

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perairan Laut Jawa adalah wilayah yang strategis dan produktif, didukung oleh keberadaan industri, pelabuhan besar, destinasi wisata, serta sumber daya maritim yang melimpah (Sari, 2021). Salah satu aktivitas utama di kawasan ini adalah eksplorasi, produksi minyak dan gas bumi, seperti yang dioperasikan oleh Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java dari Kepulauan Seribu hingga Cirebon, dengan ratusan anjungan aktif (Fahmi *et al.*, 2024). Kawasan ini juga menjadi jalur pelayaran utama dengan keberadaan pelabuhan-pelabuhan besar seperti Tanjung Priok (Jakarta), Tanjung Emas (Semarang), dan Tanjung Perak (Surabaya) yang melayani aktivitas logistik domestik maupun internasional (Nugraha, 2015). Namun, tingginya intensitas kegiatan kilang minyak dan pelayaran tersebut dapat meningkatkan risiko terhadap pencemaran laut, khususnya dari tumpahan minyak.

Berdasarkan data dari Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (Walhi) tumpahan minyak telah mencemari 4.500 hektare pulau utara Jawa hingga 18 Juli 2019 (Walhi, 2019). Seiring dengan pesatnya perkembangan industri minyak global, risiko tumpahan minyak telah meningkat secara signifikan, terutama dalam operasi minyak lepas pantai dan pengangkutan minyak bumi melalui kapal tanker. Kecelakaan yang terjadi selama operasi, seperti pecahnya pipa atau kegagalan rig pengeboran, seringkali menjadi penyebab utama tumpahan minyak ke laut. Kecelakaan kapal tanker baik karena tabrakan maupun karamnya kapal juga menjadi faktor signifikan yang berkontribusi terhadap pelepasan minyak ke dalam kolom air (Ibrahim, 2024). Pencemaran laut yang disebabkan oleh tumpahan minyak ini selalu menjadi sorotan, karena dampaknya cepat dirasakan oleh penduduk di sekitar pantai, serta menimbulkan kerusakan yang signifikan terhadap ekosistem laut dan biota di sepanjang garis pantai yang terdampak. (Akhmaddhian & Fandini, 2022)

Minyak yang mengapung di permukaan laut sangat berbahaya bagi burung laut yang berenang, sementara ikan-ikan terancam mati akibat paparan zat beracun dalam minyak. Ekosistem mangrove di daerah air payau juga mengalami kerusakan, dan terumbu karang tidak dapat melakukan fotosintesis karena sinar matahari terhalang oleh lapisan minyak di permukaan air. Mikroorganisme yang terpapar minyak membutuhkan waktu 1-2 tahun untuk memecah komponen organik minyak, sehingga pemulihan wilayah pesisir yang tercemar bisa memakan

waktu lama (Darza, 2020). Sejalan dengan itu, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, menetapkan batas konsentrasi minyak yang diperbolehkan di perairan laut demi menjaga kelangsungan hidup biota laut adalah 1 mg/L (Tanjung *et al.*, 2019). Pemantauan tumpahan minyak penting untuk dilakukan guna memperoleh informasi akurat terkait sebaran minyak dari waktu ke waktu yang berfungsi mengurangi dampak kerusakan lingkungan.

Synthetic Aperture Radar (SAR) menjadi solusi yang efektif untuk mendeteksi tumpahan minyak karena kemampuannya menghasilkan data pencitraan dalam segala kondisi cuaca baik siang maupun malam hari. Penelitian Brekke & Solberg (2005) menunjukkan bahwa SAR mampu mendeteksi tumpahan minyak melalui analisis perbedaan karakteristik hamburan radar antara minyak dan air laut. Rajendran *et al.* (2021) lebih lanjut memanfaatkan data Sentinel-1 untuk menganalisis pola penyebaran dan dampak tumpahan minyak dari kapal MV Wakashio di perairan Republik Mauritius, dengan memperhatikan kondisi sebelum, selama, dan setelah insiden. Pemanfaatan teknologi penginderaan jarak jauh telah terbukti berhasil dalam mendeteksi tumpahan minyak, namun terdapat tantangan dalam mengatasi deteksi positif palsu yang disebabkan oleh kemiripan visual antara tumpahan minyak dan elemen non-minyak.

Teknik deteksi yang lebih canggih dan akurat diperlukan untuk membedakan tumpahan minyak dari elemen serupa. Model *deep learning* berbasis algoritma *Mask Region* (Mask R-CNN) memberikan solusi dengan kemampuannya mendeteksi objek dalam gambar dan menghasilkan *mask* segmentasi yang sesuai, sehingga meningkatkan akurasi serta kinerja model. Mask R-CNN memiliki tingkat akurasi yang tinggi, yakni 96,6% untuk deteksi tumpahan minyak dan 91,0% untuk elemen serupa, menjadikannya unggul dalam segmentasi dan klasifikasi dibandingkan metode konvensional lain (Yekeen & Balogun, 2020). Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengembangkan metode deteksi tumpahan minyak yang lebih efektif dan efisien, serta sebagai kontribusi dalam upaya mitigasi pencemaran laut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sebaran tumpahan minyak di Perairan Laut Jawa?
2. Bagaimana karakteristik nilai amplitudo *backscatter* pada citra Sentinel-1 SAR di area tumpahan minyak?
3. Bagaimana pola sebaran tumpahan minyak di Perairan Laut Jawa?

4. Bagaimana hubungan antara kondisi tumpahan minyak dengan arus dan angin?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi sebaran tumpahan minyak di Perairan Laut Jawa
2. Menganalisis karakteristik nilai amplitudo *backscatter* pada citra Sentinel-1 SAR di area tumpahan minyak
3. Menganalisis pola sebaran tumpahan minyak di Perairan Laut Jawa
4. Menganalisis hubungan antara kondisi tumpahan minyak dengan arus dan angin

1.4 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengembangan metode pemantauan lingkungan yang lebih efektif dengan memanfaatkan teknologi citra satelit Sentinel-1 SAR dan *deep learning*
2. Memberikan pemahaman tentang pola dan sebaran tumpahan minyak di Perairan Laut Jawa, serta bagaimana kondisi arus dan angin mempengaruhinya
3. Dapat menjadi dasar dalam pembuatan kebijakan terkait mitigasi pencemaran minyak di Perairan Laut Jawa

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian terletak di Perairan Laut Jawa dengan titik koordinat $3^{\circ} - 7^{\circ}$ LS & $105^{\circ} - 114^{\circ}$ BT
2. Analisis deteksi tumpahan minyak menggunakan Sentinel-1 SAR tahun 2023 dan 2024
3. Parameter pendukung yang digunakan adalah arus dan angin