

**Krisis Lingkungan Ekosistem Laut: Peran Teknologi dalam Upaya Bersama
Perusahaan dan Pemerintah untuk mencapai SDGS**

*(Marine Ecosystem Environmental Crisis: The Role of Technology in Joint Efforts by
Companies and Governments to Achieve SDGS)*

Indi Arifah Nurhikmah*, Nida Sarah Fajriyah dan Sofwun Nida

Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari,
Kota Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: indiarifahnh@upi.edu

ABSTRACT

This research examines the waste oil spill caused by PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (ONJW) in Karawang waters. The proposed solution is the use of Sentinel 1A Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite monitoring technology and automatic identification system (AIS) to detect illegal and non-illegal oil discharges. The goal is to address seawater pollution, protect marine ecosystems and achieve Sustainable Development Goals (SDGs) related to the marine environment. The results show the negative impact of oil waste on marine ecosystems, with technology as a potential solution. Cooperation between companies and the government is needed for oil waste management, including long-term post-recovery monitoring. The principle of responsibility and the use of technology, such as SAR and AIS satellites, are essential in achieving a sustainable marine environment by minimizing oil pollution.

Keywords: karawang waters, marine ecosystem, oil waste, SAR monitoring

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji tumpahan limbah minyak yang disebabkan oleh PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (ONJW) di perairan Karawang. Solusi yang diajukan adalah penggunaan teknologi pemantauan satelit Synthetic Aperture Radar (SAR) Sentinel 1A dan sistem identifikasi otomatis (AIS) untuk mendeteksi pembuangan minyak ilegal dan non-ilegal. Tujuannya adalah mengatasi pencemaran air laut, melindungi ekosistem laut, dan mencapai Sustainable Development Goals (SDGs) terkait lingkungan laut. Hasil penelitian menunjukkan dampak negatif limbah minyak terhadap ekosistem laut, dengan teknologi sebagai solusi potensial. Kerja sama antara perusahaan dan pemerintah diperlukan untuk penanganan limbah minyak, termasuk pemantauan jangka panjang pasca pemulihan. Prinsip tanggung jawab dan pemakaian teknologi, seperti satelit SAR dan AIS, sangat penting dalam upaya mencapai lingkungan laut yang berkelanjutan dengan meminimalkan pencemaran minyak.

Kata kunci: ekosistem laut, limbah minyak, pemantauan SAR, perairan karawang

PENDAHULUAN

Ekosistem adalah sistem yang lengkap dan kompleks di mana organisme saling bergantung satu sama lain dan lingkungan fisiknya. Ekosistem terdiri dari banyak hal yang saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain. Ekosistem laut adalah salah satu habitat yang sangat besar dan kompleks dengan berbagai jenis habitat dan beragam organisme, mencakup perairan dalam, pantai, dan pasang surut, serta sebagai tempat berbagai makhluk hidup, mulai dari makhluk kecil hingga mamalia laut yang sangat besar. Adaptasi organisme terhadap berbagai kondisi lingkungan, seperti variasi suhu, salinitas, dan tekanan air, membuat ekosistem laut unik. Selain itu, ekosistem laut mempunyai peran krusial dalam menjaga kestabilan ekologi global, termasuk dalam penyerapan karbon dioksida, mengatur iklim, dan menyediakan sumber daya pangan bagi masyarakat dunia (Arianto, 2017)

Ekosistem laut menghadapi berbagai ancaman, termasuk polusi, perubahan iklim, overfishing, dan degradasi habitat. Salah satu masalah yang sering terjadi berasal dari faktor lingkungan. Pencemaran limbah yang dapat berasal dari berbagai sumber seperti industri, transportasi, dan aktivitas manusia lainnya. Limbah minyak, yang sering kali mencemari perairan laut, merupakan masalah khusus yang dapat memiliki dampak serius terhadap ekosistem laut.

Salah satu studi kasus tumpahan limbah minyak yang disebabkan oleh PT. Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* (ONJW) yang terjadi di perairan Karawang mengakibatkan krisis kehidupan lingkungan laut sekitar dikarenakan minyak tersebut mengandung bahan kimia beracun sehingga tumpukan minyak dapat mematikan organisme laut, serta mengganggu rantai makanan. Akibat kelalaian tersebut didapat fakta bahwa 80 % ekosistem laut di perairan Karawang terancam mati (Sekjen Kiara & Susan, 2019). Krisis lingkungan tersebut merupakan Salah satu permasalahan utama yang menghambat pencapaian SDGs , yang dapat secara negatif mempengaruhi pencapaian target SDGs 14 yang berfokus pada pelestarian sumber daya kelautan serta berdampak juga terhadap SDGs 3 yaitu kesejahteraan masyarakat.

Pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) yang mencakup aspek ekonomi, lingkungan, sosial, serta hukum dan tata kelola, dan juga hal terpenting yaitu penekanan pada solusi teknologi yang terintegrasi untuk pencegahan dan pemantauan memiliki signifikansi yang sangat penting (Amymie, 2017).

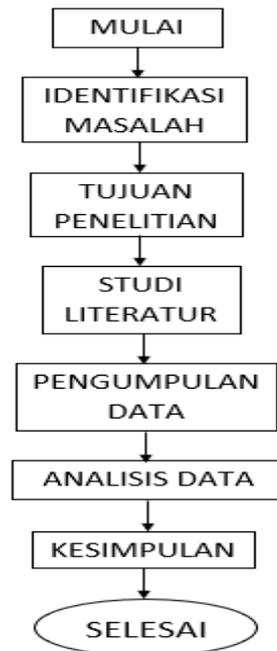
Dalam peristiwa ini diperlukan pendekatan yang sangat canggih dalam penerapan teknologi pemantauan, sebagai contoh, yaitu solusi penerapan aplikasi pemantauan pembuangan minyak ilegal maupun non-ilegal menggunakan *satelit Synthetic Aperture Radar (SAR) Sentinel 1A* serta sistem identifikasi otomatis (*AIS*) adalah suatu alternatif yang sangat efektif. Serta ditinjau dari pencegahannya menggunakan teknologi yang relatif lebih ramah lingkungan dan bersifat fleksibel untuk selalu diterapkan yaitu *bioremediasi*. Pendekatan ini dapat disatukan dengan efisien antara langkah-langkah pencegahan dan sistem pemantauan, dalam mengatasi dampak negatif dari pencemaran air laut. solusi teknologi tersebut dapat diterapkan bersama-sama oleh pemerintah dan perusahaan terkait untuk meningkatkan efektivitas upaya pencegahan dan pemantauan pencemaran air laut.

Pemerintah dapat memainkan peran dalam mengatur dan mengawasi implementasi solusi teknologi ini, memastikan bahwa standar dan regulasi lingkungan yang tepat diterapkan, serta memberikan insentif bagi perusahaan untuk berpartisipasi. Di sisi lain, perusahaan terkait dapat berinvestasi dalam teknologi yang ramah lingkungan, memastikan bahwa operasi mereka mematuhi aturan yang ada, dan berkolaborasi dengan pihak berwenang untuk memitigasi dampak pencemaran air laut. Dengan demikian pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan dalam mencapai SDGs untuk perlindungan lingkungan laut dapat tercapai.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menginvestigasi dan menemukan solusi terhadap peran teknologi dalam upaya bersama pemerintah dan perusahaan terkait mengatasi krisis lingkungan ekosistem laut akibat pencemaran air laut dan untuk mencapai *Sustainable Development Goals (SDGs)* terkait perlindungan lingkungan laut.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian data merupakan suatu proses yang mencakup pengumpulan data, peninjauan literatur, dan analisis data (Zed, 2008: 3). Adapun tahapan penelitian akan dilakukan seperti gambar diagram dibawah ini:



Gambar 1. Alur Penelitian

a. Identifikasi Masalah

Tahap pertama penelitian akan mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi pada ekosistem laut, khususnya terkait dampak limbah minyak yang disebabkan PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (ONJW) yang terjadi di perairan Karawang. Hal ini melibatkan pemahaman sumber, jenis dan dampak limbah minyak terhadap lingkungan laut, serta dampaknya terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs).

b. Tujuan Penelitian

Penelitian ini akan berkaitan dengan peran teknologi dalam upaya bersama perusahaan seperti PT. Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* (ONJW) yang terjadi di perairan Karawang dan pemerintah. Adapun tujuan penelitian yaitu untuk mengidentifikasi serta menemukan solusi yang tepat dalam mengatasi krisis lingkungan ekosistem laut yang disebabkan oleh pencemaran limbah minyak.

c. Studi Literatur

Pada tahap ini, penelitian akan dilakukan terhadap literatur yang ada tentang dampak limbah minyak pada ekosistem laut, teknologi yang digunakan untuk menangani limbah minyak, dan upaya bersama antara perusahaan dan pemerintah untuk mencapai SDGS. Sumber yang digunakan akan berasal dari berbagai website, jurnal, atau artikel nasional maupun internasional untuk mengevaluasi lebih lanjut mengenai krisis lingkungan ekosistem laut yang terjadi dikarenakan adanya pencemaran limbah minyak di laut.

d. Pengumpulan Data

Pengumpulan data akan mencakup informasi tentang limbah minyak yang dihasilkan PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (ONJW) yang terjadi di perairan Karawang, teknologi yang digunakan untuk menangani limbah ini, dan kerja sama dan kebijakan saat ini antara perusahaan dan pemerintah. Metode pengumpulan data akan melalui analisis berbagai jurnal yang berkaitan dengan pencemaran limbah minyak.

e. Analisis Data

Analisis data akan dilakukan setelah data dikumpulkan untuk menentukan peran teknologi dalam pengurangan limbah minyak dan pengaruh SDGS terhadap pencapaian. Metode analisis mencakup kualitatif, menggunakan alat statistik, dan membuat kesimpulan berdasarkan data yang dikumpulkan.

f. Kesimpulan

Penelitian ini akan membuat kesimpulan dari analisis data dan menunjukkan bagaimana teknologi membantu menangani krisis lingkungan akibat limbah minyak. Serta akan menunjukkan sejauh mana upaya bersama perusahaan dan pemerintah berhasil, dan beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan untuk mencapai SDGS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (ONJW) Kebocoran pipa di Sungai Karawang menyebabkan tumpahan minyak yang menyebabkan kerusakan serius pada lingkungan laut, dimana minyak dengan cepat menyebar ke area dekat pantai. Dalam enam hari setelah tanggal 12 Juli 2019, timbulnya gelembung-gelembung terlihat di sekitar anjungan lepas pantai YY dan anjungan pengeboran Ensco-67. Pada tanggal 18 Juli 2019, terjadi kebocoran minyak di wilayah Pantai Barat (Tirto, 2020).

Penyebab utama ledakan minyak dan gas adalah ledakan sumur yang terlalu dini. Ledakan tersebut seharusnya terjadi pada kedalaman 6.600 kaki (2011,68 m), tetapi justru terjadi pada kedalaman 700 kaki (213,36 m) (Adhi, 2020). Hasilnya ialah lapisan tanah yang menyebabkan kerusakan pada pipa dan rotasi anjungan. Dalam kasus lain yang diteliti oleh Muarif tahun 2016, tumpahan minyak di teluk banten utara pada Juli 2019 menyebabkan kebocoran pipa pertamina. Tumpahan minyak berdampak secara tidak langsung pada kesehatan dan kerapatan mangrove di pesisir Kecamatan Tirtayasa, menurut hasil olah data 2018–2020 dengan fitur NDVI (Maulana et al., 2022).

Sejak terbentuknya gelembung tersebut, kebocoran mencapai 3.000 BPD. Hal ini mengakibatkan tumpahan minyak yang merusak kawasan Teluk Balikpapan dan pantai Karawang, menutup pusat wisata pantai di Karawang dan Bekasi. Bau minyak B3 mempengaruhi kesehatan anak-anak dan penduduk setempat dengan gejala seperti gatal-gatal, pusing, dan mual (Sekjen Kiara & Susan, 2019). Tambak ikan dan udang hancur, ribuan pohon bakau rusak dan mati, yang berdampak negatif pada air laut di Pantai Karawang, dan tumpahan minyak di area penangkapan ikan menyebabkan hilangnya mata pencaharian nelayan. Pt. PHE ONWJ sudah melakukan penanganan terhadap pembersihan limbah minyak dengan pendekatan pada umumnya yaitu dengan penggunaan *oil skimmer* akan tetapi penggunaan *oil skimmer* tersebut mempunyai kekurangan yaitu hanya dapat dipergunakan pada perairan yang mempunyai hidrodinamika air yang rendah.

Campuran minyak dengan dispersant dari metode *oil skimmer* dapat menjadi lebih toksik daripada minyak mentah itu sendiri. Oleh karena itu, bahan kimia ini dapat menjadi ancaman bagi ekosistem laut karena dapat dikonsumsi oleh hewan laut dan menyebar melalui makanan.

Dalam penelitian sebelumnya, bioremediasi dianggap sebagai alternatif yang lebih baik. Ini didasarkan pada prinsip utamanya memanfaatkan sistem metabolisme mikroorganisme dengan mengubah pencemar menjadi senyawa yang tidak beracun; setelah pencemar terdegradasi, mikroba yang digunakan akan mati secara alami (Z. AlDisi et al., 2016).

Bacillus subtilis dan *Pseudomonas putida* adalah beberapa bakteri yang efektif dalam bioremediasi, yang sering ditemukan di lingkungan minyak bumi. Menurut Brown (1987), metode bioremediasi menggunakan bakteri tunggal atau campuran telah digunakan untuk mengurangi pencemaran minyak bumi. Studi menunjukkan bahwa kombinasi bakteri dengan *Pseudomonas* memberikan hasil terbaik. Selain itu, *Bacillus* sp. dianggap sebagai produsen biosurfaktan terbaik, tetapi *Pseudomonas* sp. dapat memanfaatkan lebih dari satu jenis hidrokarbon (Kadarwati dan Leni Herlina, 2005). Hasil menunjukkan bahwa kemampuan setiap jenis bakteri untuk menghancurkan hidrokarbon terbatas, terutama karena berbagai jenis hidrokarbon ditemukan dalam limbah minyak (Brown, 1987).

Setelah kecelakaan kapal Exxon Valdez di Alaska pada tahun 1989, proyek bioremediasi terbesar yang telah diuji coba di pantai Prince William Sound yang berpasir dan berbatu telah berhasil. Dalam upaya ini, tiga jenis pupuk berbeda untuk biostimulasi dan inokulasi mikroba produk untuk meningkatkan bioaugmentasi dilakukan. Penelitian telah menunjukkan bahwa karena nutrisi yang tidak cukup, pemberian produk bioaugmentasi tidak dapat meningkatkan proses biodegradasi minyak (Zhu et al., 2001). Beberapa studi menunjukkan bahwa teknik

bioremediasi adalah cara yang efisien, murah, dan ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran minyak. Namun, penggunaan teknologi bioremediasi untuk menangani lingkungan yang terkontaminasi minyak di Indonesia masih dalam tahap percobaan dan sebagian besar masih terbatas di daratan, bukan di laut.

Metode pencegahan telah diterapkan maka pemerintah dan perusahaan wajib untuk melakukan kolaborasi bersama dengan menerapkan solusi teknologi pemantauan kebocoran tumpahan limbah minyak ke laut yaitu dengan memanfaatkan data citra satelit dengan kombinasi sensor pasif dan aktif. Yaitu menggunakan citra radar atau citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) dengan menggunakan sensor gelombang mikro aktif untuk memperoleh data pada siang maupun malam hari dan dalam segala kondisi cuaca serta memanfaatkan pengambilan dan pengolahan data oleh *Automatic Identification System (AIS) System*.

Pemantauan dengan menggunakan data radar ini juga berpengaruh dalam melihat kondisi oseanografi perairan atau laut tersebut, dimana perairan karawang terdeteksi sebagai perairan hidrodinamika yang rendah, Oleh karena itu, tumpahan minyak menekan kekasaran permukaan, membuat area tumpahan minyak menjadi lebih halus. Permukaan yang datar menghasilkan tekanan yang rendah, sehingga menyebabkannya tampak lebih gelap pada gambar radar. Selain tumpahan minyak, bintik hitam pada gambar radar dapat disebabkan oleh banyak hal yang mirip dengan tumpahan minyak: surfaktan alami yang dihasilkan oleh fitoplankton dan ikan, hujan, angin berembus lembut (Alpers dan Espedal, 2004). Oleh karena itu, perlu kehati-hatian saat mendeteksi kebocoran minyak.

Satelit yang digunakan untuk menangkap hasil data tersebut ada Sentinel 1-A yaitu Satelit pencitraan radar Eropa yang diluncurkan pada tahun 2014 merupakan bagian dari program Copernicus Uni Eropa dan merupakan satelit Sentinel-1 pertama dalam rangkaian ini. Satelit ini dilengkapi dengan *Synthetic Aperture Radar (SAR)* berband C, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan citra dalam berbagai kondisi cuaca dan cahaya. Kemampuannya mencakup pemantauan semua aspek lingkungan, mulai dari mendeteksi dan melacak tumpahan minyak, memetakan lautan, hingga memantau pergerakan daratan dan lalu lintas, serta perubahan penggunaan lahan (ESA, 2018).

Pemerintah juga dapat bekerja sama mengelola pemantauan ini dengan lebih memperketat pengawasan lalu lintas air dengan TNI AL, pada daerah Karawang ini terkhususnya pengamanan area sekitar laut kurang diperhatikan, oleh karena itu membutuhkan pemantauan dengan pemanfaatan Sistem Identifikasi Otomatis (AIS) yang merupakan sistem pelacakan otomatis yang meningkatkan keselamatan navigasi, efisiensi, dan manajemen lalu

lintas kapal. Data AIS dapat membedakan kapal di lautan yang terdeteksi oleh algoritma CFAR sebagai objek yang tidak diinginkan, seperti pulau kecil dan kapal komersial. Data AIS dapat diekstraksi menjadi *GPS position record*, *Callsign*, dan *Type of Vessel*.

Citra satelit Sentinel-1 yang diluncurkan oleh ESA sangat efektif untuk memantau tumpahan minyak di laut Karawang. Resolusi spasial hingga 5x5 meter dan resolusi temporal hingga 6 hari memungkinkan deteksi yang akurat. Data yang dihasilkan dapat dianalisis secara geospasial untuk memetakan penyebaran dan perubahan luasan area yang terkena dampak tumpahan minyak dari waktu ke waktu.

Dengan memanfaatkan data citra satelit Sentinel-1, upaya mitigasi pencemaran minyak di laut Karawang dapat dilakukan secara lebih efektif dan tepat sasaran. Selain itu, pemantauan jangka panjang pasca pemulihan dapat terus dilakukan untuk memastikan kondisi ekosistem laut pulih secara optimal.

Pencegahan adalah upaya yang diterapkan oleh negara guna menyelesaikan masalah yang terjadi di masyarakat. Dalam konteks ini, Pasal 13 UU No. 12 mengatur tentang pengelolaan lingkungan hidup. Dokumen No. 32 tahun 2009 menguraikan pengelolaan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup merupakan tanggung jawab pemerintah daerah. Ini berarti peran pemerintah sangat efektif dalam melindungi atau mengendalikan lingkungan hidup. Bab 14 Undang-Undang Pemerintah Daerah No. 14 UU 23 Tahun 2014 menetapkan bahwa kepemimpinan pemerintah di bidang pertanian, air, listrik, dan tambang harus dibagi antara pemerintah pusat dan pemerintah daerah.

Keberadaan lembaga pencegahan yang terlalu efektif menghambat pemulihan tumpahan minyak. Untuk pulau-pulau yang dikelola oleh organisasi konservasi, upaya pemulihan kondisi setelah tumpahan minyak (seperti restorasi dan material lainnya) akan lebih mudah dilakukan. Stradivari dkk. (2009) menyatakan bahwa pengelola (organisasi konservasi pemerintah, swasta, atau lokal) memiliki tanggung jawab untuk mengurangi tekanan lingkungan agar proses restorasi ekosistem dapat terlaksana dengan baik. Selain itu, para pengelola perlu meningkatkan efektivitas manajemen konservasi tumpahan minyak. Untuk memastikan bahwa pemerintah, sektor swasta dan masyarakat bekerja sama untuk memfasilitasi bioremediasi tumpahan minyak.

Keputusan Presiden No. 109 tahun 2006 mendefinisikan pemilik atau operator kapal, manajer perusahaan minyak dan gas, manajer industri minyak, atau individu yang bertanggung jawab atas kegiatan lain yang dilakukannya. Tidak ada tanggung jawab atas tumpahan minyak di laut, biaya penanganan minyak di laut, dampak lingkungan akibat penanganan minyak di

laut, hilangnya energi yang diderita masyarakat akibat minyak di laut, dan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh minyak di laut. Kebocoran minyak. Tumpahan minyak di laut. Dalam hal ini, pemerintah mengimbau organisasi seperti Kementerian Lingkungan Hidup, Kementerian Pariwisata, Kementerian Pendidikan, Kementerian Perindustrian dan Perdagangan, DKP, TNI AL, Kepolisian, Kementerian Perhubungan, PT. Pertamina (Persero) dan pemerintah daerah untuk bersama-sama memerangi pencemaran laut. Diharapkan dengan adanya kerja sama dari berbagai pihak terkait, penanggulangan minyak lepas pantai akan semakin lengkap dan tuntas.

Poin pembayaran bagi pelaku kejahatan sudah dikenal dalam hukum lingkungan internasional dan, secara sederhana, adalah perhitungan kerugian pihak yang mencemari; misalnya, pertanggungjawaban dan pelaksanaan hak-hak terkait yang timbul dari kegiatan yang menggunakan bisnis yang menyebabkan kerugian. Untuk persaingan usaha dan lingkungan. hibah (Sands, 2003). Akan tetapi, prinsip ini harus diikuti dengan dua cara, yaitu prinsip tanggung jawab mutlak (*strict liability*) dan prinsip kelalaian saat pencemaran terjadi. Prinsip *strict liability* atau tanggung jawab mutlak mengacu pada prinsip bahwa pertanggungjawaban lingkungan tidak memerlukan pembuktian tentang siapa yang menyebabkan pencemaran atau isi dari pencemaran, tetapi didasarkan pada bukti nyata dari kerusakan yang diakibatkan oleh pencemaran itu sendiri. Pada saat yang sama, konsep tanggung jawab lalai atau tanggung jawab lalai juga mengacu pada tanggung jawab orang yang bertanggung jawab atas pencemaran atas kesalahan lingkungan. Ini berarti bahwa pertanggungjawaban lingkungan harus terlebih dahulu mencakup sertifikasi kerusakan lingkungan.

KESIMPULAN

Krisis lingkungan laut yang disebabkan oleh pencemaran limbah minyak memerlukan peran teknologi dalam upaya bersama perusahaan dan pemerintah untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan terkait perlindungan lingkungan laut. Solusi teknologi seperti penggunaan satelit Synthetic Aperture Radar (SAR) dan sistem identifikasi otomatis (AIS) dapat digunakan untuk pemantauan pembuangan minyak ilegal maupun non-ilegal. Selain itu, penggunaan teknik bioremediasi dengan bakteri seperti *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas putida* juga dapat efektif dalam mengurangi pencemaran minyak. Pemerintah dan perusahaan perlu bekerja sama dalam menerapkan solusi teknologi ini serta memastikan kepatuhan terhadap aturan yang ada untuk mencegah pencemaran minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyadi, M. Y., Syarifudi, A. P., Khairunnisa, A. Z., Ximenes, J. D., & Hamdi, M. H. (2021). Analisis Dampak Oil Spill Di Teluk Balikpapan Terhadap Kehidupan Masyarakat Dalam Perspektif Hukum Dan Lingkungan. *J. Bumi Lestari*, 21, 18-22.
- Andrews, N., Bennett, N. J., Le Billon, P., Green, S. J., Cisneros-Montemayor, A. M., Amongin, S., ... & Sumaila, U. R. (2021). Oil, fisheries and coastal communities: A review of impacts on the environment, livelihoods, space and governance. *Energy Research & Social Science*, 75, 102009.
- Arianto, H. (2017). Urgensi Perlindungan Ekosistem Laut Terhadap Bahaya Ilegal Fishing. *Lex Journalica*, 14(3), 184-191.
- Fatmawaty, D. (2020). Analisis Pertanggungjawaban Pencemaran Lingkungan Akibat Tumpahan Minyak (Studi Kasus: Kebocoran Pipa Minyak di Teluk Balikpapan). *Bumi Lestari Journal Of Environment*, 20(1), 14-21.
- Firdaus, W. R. (2021). Prinsip Pencemar Membayar Menyoal Tanggung Jawab PT Pertamina Hulu Energi Offshore Northwest Java (ONWJ) atas Pencemaran Minyak di Perairan Karawang. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 8(1), 205.
- Hadiyati, N., & Cindo, C. (2021). Kontekstualisasi Pencemaran Ekosistem Laut Dalam Mencapai Sdgs: Suatu Kajian Hukum Lingkungan di Indonesia. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 8(3), 300-313.
- Husain, B. H. (2022). Aplikasi Monitoring Pembuangan Minyak (Oil Bilge) Ilegal Menggunakan Satelit Synthetic Aperture Radar Sentinel 1a Siaran Data Dan Sistem Identifikasi Otomatis (Ais) Kapal Laut Di Selat Sunda, Provinsi Banten, Indonesia Oleh.
- “Kronologi Kebocoran Migas di Sumur YYA-1 ONWJ Menurut Pertamina - Tirto.ID.” <https://tirto.id/kronologi-kebocoran-migas-di-sumur-yya-1-onwj-menurut-pertamina-ee3T> (accessed May 09, 2020).
- Maulana, P., Devi, I., Mariyori, S., & Lestari, D. A. (2022). Analisis Spasial Perubahan Sebaran Mangrove Akibat Tumpahan Minyak di Laut Banten Utara. *Pena Akuatika: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 21(2), 85-94.
- Moch, M., & Fierdaus, F. (2015). Pemulihan Tanah Tercemar Minyak Bumi Dengan Teknik Bioremediasi Menggunakan Bacillus Sp. Dan Pseudomonas Sp. *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 49(2), 111-118.
- Pratama, S. D. (2021). Motif Amerika Serikat Dalam Mengatasi Pencemaran Laut Pasca Ledakan Deepwater Horizon Di Teluk Meksiko. (Doctoral Dissertation, Universitas Bosowa).
- 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).
- Swannell, R. P., Lee, K., & McDonagh, M. (1996). Field evaluations of marine oil spill bioremediation. *Microbiological reviews*, 60(2), 342-365.

- Wardhani, W. K., & Titah, H. S. (2021). Studi literatur alternatif penanganan tumpahan minyak mentah menggunakan *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas putida* (Studi Kasus: tumpahan minyak mentah sumur YYA-1). *Jurnal Teknik ITS (SINTA: 4, IF: 1.1815)*, 9(2), F97-F102.
- Widodo, B. H., & Wahyuni, E. T. (2020). Manajemen penanggulangan tumpahan minyak di laut akibat dari pengoperasian kapal. *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, 22(1), 60-66.