

IDENTIFIKASI TUMPAHAN MINYAK DI LAUT AKIBAT *TANK CLEANING* MENGGUNAKAN METODE TIDAK TERSELIA

UNSUPERVISED METHOD FOR IDENTIFYING OIL SPILLS CAUSED BY *TANK CLEANING*

Rizky Faristyawan^{1,2}, Pramaditya Wicaksono², Sanjiwana Arjasakusuma², & Restu Wardani³

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Universitas Gadjah Mada

³Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

e-mail : rizk024@brin.go.id

Diterima tanggal: 26 Februari 2023; diterima setelah perbaikan: 17 April 2023; Disetujui tanggal: 30 April 2023

ABSTRAK

Tumpahan minyak di laut dapat terdeteksi oleh citra satelit dengan sensor *Synthetic Aperture Radar* (SAR) dan memungkinkan untuk diidentifikasi menggunakan berbagai macam metode baik terselia maupun tidak terselia. Salah satu metode terselia yang biasa digunakan adalah digitasi visual, namun metode ini sangat subjektif pada kapasitas *interpreter*. Untuk meminimalisasi subjektivitas *interpreter* maka metode tidak terselia perlu dikaji lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji algoritma tidak terselia untuk identifikasi tumpahan minyak yang diakibatkan oleh *tank cleaning*. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Sentinel-1 di wilayah perairan utara Pulau Bintan. Proses identifikasi dilakukan menggunakan metode tidak terselia, dan penelitian ini membandingkan dua algoritma dalam proses identifikasi, yaitu *K-Means* dan CLARA. Dapat disimpulkan bahwa dalam melakukan identifikasi perlu diketahui terlebih dahulu kondisi perairan terutama kecepatan angin dan arus laut sebelum memasuki tahap komputasi. Hasil identifikasi menggunakan kedua algoritma ini dibandingkan dengan data referensi dari LAPAN sebagai instansi yang melakukan diseminasi terkait tumpahan minyak di laut. Jika dibandingkan dengan data referensi tersebut, algoritma *K-Means* memiliki persentase hasil yang lebih baik dalam mendeteksi luasan tumpahan minyak, namun algoritma CLARA mampu memberikan hasil identifikasi dengan *look-alike* tumpahan minyak yang lebih sedikit sehingga kesalahan identifikasi menjadi minimal.

Kata kunci: Tumpahan minyak, metode tidak terselia, *K-Means*, CLARA.

ABSTRACT

Oil spills on the sea surface could be detected by satellite imagery captured by a synthetic aperture radar (SAR) sensor and could be identified through supervised or unsupervised methods. Visual interpretation is one of the supervised methods that is easy to use but has critical limitations such as the interpreter's capacity and subjectivity to determine oil spill. Oil spill identification using unsupervised methods should be studied further to minimize subjectivity from the interpreter. The main purpose of this research is to measure the capability of unsupervised method for identifying oil spills on the sea surface caused by tank cleaning. Sentinel-1 satellite imagery of northern Bintan waters is the primary data in this research. K-Means and CLARA are two unsupervised algorithms that are being compared in this study. It can be concluded that identifying oil spills using unsupervised method is highly related to wind speed, sea current, and sea wave height. Oil spills identification results using K-Means and CLARA will be compared to reference data from the Indonesia National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) as a formal agency which disseminating oil spill information. The final outcome from comparing the two algorithms in this study are K-Means has a better percentage in terms of area coverage, but CLARA has better performance in differentiating oil spill look-alikes.

Keywords: Oil spill, unsupervised method, *K-Means*, CLARA.

PENDAHULUAN

Sumber tumpahan minyak di laut dapat diakibatkan oleh berbagai hal seperti transportasi laut (pembuangan limbah minyak ilegal akibat pencucian dan pembersihan kapal, kecelakaan kapal), kebocoran instalasi pipa kilang minyak lepas pantai, serta sumber lain seperti industri dan pemukiman. Permasalahan tumpahan minyak akibat kebocoran dan kecelakaan biasanya menimbulkan volume tumpahan yang besar namun tumpahan minyak akibat kesengajaan sering terjadi walaupun dengan volume yang lebih kecil (GESAMP, 2007). Setiap tahun, terjadi permasalahan tumpahan minyak di Indonesia, terutama di wilayah perbatasan laut Indonesia dengan Singapura pada musim barat atau musim angin utara. Tumpahan minyak ini umumnya berasal dari limbah kapal yang melintas di jalur laut Indonesia-Singapura, persebaran limbah tumpahan minyak ini perlu dimitigasi secara cepat agar dampak yang ditimbulkan dapat terkontrol (Negara, 2020), dan pelaku pencemaran dapat diberikan tindakan penegakan hukum berdasarkan hasil deteksi dini tumpahan minyak yang dilakukan.

Sepanjang tahun 2020, dari hasil deteksi visual citra satelit penginderaan jauh baik dari sensor aktif maupun pasif, terdeteksi 81 jumlah kejadian tumpahan minyak di wilayah perairan perbatasan Bintan-Singapura (Pusfatja LAPAN, 2021) Hal ini menjadi masalah besar karena aktivitas ekonomi Pulau Bintan selain penambangan dan jual beli, sektor wisata dan turisme menjadi kontributor terbesar bagi pendapatan daerah terutama di wilayah utara Pulau Bintan (BPS, 2022). Ekosistem dan sumberdaya hayati beragam yang dimiliki perairan utara Pulau Bintan didominasi oleh mangrove dan terumbu karang, terdapat 16.000 hektar terumbu karang dengan 49 genus karang batu dan lebih dari 100 spesies koral (KKP, 2022). Dengan kekayaan alam yang dimiliki, dan potensi kerusakan akibat limbah tumpahan minyak, diperlukan identifikasi cepat dari limbah tumpahan minyak dan persiapan mitigasinya. Identifikasi tumpahan minyak dapat dilakukan dengan relatif cepat menggunakan data citra penginderaan jauh terutama data yang diakuisisi menggunakan sensor SAR.

Proses identifikasi tumpahan minyak dapat dilakukan secara terselia seperti yang dilakukan oleh Pusfatja LAPAN, namun metode tersebut sangat bergantung kepada subjektivitas *interpreter*, sehingga pemilahan area terdampak tumpahan minyak akan berbeda untuk setiap *interpreter*. Metode tidak terselia memiliki potensi yang bagus untuk diujicoba karena tidak

terdapat subjektivitas manusia dan hanya membedakan berdasar data *backscatter* dari setiap piksel citra. Dalam penelitian ini, algoritma tidak terselia yang akan digunakan adalah K-Means (Steinley & Brusco, 2007) dan CLARA (Rousseeuw & Kaufman, 1990). K-Means mengelompokkan berdasar nilai rata-rata setiap piksel yang sifatnya *centroid*. CLARA mengelompokkan berdasar medoid yang menggambarkan minimal *dissimilarity* di tiap piksel. Kedua algoritma ini memiliki kemiripan fungsi, yaitu membedakan objek berdasarkan kluster. Penelitian ini membandingkan kemampuan kedua algoritma untuk mengidentifikasi tumpahan minyak akibat limbah dari kapal yang melakukan kegiatan *tank cleaning/lightering*.

BAHAN DAN METODE

Lokasi studi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 berada di perairan laut sebelah utara Pulau Bintan yang merupakan bagian dari Laut Natuna. Perairan ini memiliki karakteristik pasang surut campuran dominan semidiurnal, yaitu pasang surut yang memiliki dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari, dengan kecepatan arus 42,8 cm/s dengan tenggara-barat daya sebagai arah arus dominan pada musim barat di akhir bulan November sampai dengan Maret, dan kecepatan arus 35,4 cm/s dengan barat laut sebagai arah arus dominan pada musim timur di bulan Juni sampai dengan September (Puspitasari *et al.*, 2020).

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, data primer yang digunakan adalah data citra satelit Sentinel-1 GRD (*Ground Range Detected*) yang diakuisisi tanggal 14 Februari dan 21 Maret tahun 2020 pada lokasi studi. Data sekunder sebagai pendukung yang digunakan yaitu data meteorologi-oseanografi dan data referensi daerah terdampak tumpahan minyak. Data meteorologi-oseanografi meliputi kecepatan angin, kecepatan arus, dan tinggi gelombang yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Data tersebut diperlukan sebelum melakukan proses identifikasi tumpahan minyak. Dalam memilah area terdampak tumpahan minyak dan wilayah tidak terdampak menggunakan citra satelit, data meteorologi-oseanografi merupakan aspek-aspek fisis yang menentukan kenampakan tumpahan minyak pada citra. Angin dengan kecepatan 3-12 m/s merupakan rentang kecepatan optimal agar tumpahan minyak dapat terdeteksi dengan jelas, karena pada kecepatan di bawah 3 m/s terdapat kemiripan antara tumpahan minyak dan gelombang pendek yang diakibatkan oleh angin pada kecepatan di atas 12 m/s proses adukan



Gambar1. Peta Lokasi Penelitian.
 Table 1. Location of Research.

terlalu kuat sehingga tumpahan minyak yang ada di permukaan menjadi sulit terdeteksi (Chaturvedi *et al.*, 2019). Data referensi sebagai pembandingan diperoleh dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada tahun 2020. Data ini berisi *shapefile* batas area tumpahan minyak yang diidentifikasi secara visual oleh *interpreter*.

Pengolahan data penelitian ini digunakan alat yaitu *Software* SNAP dan R-Studio. SNAP digunakan dalam proses *pre-processing* citra satelit. R-Studio digunakan dalam proses komputasi untuk memilah area terdampak dan tidak terdampak tumpahan minyak.

Metode Penelitian

Metode penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu analisa aspek meteorologi-oseanografi di wilayah terdampak tumpahan minyak dan identifikasi tumpahan minyak menggunakan algoritma K-Means dan CLARA yang diterapkan pada citra satelit Sentinel-1.

Identifikasi tumpahan minyak di laut dilakukan dengan mempertimbangkan faktor fisis atmosfer perairan seperti kecepatan angin, kecepatan arus laut, dan tinggi gelombang. Kecepatan angin dapat mempengaruhi hasil identifikasi tumpahan minyak menggunakan citra Sentinel-1, perairan tenang dengan kecepatan angin yang rendah dapat meningkatkan kemiripan objek (*look-alike*) antara lapisan minyak dan perairan di

sekitarnya (Sheta *et al.*, 2012; Al-Ruzouq *et al.*, 2020). Kecepatan dan arah arus di permukaan laut umumnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan arah angin permukaan, penyebaran unsur-unsur lapisan minyak dipercepat oleh dinamika arus (Siagian *et al.*, 2016). Lokasi perairan Bintan bagian timur yang berdekatan dengan Laut Natuna memiliki kerentanan tercemar yang cukup tinggi apabila terjadi tumpahan minyak akibat pola arus bolak-balik dari Laut Natuna (Mujahidawati *et al.*, 2018). Selain mempengaruhi kecepatan arus, angin juga mempengaruhi tinggi gelombang di suatu perairan. Tiupan angin menimbulkan *ripple* gelombang yang merupakan kekasaran muka laut yang dapat membedakan permukaan air dan lapisan minyak pada citra satelit Sentinel-1. Adukan gelombang laut juga mempengaruhi tingkat pencampuran antara air laut dan minyak yang dapat mempengaruhi proses identifikasi tumpahan minyak.

Untuk melakukan proses identifikasi menggunakan algoritma K-Means dan CLARA, sebelumnya perlu dilakukan tahap *pre-processing* citra Sentinel-1 yang digunakan. Langkah *pre-processing* yang dilakukan dengan modifikasi mengacu pada Naz *et al.* (2021) yang telah memanfaatkan data Sentinel-1 untuk mengidentifikasi tumpahan minyak. Langkah tersebut antara lain kalibrasi radiometrik. Koreksi geometrik, *speckle filtering*, dan pemotongan citra. Hasil pengolahan data citra Sentinel-1 menggunakan

kedua algoritma ini dibandingkan dengan data *shapefile* referensi untuk menghitung perbedaan luasan tumpahan minyak yang terdeteksi dan juga persentase kesalahan yang timbul akibat *look-alike*.

Kalibrasi radiometrik yang diterapkan pada citra Sentinel-1 adalah sigma *nought* yang digunakan untuk menginterpretasikan hamburan, pantulan, dan fisis permukaan. Dengan melakukan kalibrasi sigma *nought*, intensitas *backscatter* citra dapat dibandingkan dengan citra SAR lainnya meski berasal dari sensor atau tanggal perekaman yang berbeda. Kalibrasi radiometrik dilakukan sebelum penerapan algoritma tidak terselia pada citra yang memanfaatkan intensitas *backscatter* citra sebagai tolak ukur klasifikasi secara kuantitatif.

Citra Sentinel-1 GRD sudah mempunyai koordinat geografis, namun masih terdapat distorsi topografis akibat *terrain/* medan di permukaan bumi sehingga diperlukan koreksi geometrik sebelum melakukan pemanfaatan citra. Koreksi geometrik yang dilakukan adalah *range doppler terrain correction* yang menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*) dan metadata lintasan orbit satelit untuk melakukan koreksi terhadap distorsi topografis seperti *foreshortening*, *layover*, atau *shadowing* sehingga dapat dihasilkan lokasi geografis yang tepat untuk setiap piksel dalam citra.

Speckle filtering diperlukan karena objek yang ada dalam satu piksel di permukaan akan memantulkan vektor sinyal dengan amplitudo yang konstan namun memiliki fase yang berbeda-beda (Amin *et al.*, 2020). Interferensi yang konstruktif maupun destruktif dalam tiap piksel inilah yang menyebabkan timbulnya *speckle*. Dengan melakukan *noise filtering*, diharapkan *noise* pada citra akan berkurang namun nilai rata-rata dan tekstur di wilayah yang homogen tetap terjaga dengan baik.

Data referensi lokasi tumpahan minyak dapat digunakan untuk memilih lokasi pemotongan citra yang sesuai, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk proses komputasi percobaan identifikasi tumpahan minyak menggunakan algoritma K-Means dan CLARA menjadi lebih sedikit.

Algoritma tidak terselia K-Means termasuk ke dalam analisis kluster yang dapat digunakan untuk mengelompokkan data berdasar variabel atau fitur. Algoritma K-Means membagi data menjadi beberapa kelas dengan jumlah K dengan

memaksimalkan kesamaan karakteristik dalam kluster dan memaksimalkan perbedaan antar kluster (Xu *et al.*, 2021). Algoritma ini melakukan iterasi dan mengelompokkan data berdasar jarak antar data terhadap setiap titik *centroid* dari suatu kluster (Capor-Hrosik *et al.*, 2019).

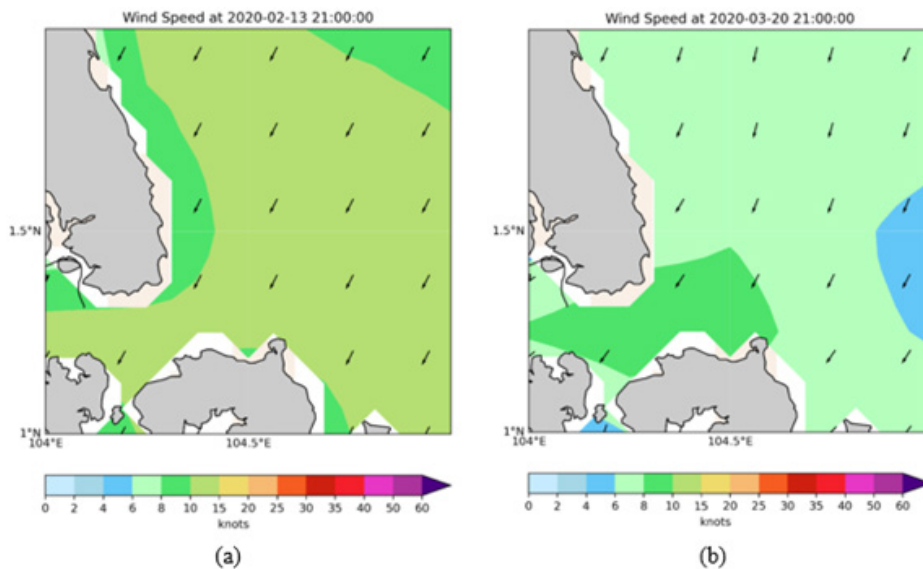
Algoritma CLARA (*Clustering Large Applications*) merupakan bagian dari algoritma K-Medoid yang mirip dengan K-Means, namun terdapat perbedaan pada pemilihan data sebagai pusatnya, jika K-Means memilih pusat berdasar jarak untuk membagi jumlah kluster, CLARA memilih pusat kluster berdasarkan titik dengan tingkat perbedaan yang paling kecil di dalam suatu kluster, sehingga CLARA dapat mengatasi kelemahan K-Means yang kurang optimal jika dijalankan pada data dengan banyak *noise/outlier*. Oleh karena itu, CLARA memungkinkan untuk menghasilkan kluster dengan *noise* paling sedikit dalam klustering secara spasial (Setiyono & Mukhlash, 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi meteorologi-oseanografi

Berdasarkan Gambar 2a, angin di wilayah utara perairan Pulau Bintan pada 14 Februari dan 21 Maret 2020 secara umum bertiup dari arah utara-timur laut. Pada 14 Februari 2020, kecepatan angin bervariasi antara 8 – 15 knots atau setara dengan 4 – 7,5 ms⁻¹. Pada titik lokasi terdeteksinya tumpahan minyak berdasar referensi, angin memiliki kecepatan sebesar 5 – 7,5 ms⁻¹. Pada tanggal 21 Maret 2020 (Gambar 2b), kecepatan angin di lokasi terdampak tumpahan minyak berkisar 4 – 5 ms⁻¹.

Arus laut pada kedua tanggal percobaan dapat dilihat pada Gambar 3. Pola arus di perairan utara Pulau Bintan saat terdeteksinya pencemaran limbah tumpahan minyak akibat *tank cleaning* pada tanggal 14 Februari 2020 (Gambar 3a) relatif mengikuti pola angin permukaan. Laut Natuna yang merupakan perairan terbuka menyebabkan penjalaran energi pembangkit dari angin tidak terganggu oleh topografi daratan, sehingga kecepatan arus relatif seragam dengan pengurangan kecepatan di sekitar wilayah yang dekat dengan daratan. Kecepatan arus pada saat perekaman citra bervariasi antara 10 – 45 cms⁻¹ dengan arah arus ke selatan di area timur Singapura-Pulau Bintan, dan berbelok ke arah barat saat memasuki Selat Singapura. Kecepatan dan arah arus spesifik di lokasi terdampak tumpahan minyak sebesar 10 – 20 cms⁻¹ ke arah selatan – barat daya. Terlihat pada Gambar 3b, pola arus pada



Gambar 2. Kecepatan dan arah angin di lokasi penelitian.
 Table 2. Wind speed and direction at the research location.

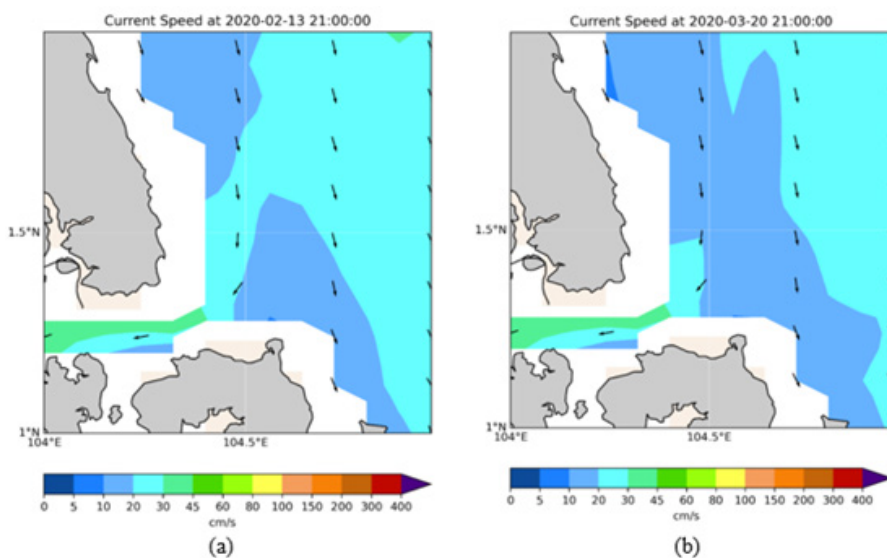
21 Maret 2020 juga tidak memiliki perbedaan berarti karena belum terjadi perbedaan pola angin permukaan jika dibandingkan dengan 14 Februari 2020. Perbedaan hanya terdapat pada kecepatan arus yang lebih rendah karena kecepatan angin sebagai gaya pembangkit yang juga lebih rendah. Kecepatan dan arah arus di lokasi terdeteksinya tumpahan minyak sebesar $10 - 20 \text{ cm s}^{-1}$ dengan arah selatan – barat daya.

Terlihat pada Gambar 4a, kondisi gelombang di wilayah perairan utara Bintan pada 14 Februari 2020 mengikuti arah angin permukaan dengan tinggi gelombang berkisar antara $0,5 - 1,25 \text{ m}$. Tinggi gelombang di lokasi terdeteksinya tumpahan minyak sebesar 1,25 meter dikarenakan pengaruh tiupan angin dari perairan

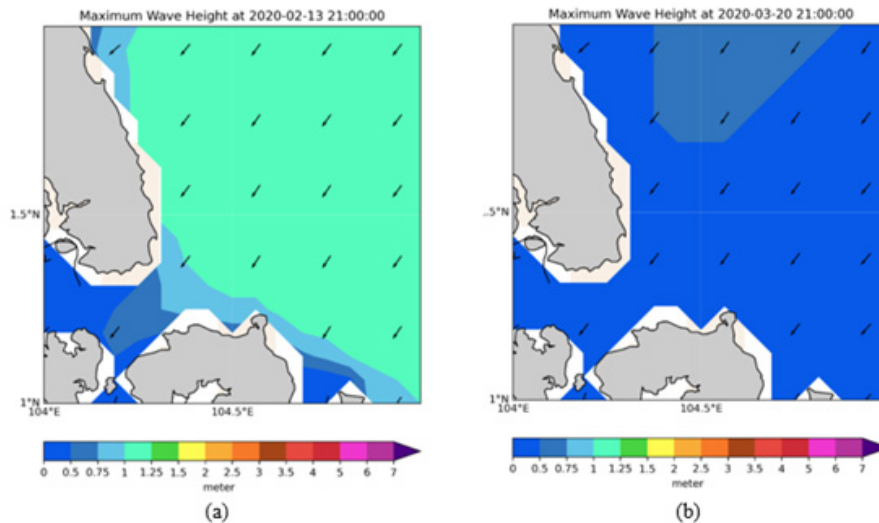
terbuka di sekitarnya yang masih cukup dominan di waktu ini. Terlihat pada Gambar 4b, tinggi gelombang yang lebih rendah terjadi pada saat terdeteksinya tumpahan minyak akibat *tank cleaning* 21 Maret 2020. Gelombang yang lebih rendah ini diakibatkan oleh kecepatan tiupan angin yang lebih kecil sekitar 3 ms^{-1} jika dibandingkan dengan data 14 Februari 2020.

Identifikasi Tumpahan Minyak

Pada penelitian ini, identifikasi tumpahan minyak di laut dilakukan dengan metode tidak terselia. Dua algoritma digunakan secara terpisah di dalam metode ini, yaitu K-Means dan CLARA. Algoritma K-Means dapat mendiferensiasi antara tumpahan minyak, air laut, dan juga kapal dengan cukup baik. K-Means sangat mampu



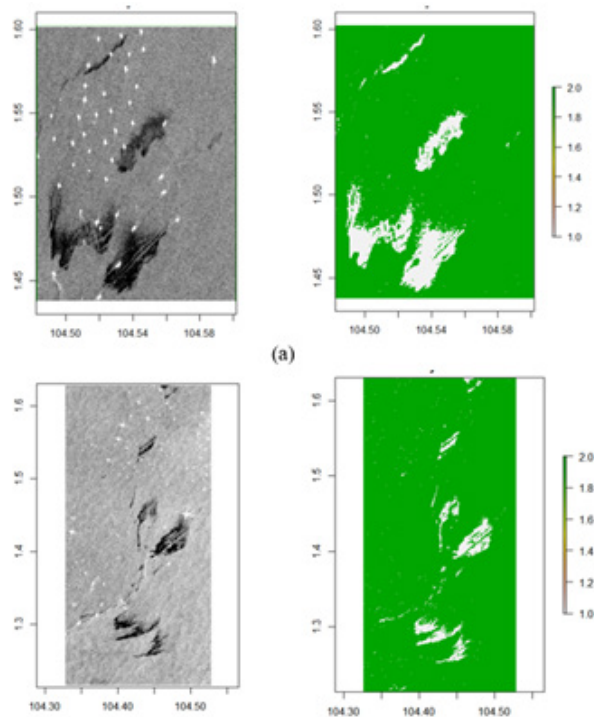
Gambar 3. Kecepatan dan arah arus di lokasi penelitian.
 Table 3. Current speed and direction at the research location.



Gambar 4. Tinggi gelombang di Lokasi Penelitian.
Gambar 4. Wave height at the Research Location.

untuk membedakan antara area yang tertutup tumpahan minyak yang cukup luas dengan air laut di sekitarnya, namun, terdapat cukup banyak *look-alike* atau piksel-piksel kecil yang terklasifikasikan sebagai tumpahan minyak karena memiliki intensitas desibel yang mirip dengan intensitas limbah tumpahan minyak meskipun posisinya terpisah dari area yang terlihat memiliki tutupan lapisan minyak. K-Means yang memanfaatkan jarak antar data pada citra yang didefinisikan sebagai perbedaan intensitas di setiap piksel untuk melakukan klastering memiliki kelemahan di beberapa aspek jika

dilihat pada gambar tersebut. Salah satu kelemahan adalah teridentifikasinya tumpahan minyak di antara kapal-kapal yang sedang diam menunggu waktu sandar, hal ini dapat diakibatkan oleh terganggunya aspek fisis meteorologi dan oseanografi akibat keberadaan kapal, sehingga kecepatan angin di area tersebut menjadi lebih lambat dan dapat menyebabkan piksel pada citra yang diperoleh memiliki tekstur yang lebih halus dengan rona yang lebih gelap, sehingga diklasifikasikan oleh K-Means sebagai minyak karena intensitas piksel yang serupa dengan wilayah yang benar-benar halus dan



Gambar 5. Hasil identifikasi algoritma K-Means.
Gambar 5. The results of the identification of the K-Means algorithm.

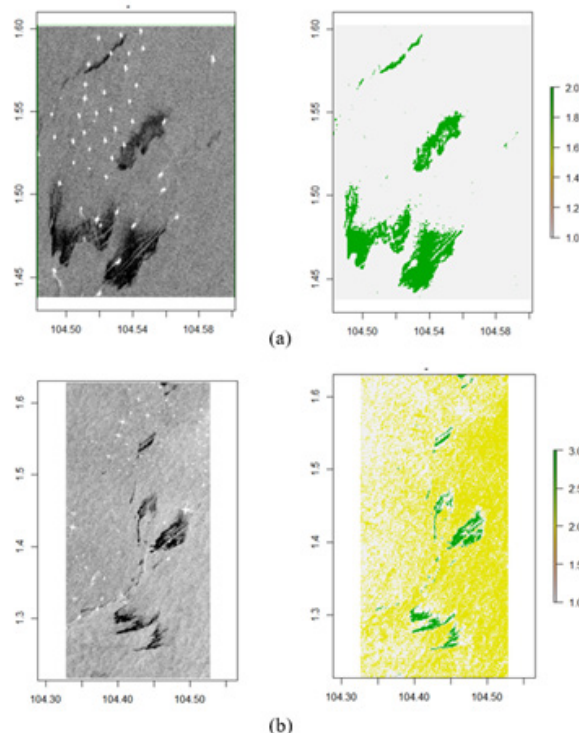
gelap karena keberadaan lapisan minyak di permukaan laut. Hasil analisa sementara pada hasil klasifikasi citra 14 Februari 2020 (Gambar 5a) diperkuat oleh percobaan penerapan algoritma K-Means pada citra 21 Maret 2020 seperti yang terlihat pada Gambar 5b. Terlihat cukup banyak area yang terdeteksi sebagai *look-alike* di sekitar kapal yang sedang *waiting time* sebelum memasuki Selat Singapura. Selain itu, cukup rendahnya kecepatan angin permukaan dan relatif tenangya arus laut pada saat citra tersebut direkam menyebabkan timbulnya piksel-piksel yang memiliki rentang intensitas serupa dengan klaster tumpahan minyak, sehingga *look-alike* yang timbul bukan hanya akibat keberadaan kapal yang berlabuh, namun juga karena kondisi fisis perairan saat perekaman citra.

Seperti terlihat pada Gambar 6a, algoritma CLARA juga dapat mendiferensiasi antara tumpahan minyak, air laut, dan juga kapal dengan cukup baik. Tidak terdapat perbedaan berarti pada hasil klasifikasi citra 14 Februari 2020 jika dibandingkan dengan hasil klasifikasi algoritma K-Means, area perairan yang jelas terlihat memiliki kumpulan tutupan tumpahan minyak terklasifikasi dengan baik. Sedikit perbedaan jika dilihat dengan lebih teliti adalah lebih sedikitnya misklasifikasi akibat kondisi fisis perairan karena keberadaan kapal yang sedang berlabuh. Namun, dari sedikit perbedaan ini belum tampak garis kesimpulan yang dapat diambil di antara kedua algoritma ini.

Hal yang berbeda terlihat pada Gambar 6b, hasil klasifikasi menggunakan algoritma CLARA pada 21 Maret 2020. Dengan kondisi kecepatan angin permukaan dan kecepatan arus yang lebih rendah, dan ditambah dengan jumlah kapal berlabuh yang lebih banyak jika dibandingkan dengan kondisi 14 Februari 2020, terlihat algoritma CLARA mampu memberikan hasil klasifikasi yang jauh lebih rapi dan memiliki jauh lebih sedikit misklasifikasi pada area padat kapal dan area yang memiliki tekstur halus dengan rona gelap yang mungkin dapat teridentifikasi sebagai *look-alike* lapisan tumpahan minyak di permukaan air. Namun, hasil ini baru dapat diperoleh setelah menerapkan tiga pusat kluster di dalam komputasi.

Uji Kesesuaian Hasil Identifikasi Tumpahan Minyak

Kejadian tumpahan minyak di laut merupakan fenomena yang tidak dapat diprediksi waktu terjadinya, dan sangat sulit untuk diverifikasi secara langsung di lapangan akibat faktor fisis perairan yang sangat dinamis. Oleh karena itu, di dalam penelitian ini digunakan data referensi dari instansi pemerintah berupa *shapefile* (shp) hasil identifikasi secara visual oleh para ahli di bidang tumpahan minyak dari LAPAN. Data tersebut dibandingkan dengan shp hasil identifikasi tumpahan minyak menggunakan metode tidak terselia yang dilaksanakan dalam penelitian ini menggunakan *intersection over union*. Tabel 1



Gambar 6. Hasil identifikasi algoritma CLARA.
 Gambar 6. The results of the identification of the CLARA algorithm.

menunjukkan hasil percobaan secara kuantitatif.

Pertimbangan subjektif saat proses digitasi area terdampak tumpahan minyak tentu berbeda dengan objektivitas yang dimiliki oleh algoritma yang digunakan dalam metode tidak terselia. Pertimbangan-pertimbangan seperti kemungkinan dispersi minyak, lapisan minyak yang terlalu tipis sehingga tidak terlihat pada citra, serta pertimbangan lain yang dimiliki *interpreter* menjadi alasan munculnya tingkat akurasi tersebut, karena *interpreter* cenderung melakukan digitasi yang berjarak dengan tepi tumpahan minyak agar memfasilitasi pertimbangan-pertimbangan yang ada, sehingga luasan yang diperoleh cenderung *overestimate* dibandingkan dengan kenampakan yang ada pada citra. Namun, jika mengesampingkan hal tersebut, hasil identifikasi menggunakan metode tidak terselia ini sudah sangat baik, karena hampir seluruh area yang diidentifikasi menggunakan metode tidak terselia masuk di dalam lingkup shp yang merupakan hasil diseminasi oleh LAPAN dan dapat diartikan bahwa hasil identifikasi ini benar-benar tumpahan minyak. Dari segi waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan shp hasil identifikasi, metode tidak terselia dapat mengidentifikasi area terdampak tumpahan minyak dengan jauh lebih cepat dibandingkan dengan identifikasi secara visual/ manual.

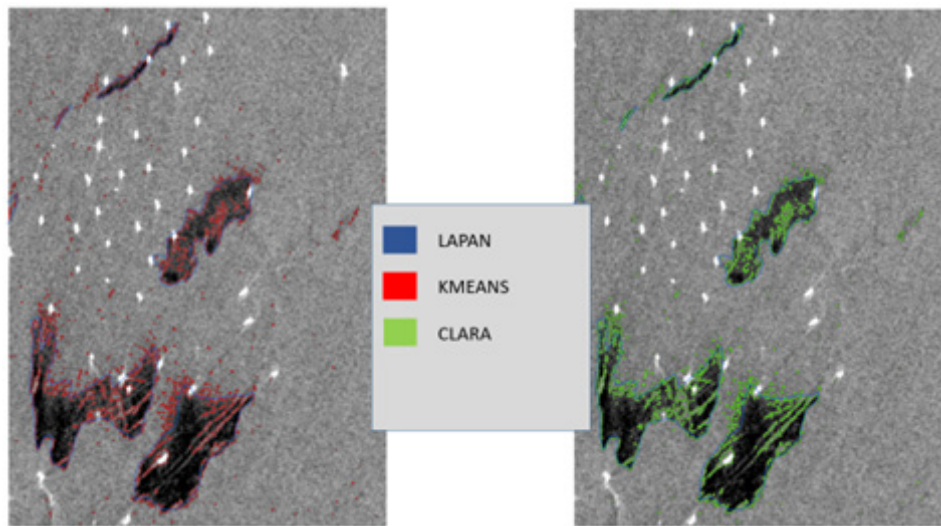
Pada kejadian tumpahan minyak di perairan utara Pulau Bintan akibat *tank cleaning/lightering* 14 Februari 2020, LAPAN mengeluarkan informasi luasan wilayah perairan terdampak tumpahan minyak. Dari data *shapefile* yang diperoleh dari LAPAN, estimasi luasan tumpahan minyak yang terdeteksi secara visual adalah 25,692 km². Hasil identifikasi tumpahan minyak menggunakan algoritma K-Means dengan dua pusat klaster menghasilkan luasan 22,808 km² dan mencakup 88,7% dari luasan yang dikeluarkan oleh LAPAN. Namun, luasan ini masih termasuk dengan area-area yang berada di luar hasil digitasi dari LAPAN. Jika ditinjau hanya berdasar objek teridentifikasi yang

berada di dalam perimeter milik LAPAN, maka luasan hasil identifikasi menggunakan algoritma K-Means adalah 22,155 km² dengan kecocokan luasan 86,2%, sehingga terdapat 0,65 km² area yang merupakan *misklasification* atau merupakan *look-alike* dari area perairan yang terdampak tumpahan minyak dan juga penurunan persentase luasan terdeteksi sebesar 2,5%. Terdapat margin kesalahan identifikasi tumpahan minyak sebesar 2,8% dari luasan sebelum dilakukannya proses omisi. Algoritma CLARA memberikan hasil identifikasi tumpahan minyak dengan luasan 21,561 km² yang berarti melingkupi 83,9% jika dibandingkan dengan hasil identifikasi LAPAN. Luasan tersebut masih belum mengalami proses omisi akibat *look-alike* yang timbul. Setelah ditinjau berdasarkan *shapefile* milik LAPAN, terdapat 0,44 km² area yang merupakan *look-alike* sehingga luasan hasil deteksi menggunakan CLARA adalah 21,120 km² dengan penyusutan persentase luasan terdeteksi sebesar 1,7% menjadi 82,2%. Terdapat margin kesalahan identifikasi tumpahan minyak sebesar 2% dari luasan sebelum dilakukannya proses omisi. Perbandingan perimeter tumpahan minyak antara hasil identifikasi visual LAPAN, algoritma tidak terselia K-Means, serta CLARA dapat dilihat pada Gambar 7.

Identifikasi tumpahan minyak akibat *tank cleaning/lightering* yang dilakukan oleh LAPAN pada tanggal 21 Maret 2020 di perairan utara Bintan menggunakan interpretasi visual menghasilkan luasan sebesar 57,84 km². Hasil percobaan identifikasi tumpahan minyak menggunakan algoritma K-Means pada tanggal yang sama memberikan luasan sebesar 40,644 km² yang melingkupi 70,2% luasan milik LAPAN. Setelah dilakukan proses omisi terhadap hasil identifikasi menggunakan K-Means akibat *look-alike* yang ikut teridentifikasi, luasan yang dihasilkan adalah 38,525 km², yang berarti terdapat 2,11 km² area yang merupakan *look-alike* dan 3,62% penurunan luasan terdeteksi. Tingkat kesalahan yang timbul akibat *look-alike* menggunakan algoritma K-Means pada percobaan

Tabel 1. Lokasi Stasiun Penelitian di Perairan Pamurbaya
Table 1. Location of Research Station in Pamurbaya Waters

Algoritma	Luasan Tumpahan Minyak (km ²)		Luasan <i>Look-alike</i> (km ²)		Tingkat Kesalahan (%)	
	14 Februari 2020	21 Maret 2020	14 Februari 2020	21 Maret 2020	14 Februari 2020	21 Maret 2020
1.	25,69204	57,84467	-	-	-	-
2.	22,80827	40,64467	0,652753	2,119114	2,8	5,2
3.	21,56195	27,28025	0,441451	0,151894	2	0,5



Gambar 7. Perbandingan hasil identifikasi tanggal 14 Februari 2020.
 Gambar 7. Comparison of identification results on 14 February 2020.

ini sebesar 5,2%. Algoritma CLARA memberikan hasil luasan teridentifikasi yang jauh lebih kecil, yaitu sebesar 27,280 km² yang hanya meliputi 47,16% dari luasan *shapefile* LAPAN. Setelah dilakukan proses omisi pada *look-alike* yang ada, diperoleh luasan sebesar 27,128 km² yang artinya area *look-alike* hanya sebesar 0,151 km² dan terjadi penyusutan luasan terdeteksi sebesar 0,2%. Tingkat kesalahan yang timbul akibat *look-alike* menggunakan algoritma CLARA pada percobaan ini sebesar 0,5%. Perbandingan hasil identifikasi antara deteksi visual LAPAN, algoritma K-Means, dan algoritma CLARA dapat dilihat pada Gambar 8.

KESIMPULAN DAN SARAN

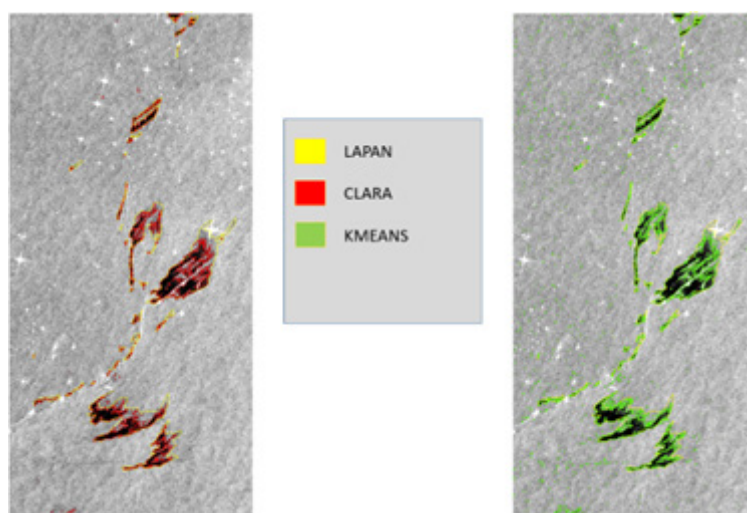
Kedua algoritma yang digunakan dalam penelitian ini mampu mengidentifikasi tumpahan minyak di laut. K-Means memberikan performa yang lebih baik dalam aspek luasan tumpahan minyak sebesar 88,7% dari luasan yang dikeluarkan oleh referensi (LAPAN) pada 14 Februari 2020 dan 86,2%, pada 21 Maret 2020. Namun, CLARA mampu memberikan luasan *look-alike* yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan hasil K-Means sebesar 2% pada 14 Februari 2020 dan 0,5% pada 21 Maret 2020.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada tim editor dan *reviewer* atas masukan ke penulis sehingga dapat dipublikasikan di Jurnal Kelautan Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ruzouq, R., Gibril, M. B., Shanableh, A., & Kais, A. (2020). Sensors, Features, and Machine Learning for Oil Spill Detection and Monitoring: A Review. *Remote Sensing*, 12(20), 3338. <https://doi.org/10.3390/rs12203338>
- Amin, G., Shahzad, M. I., Nazeer, M., Zia, I., Mahmood, I., & Jaweria, S. (2021). Assessing the spatial distribution and impacts of recent oil spill along the Western Coast of Karachi, Pakistan. *Geocarto International*, 37(17), 4911-4931. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1899307>
- BPS. (2022). Kabupaten Bintan dalam Angka. BPS.
- Capor-Hrosik, R., Tuba, E., Dolicanin, E., Jovanovic, R., & Tuba, M. (2019). Brain Image Segmentation Based on Firefly Algorithm Combined with K-means Clustering. *Stud. Inform. Control* 2019, 28, 167-176. DOI:10.24846/v28i2y201905
- 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.
- Direktorat Pendayagunaan Pulau-Pulau Kecil, KKP. (2022). Bintan. Diakses pada 11 Juni 2022 dari http://www.ppk-kp3k.kkp.go.id/direktori-pulau/index.php/public_c/pulau_info/140



Gambar 8. Perbandingan hasil identifikasi tanggal 21 Maret 2020.
 Gambar 8. Comparison of identification results on March 21, 2020.

- GESAMP. (2007). Estimates of oil entering the marine environment from sea-based activities. London: IMO.
- Mujahidawati., Fahrudin, A., Boer, M., & Nurjaya, W. (2018). *Kajian Sumberdaya Pesisir Dan Laut Akibat Pencemaran Di Perairan Kecamatan Gunung Kijang Kabupaten Bintan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Naz, S., Iqbal, M. F., Mahmood, I., & Allam, M. (2021). Marine oil spill detection using Synthetic Aperture Radar over Indian Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111921>
- Negara, G. S. (2020). Dampak Lingkungan Terhadap Pencemaran Laut Di Pesisir Utara Pulau Bintan Selama Musim Angin Utara. *Jurnal Sains dan Teknologi Maritim*, 20(2), 137-144.
- Pusfatja. (2021). Tumpahan Minyak (Oil Spill). Diakses pada 5 Januari 2021 dari Pusfatja LAPAN: <https://spbn.pusfatja.lapan.go.id/maps/6116>
- Puspitasari, T. A., Fuad, M., & Parwati, E. (2020). Prediksi Pola Persebaran Tumpahan Minyak Menggunakan Data Citra satelit Sentinel-1 di Perairan Bintan, Kepulauan Riau. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 17(2), 89-102.
- Rousseeuw, P. J., & Kaufman, L. (1990). Finding Groups in Data. Belgium: John Wiley & Sons Inc.
- Setiyono, B., & Mukhlash, I., (2005). Kajian Algoritma GDBScan, Clarans dan Cure untuk Spatial Clustering. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 2(2), 117-128.
- Sheta, A., Alkasassbeh, M., Braik, M., & Ayyash, H. (2012). Detection of Oil Spills in SAR Images using Threshold Segmentation Algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 57, 10-15.
- Siagian, Y. S., Aziz, R., & Aris, I. (2016). Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak Di Perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi*, 5(2), 270–276.
- Steinley, D., & Brusco, M. J. (2007). Initializing k-means batch clustering: A critical evaluation of several techniques. *Journal of Classification*, 24(1), 99-121.
- Xu, J., Pan, X., Jia, B., Wu, X., Liu, P., & Li, B. (2021). Oil Spill Detection Using LBP Feature and K-Means Clustering in Shipborne Radar Image. *J. Mar. Sci. Eng.*, 9(1), 65. <https://doi.org/10.3390/jmse9010065>