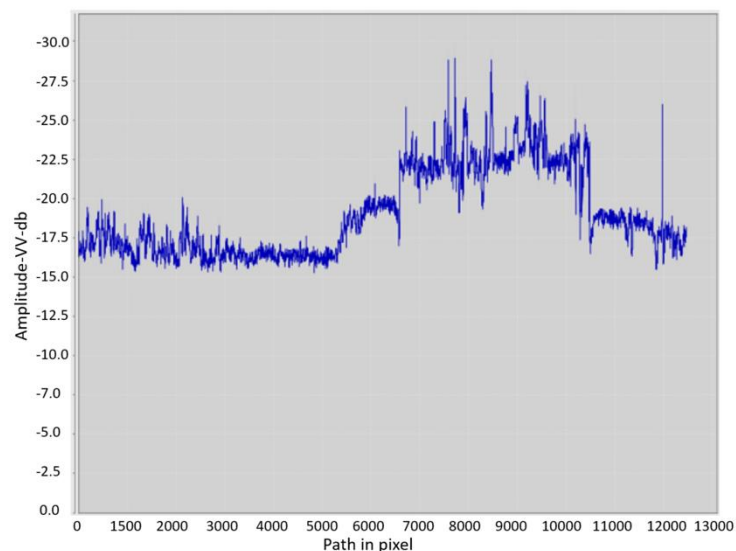
Citra satelit SAR Sentinel 1A di perairan saat terjadi tumpahan minyak pada bulan April hingga Mei 2021 tertera pada Gambar 3a dan 3b. Data citra yang terakam oleh sensor SAR berasal dari nilai hamburkan balik permukaanperairan yang terdiri dari gelombang yang disebut *cappilar waves* dan *gravity waves*. Dua jenis gelombang tersebut terbentuk karena adanya interaksi antara massa air dan angin di perairan. Pada citra terlihat beberapa area berwarna hitam (gelap) dan berwarna putih (cerah). Area yang berwarna putih permukaannya lebih kasar, sedangkan area yang

berwarna hitam permukaan lebih halus. Permukaan perairan dengan tumpahan minyak mempunyai permukaan yang lebih halus dibanding sekelilingnya sehingga nilai hambur baliknya lebih kecil, secara visual berwarna hitam atau gelap (Alpers dkk., 2017). Menurut Sulma, dkk. (2019), objek dengan permukaankasar seperti permukaan air laut tanpa tumpahan minyak memiliki hamburan balik yang kuat, sehingga menghasilkan warna cerah pada citra SAR. Pada Gambar 3a terlihat tumpahan minyak tersebar ke berbagai arah tepatnya pada saat kebocoran pipa pada bulan April 2022 namun pada citra bulan Mei citra terlihat lebih terang menunjukkan tumpahan minyak sudah mulai menghilang di wilayah yang sama.



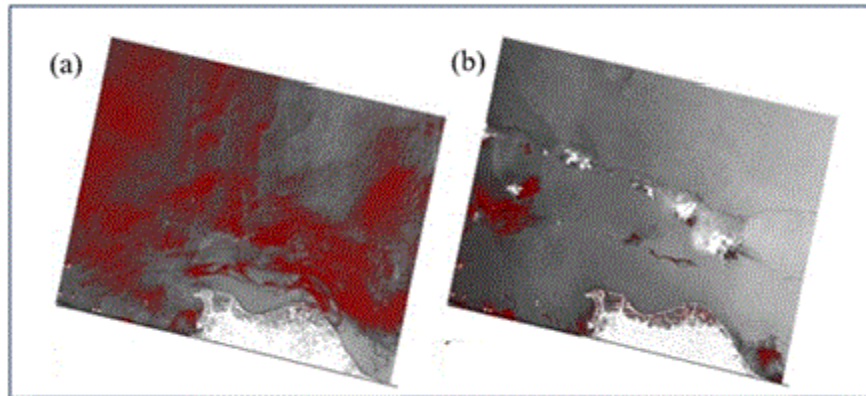
Gambar 3. Citra satelit SAR yang Sudah Terkoreksi Geometrik pada tanggal (a) 22 April 2021 dan (b) 16 Mei 2021

Pada Gambar 4 tertera grafik nilai hambur balik pada citra sateli SAR di wilayah dengan dan tanpa tumpahan minyak. Nilai hambur balik tumpahan minyak adalah antara 20.0 dB-27.5 dB, lebih kecil dibandingkan dengan hambur balik wilayah perairan yang tidak kena tumpahan minyak. Nilai hambur balik ambang batas dengan interval nilai 20.0 dB-27.5 dB digunakan sebagai dasar untuk memetakan distribusi spasial tumpahan minyak pada citra SAR. Nilai hambur balik *oil spill* ini mirip dengan hasil penelitian sebelumnya (Matahelemual dkk., 2020).



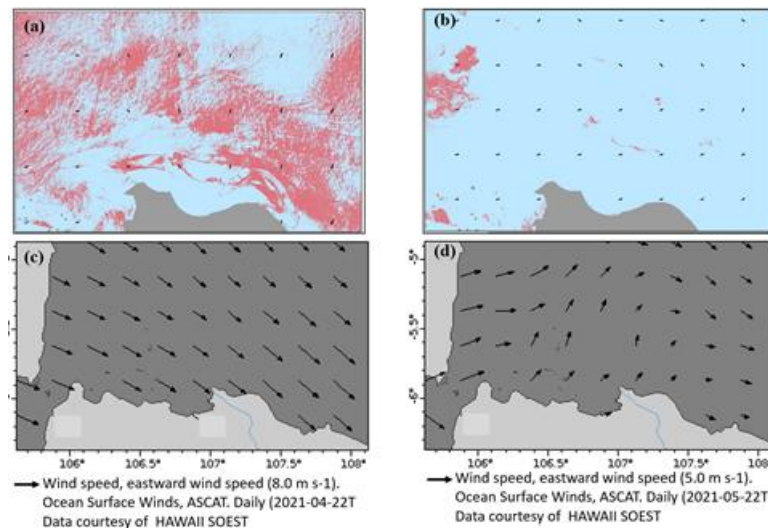
Gambar 4. Nilai Ambang Batas Nilai Hambur Balik Citra Satelit SAR untuk Perairan yang Tertutupi Tumpahan Minyak dan Tidak ada Tumpahan

Distribusi tumpahan minyak, dengan nilai ambang batas hambur balik 20.0 dB-27.5 dB tertera pada Gambar 5, warna merah adalah tumpahan minyak yang menunjukkan bahwa pada bulan April hampir semua wilayah pada citra tertutup minyak. Pada citra bulan Mei tutupan minyak sudah berkurang. Berkurangnya tutupan tumpahan minyak di wilayah tersebut karena terbawa arus ketempat lain akibat dorongan angin atau sebagian tenggelam ke dasar perairan.



Gambar 5. Hasil ekstraksi tumpahan minyak berdasarkan nilai ambang batas pada (a) tanggal 22 April 2021 dan (b) tanggal 16 Mei 2021.

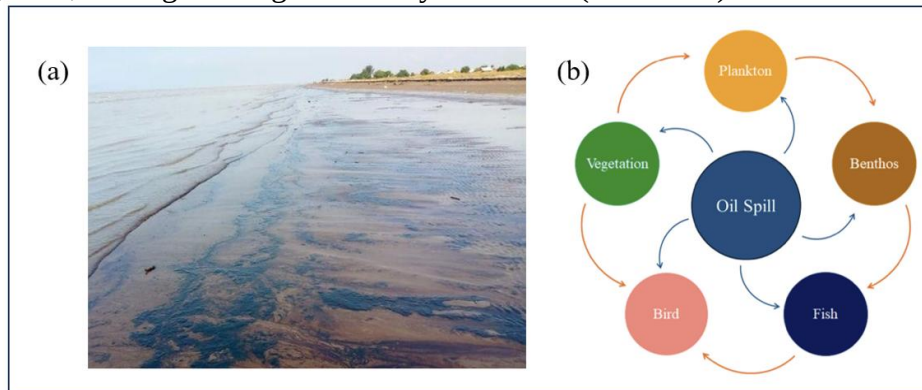
Pada citra bulan April terlihat tumpahan minyak menyebar ke segala arah (Gambar 6a), hal ini disebabkan angin yang bertiup pada saat terjadi tumpahan minyak cukup kencang yakni 10 m/detik (Gambar 6c), sedangkan pada bulan Mei kecepatan angin lebih kecil dari 5 m/detik (Gambar 6d). Pada bulan Mei 2021 terlihat tumpahan minyak sudah tinggal sedikit (Gambar 6b) karena telah dilakukan pembersihan dan juga diperkirakan tumpahan minyak terbawa arus ke wilayah lain.



Gambar 6. Distribusi tumpahan minyak tanggal (a) 22 bulan April 2021, (b) tanggal 22 Mei 2021, (c) arah dan kecepatan angin tanggal 22 April 2021 dan (d) tanggal 22 Mei 2021.

3.2 Dampak Tumpahan Minyak

Tumpahan minyak mengakibatkan Perairan Utara Karawang menjadi tercemar. Area tumpahan minyak tersebut berdampak negatif terhadap keadaan ekosistem biotik dan abiotik perairan. Menurut Kurniawan et al. (2024), tumpahan minyak akan mengganggu keberlangsungan ekosistem karena berdampak negatif terhadap biota yang ada di perairan mulai dari fitoplankton, zooplankton, ikan, burung dan vegetasi lainnya di Pantai (Gambar 7).



Gambar 7. Tumpahan minyak di Perairan Karawang (a) dan dampak ekologisnya (Kuriawan, et al. 2024)

Tingkat kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh tumpahan minyak bergantung pada beberapa faktor, termasuk jumlah minyak yang tumpah, jenis dan berat minyak, lokasi tumpahan minyak, waktu atau siklus berkembang biak dan migrasi musiman, serta cuaca di laut selama dan segera setelah tumpahan minyak. Tumpahan minyak di perairan juga akan menimbulkan masalah kesehatan makhluk hidup di area tumpahan minyak. Keberadaan minyak di perairan dalam jangka waktu pendek dapat membekukan organisme di laut, sedangkan efek jangka waktu panjang dapat menyebabkan kanker pada makhluk hidup yang terpapar. Oleh karena itu, jika terjadi tumpahan minyak maka harus segera dilakukan usaha membersihkan minyak seperti yang dilakukan masyarakat di lapang (Gambar 8).



Gambar 8. Partisipasi masyarakat membersihkan tumpahan minyak yang terjadi di perairan

Selain berdampak terhadap ekologi perairan, kondisi perekonomian masyarakat khususnya yang sepenuhnya menggantungkan hidupnya di area sekitar Perairan Utara Karawang juga terganggu. Hal tersebut mengakibatkan nelayan harus berhenti melaut karena ikan yang akan ditangkap sudah tercemar limbah tumpahan minyak. Pemerintah juga menghimbau masyarakat agar tidak mengonsumsi ikan hasil tangkapan karena dikhawatirkan berdampak buruk bagi kesehatan. Hal ini berdampak negatif terhadap perekonomian khususnya para nelayan.

4. KESIMPULAN

Adapun yang menjadi kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Distribusi tumpahan minyak di Pantai Utara Karawang pada bulan April 2022 dapat dipetakan dari citra satelit SAR Sentinel-1 berdasarkan nilai hambur balik citra dengan ambang batas 20.0-27.5 dB. Tumpahan minyak menyebar luas hingga ke pantai dipengaruhi arah dan kecepatan angin pada saat kejadian.
2. Data SAR multi temporal dapat memberikan informasi perubahan distribusi tumpahan minyak di permukaan perairan, sehingga data satelit SAR ini efektif digunakan untuk pemantauan distribusi tumpahan minyak sebagai dasar untuk melakukan upaya pengurangan dampak negatifnya.
3. Tumpahan minyak di perairan akan berdampak negatif terhadap ekosistem perairan dan pesisir serta masyarakat yang menggantungkan kehidupannya terhadap sumberdaya perairan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih untuk instansi NASA *EARTH DATA* yang telah menyediakan data SAR Sentinel 1A dan NOAA *CoastalWatch* yang telah menyediakan data angin satelit secara gratis sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

6. REFERENCES

- Alpers, W., Holt, B., & Zeng, K. (2017). Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. *Remote Sensing of Environment*, 201, 133–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.002>
- Chaturvedi, S. K., Banerjee, S., & Lele, S. (2020). An assessment of oil spill detection using Sentinel 1 SAR-C images. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(2), 116–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joes.2019.09.004>
- Conceição, M. R. A., de Mendonça, L. F. F., Lentini, C. A. D., da Cunha Lima, A. T., Lopes, J. M., de Vasconcelos, R. N., Gouveia, M. B., & Porsani, M. J. (2021). SAR Oil Spill Detection System through Random Forest Classifiers. *Remote Sensing*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/rs13112044>
- Fan, J., Zhang, F., Zhao, D., & Wang, J. (2015). Oil Spill Monitoring Based on SAR Remote Sensing Imagery. *Aquatic Procedia*, 3, 112–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.234>
- Fan, Y., Rui, X., Zhang, G., Yu, T., Xu, X., & Poslad, S. (2021). Feature Merged Network for Oil Spill Detection Using SAR Images. *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163174>
- Firdaus, W. R. (2022). Prinsip Pencemar Membayar: Menyoal Tanggung Jawab PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (ONWJ) atas Pencemaran Minyak di Perairan Karawang. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 8(1), 193–228. <https://doi.org/10.38011/jhli.v8i1.363>
- Firmansyah, M., Ismanto, A., Wulandari, S., Widiaratih, R., Rifai, A., & Atmodjo, W. (2021). Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Perairan Karawang, Jawa Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 10, 200–212. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma/article/view/31736>

- Fiscella, B., Giancaspro, A., Nirchio, F., Pavese, P., & Trivero, P. (2000). Oil spill detection using marine SAR images. *International Journal of Remote Sensing*, 21(18), 3561–3566. <https://doi.org/10.1080/014311600750037589>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2021, Juni 10). *Perairan Kabupaten Karawang Terdampak Tumpahan Minyak*. <https://kkp.go.id/djprl/p4k/artikel/31235>.
- Kurniawan, S. B., Imron, M. F., Roziqin, A., Pambudi, D. S. A., Alfanda, B. D., Ahmad, M. M., Khoirunnisa, F., Mahmudah, R. A., Barakwan, R. A., Jusoh, H. H. W., & Juahir, H. (2024). Cases of oil spills in the Indonesian coastal area: Ecological impacts, health risk assessment, and mitigation strategies. *Regional Studies in Marine Science*, 79, 103835. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103835>
- Li, Y., Zhang, Y., Yuan, Z., Guo, H., Pan, H., & Guo, J. (2018). Marine Oil Spill Detection Based on the Comprehensive Use of Polarimetric SAR Data. *Sustainability*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/su10124408>
- Lumban-Gaol, J. (2010). Distribusi Spasial Oil Spill Montara di Celah Timor dari Satelit dan Dampaknya Terhadap Sumberdaya Hayati Laut. *Prosiding Simposium Nasional Pengelolaan Pesisir, Laut dan Pulau-Pulau Kecil, FPIK-IPB dan HAPPI*.
- Marghany, M., & Genderen, J. van. (2014). Entropy algorithm for automatic detection of oil spill from radarsat-2 SAR data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18(1), 12051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012051>
- Maryanto, T. I., & Nurohman, R. (2024). Oil Spill Identification and Prediction of Their Distribution Based On Interpretation Sentinel-1A Imagery In Karawang Water West Java. *Berkala Perikanan Terubuk*, 52, 2240–2250. <https://cds.climate.copernicus.eu>.
- Matahelemual, G. J. S., Harto, A. B., & Susantoro, T. M. (2020). Oil Spill Detection Using Sentinel-1 Multitemporal Data in Offshore Karawang. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 43, 69–79.
- Prastyani, R., & Basith, A. (2018). Utilisation of Sentinel-1 SAR Imagery for Oil Spill Mapping: A Case Study of Balikpapan Bay Oil Spill. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.22146/jgise.38533>
- Rajendran, S., Vethamony, P., Sadooni, F. N., Al-Kuwari, H. A.-S., Al-Khayat, J. A., Seegobin, V. O., Govil, H., & Nasir, S. (2021). Detection of Wakashio oil spill off Mauritius using Sentinel-1 and 2 data: Capability of sensors, image transformation methods and mapping. *Environmental Pollution*, 274, 116618. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116618>
- Ramadhan, A., Suryawati, S. H., & Koeshendrajana, S. (2017). Pendekatan Valuasi Ekonomi Untuk Menghitung Dampak Ekonomi Akibat Tumpahan Minyak di Wilayah Pesisir dan Laut. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*.
- Sari, D. P., Mukhtasor, & Zikra, M. (2021). Mapping Oil Spill Using Sentinel-1: Study Case of Karawang Oil Spill. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 698(1), 12019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/698/1/012019>
- Sulistiyono, S. (2013). DAMPAK TUMPAHAN MINYAK (OIL SPILL) DI PERAIRAN LAUT PADA KEGIATAN INDUSTRI MIGAS DAN METODE PENANGGULANGANNYA. *Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 3(1). <https://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/55>
- Sulma, S., Insan Nur Rahmi, K., Febrianti, N., & Sitorus, J. (2019). Deteksi Tumpahan Minyak Menggunakan Metode Adaptive Threshold dan Analisis Tekstur pada Data SAR. *Majalah Ilmiah Globe*, 21, 45–52. <https://doi.org/10.24895/MIG.2019.25-1.925>
- Zeng, K., & Wang, Y. (2020). A Deep Convolutional Neural Network for Oil Spill Detection from Spaceborne SAR Images. *Remote Sensing*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/rs12061015>