

Studi Risiko Ekologi Kegiatan *Decommissioning/In situ Abandonment* Fasilitas Migas di Indonesia

Mashudi^{*1,2)}, Budi Suswanto^{1,3)}, dan Irwan Susilo⁴⁾

¹⁾ Program Profesi Insinyur, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus ITS Tjokroaminoto, Jl. Cokroaminoto 12A, Kota Surabaya, 60264, Indonesia

²⁾ Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus Utama Sukolilo, Jl. Teknik Kimia, Kota Surabaya, 60111, Indonesia

³⁾ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus Utama Sukolilo, Jl. Teknik Kimia, Kota Surabaya, 60111, Indonesia

⁴⁾ INKINDO Jawa Timur, Jl. Rungkut Asri Utara No.VII / 7, Kota Surabaya, Indonesia

Email: mashudi1993@its.ac.id, budi_suswanto@its.ac.id, Irwan@geospasia.com

ABSTRAK

Pengeboran migas lepas pantai didukung oleh fasilitas seperti sumur produksi, saluran produksi, unit pengolahan, dan peralatan lain. Fasilitas ini akan terus beroperasi hingga kontrak selesai dan memasuki masa pasca-operasi dimana kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* perlu dilakukan. Kajian risiko kelautan, termasuk risiko ekologi perlu dilakukan sebelum proses berlangsung. Kajian ini memperkirakan pengaruh *decommissioning/in-situ abandonment* terhadap ekosistem-ekosistem penting di wilayah laut. Kajian risiko ekologi ini menggunakan panduan *Environmental Protection Agency* (EPA) dengan modifikasi. Kajian dimulai dengan mengidentifikasi sumber bahaya, melihat ekosistem penerima dampak, dan menghitung nilai risikonya. Hasil kajian menunjukkan bahwa ada lima fasilitas yang berpotensi menjadi sumber bahaya dan tiga ekosistem penerima dampak. Hasil kajian risiko menunjukkan bahwa secara umum risiko ekologi kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* masuk dalam kategori rendah. Akan tetapi, ada beberapa bahan kimia kategori B3 yang belum diketahui karakter ekotoksikologinya sehingga perlu kajian lanjutan untuk memastikan dampaknya terhadap ekosistem.

Kata kunci: *decommissioning/in-situ abandonment*, migas, risiko ekologi, studi risiko

1. Pendahuluan

Pengeboran migas lepas pantai pada umumnya didukung oleh fasilitas-fasilitas produksi yang letaknya puluhan hingga ratusan kilometer dari pesisir. Fasilitas ini dapat berupa sumur produksi, saluran produksi, unit pengolahan, dan utilitas lain pendukung aktivitas pengeboran. Fasilitas ini akan terus beroperasi hingga kontrak selesai dan memasuki masa pasca-operasi. Pada tahapan pasca-operasi ini proses *decommissioning/in-situ abandonment* perlu dilakukan sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2018.

Terdapat ribuan sumur pengeboran migas yang perlu dilakukan *decommissioning/in-situ abandonment* dalam kurun waktu 15 tahun mendatang karena telah habis masa produktifnya (Vidal et al. 2022). Di Asia Tenggara, termasuk Indonesia juga akan banyak sumur produksi migas yang akan segera ditutup dalam waktu dekat (Lyons 2014). Salah satu dari sumur tersebut, yang juga menjadi objek studi kali ini, letaknya ada di sekitar Selat Makassar dan telah beroperasi selama puluhan tahun. Sumur ini memiliki dua lapangan utama yang letaknya sekitar 175 km dari Kota Balikpapan dan memiliki kedalaman lebih dari 1000 meter.

Sebelum dilaksanakan kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* diperlukan kajian risiko kelautan yang salah satu aspeknya membahas terkait dengan risiko ekologi. Di Indonesia sendiri, kegiatan ini diatur dalam PTK-040/SKKIA0000/2023/S9 tentang *abandonment and site restoration*. Kajian risiko ekologi kali ini bertujuan untuk memperkirakan dampak *decommissioning/in-situ abandonment* fasilitas migas lepas pantai terhadap ekosistem-

ekosistem penting. Setelah diketahui tingkat risikonya, hasil kajian ini juga dapat dimanfaatkan untuk menyusun langkah-langkah preventif dan mitigasi dampak ekologi dari kegiatan terkait.

2. Metode

Kajian risiko ekologi kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* kali ini dilaksanakan dengan mengikuti kerangka acuan analisis risiko ekologi yang diterbitkan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) dan Holsman et al. 2017 tentang analisis risiko kelautan berbasis ekosistem. Tahapan utama dalam analisis risiko dimulai dari identifikasi sumber bahaya dan ekosistem penerima dampak, perhitungan risiko ekologi, dan rekomendasi pengendalian risiko. Secara lebih lengkap, metode analisis ekologi meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

A. Identifikasi sumber Bahaya dan Ekosistem Penerima Dampak

Informasi terkait sumber bahaya banyak diperoleh dari kegiatan *workshop* HAZID yang diselenggarakan bersama antara tenaga ahli, perusahaan, dan pelaksana kegiatan. Diketahui sumber bahaya dapat berasal dari fasilitas-fasilitas produksi yang akan ditinggalkan seperti kabel tambat, pipa ekspor minyak/gas terkubur, pipa ekspor minyak/gas terbuka, jalur produksi *flowline* minyak/gas, dan *umbilical* produksi. Selain itu, sumber bahaya ekologi juga dapat diidentifikasi dari jenis-jenis bahan kimia yang digunakan dalam proses *decommissioning/in-situ abandonment* dan bahan kimia residu produksi. Karakterisasi bahaya yang meliputi jumlah dan tingkat bahaya dibahas secara intensif saat HAZID yang dipandu oleh fasilitator bersertifikat dan berpengalaman puluhan tahun di industri migas. Hasil HAZID inilah yang menjadi acuan utama dalam melakukan analisis risiko ekologi tahap selanjutnya.

Selain mengetahui sumber bahaya, dalam analisis risiko ekologi, identifikasi ekosistem penerima dampak juga menjadi faktor penting. Pada kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment*, diperkirakan ekosistem laut seperti terumbu karang, lamun, dan mangrove di pesisir timur Kalimantan akan menjadi penerima dampak. Ekosistem-ekosistem ini, bersama dengan fauna rentan seperti penyu dan hiu disepakati menjadi objek utama kajian risiko ekologi sebagai penerima dampak. Kajian sensitivitas lingkungan yang sebelumnya telah dilakukan oleh perusahaan di area studi dijadikan panduan untuk mengetahui sebaran dan kondisi ekosistem dan fauna penerima dampak.

B. Perhitungan Risiko Ekologi

Besaran risiko ekologi diperkirakan dengan dua pendekatan yaitu pemodelan pencemaran dan perhitungan indeks pencemaran. Pemodelan pencemaran dilakukan menggunakan perangkat lunak *Delf 3* yang mengolah data batimetri di area studi dan informasi karakter pencemar dari HAZID. Hasil pemodelan ini dapat membantu memperkirakan sebaran pencemar yang bersumber dari fasilitas/bahan kimia yang lokasinya di tengah laut hingga ke ekosistem penerima yang hidupnya banyak di tepi laut. Kemudian, untuk jenis pencemar yang masuk dalam baku mutu kualitas air laut, perubahan indeks pencemaran juga dapat diperhitungkan sesuai dengan Kepmen LH No. 115 tahun 2003.

Hasil pemodelan dan perhitungan indeks pencemaran digunakan untuk memperkirakan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan (*likelihood*) kejadian. Hasil ini melengkapi perkiraan indikatif yang sebelumnya telah diperoleh dari HAZID. Hasil perkiraan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan (*likelihood*) inilah yang dihitung menjadi nilai risiko ekologi menggunakan matriks risiko seperti Tabel 1.

Tabel 1. Matriks risiko ekologi

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

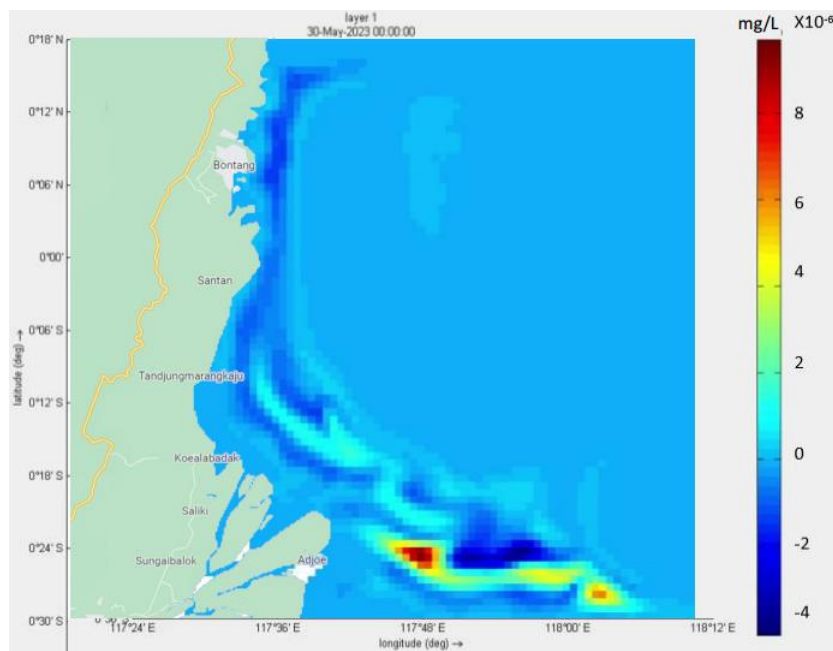
Sumber: BSN, SNI ISO 31000 (2018) dengan modifikasi

3. Hasil dan Pembahasan

analisis risiko ekologi dilakukan secara bertahap pada lima fasilitas produksi migas lepas pantai yang akan di *decommissioning/in-situ abandonment*. Risiko yang diungkapkan fokus pada dampak jangka panjang setelah kegiatan selesai. Area studi dalam kajian ini mencakup pesisir sisi timur pulau Kalimantan dengan panjang pantai sekitar 300 km yang membentang dari Kutai Timur hingga wilayah Delta Mahakam. Adapun hasil kajian adalah sebagai berikut:

3.1. Kabel tambat

Berdasarkan hasil HAZID, kabel tambat akan ditinggalkan pada kedalaman lebih dari 1000 meter di bawah permukaan air laut. Potensi bahaya yang muncul adalah kemungkinan korosi *carbon steel* yang merupakan bahan utama kabel tambat sehingga melepaskan unsur Fe dan Mn ke lingkungan. Besaran dampak diperkirakan tidak signifikan karena ukurannya yang tidak terlalu besar dan lokasinya puluhan kilometer dari ekosistem/fauna penting. Hasil *dispersion modeling* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hasil pemodelan cemaran Fe/Mn fasilitas kabel tambat

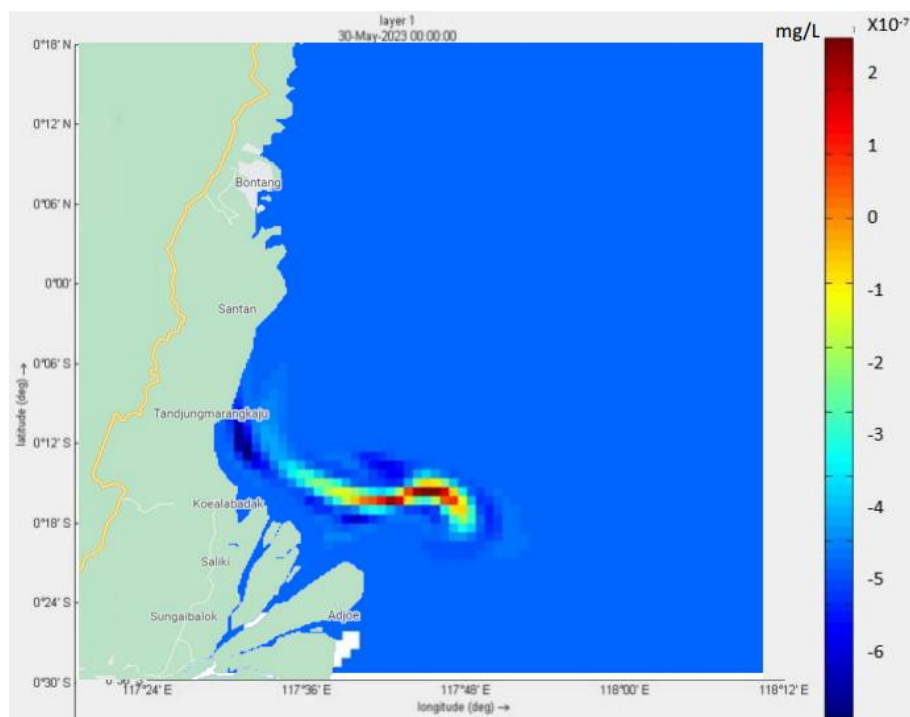
Berdasarkan hasil tersebut diperkirakan cemaran Fe dan Mn akan sampai ke ekosistem penerima dampak. Akan tetapi karena konsentrasinya yang kecil yaitu sekitar $9,4 \cdot 10^{-7}$ mg/L untuk Fe dan $2,8 \cdot 10^{-8}$ mg/L untuk Mn, risiko yang ditimbulkan terhadap ekosistem tidaklah signifikan. Oleh karena itu, hasil akhir penilaian risiko untuk fasilitas kabel tambat adalah 2 dan termasuk risiko rendah. Hasil penentuan nilai risiko kabel tambat dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Matriks risiko ekologi fasilitas kabel tambat

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

3.2. Pipa ekspor minyak/gas terkubur

Hasil HAZID mengungkapkan bahwa panjang pipa yang akan ditinggalkan adalah sekitar 62 kilometer dengan diameter 12 inch. Terdapat dua pipa berukuran serupa, satu untuk mengalirkan minyak dan satunya gas. Zat pencemar yang muncul adalah sisa TPH, *flushing water* yang mengandung *Hydrosure* 1000 ppm dan Fe/Mn yang merupakan bahan dari pipa tersebut. Diperkirakan akan ada risiko ekologi sedang akibat dari pencemar-pencemar yang keluar dari pipa ini. Adapun hasil pemodelan sisa *flushing water* yang mengandung TPH dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil pemodelan cemaran TPH fasilitas pipa ekspor

Hasil pemodelan tersebut menunjukkan bahwa akan ada sekitar $2,6 \cdot 10^{-7}$ mg/L residu minyak yang sampai ke wilayah pesisir. Jumlah ini jika dimasukkan dalam perhitungan indeks pencemaran akan menghasilkan indeks sebesar 0,38 di mana masuk dalam kategori lingkungan baik. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pemodelan, dampak residu minyak terhadap ekosistem diperkirakan akan kecil atau tidak signifikan. Nilai risiko yang diakibatkan dari pipa ekspor ini adalah 2 dan termasuk risiko rendah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Matriks risiko ekologi fasilitas pipa ekspor

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

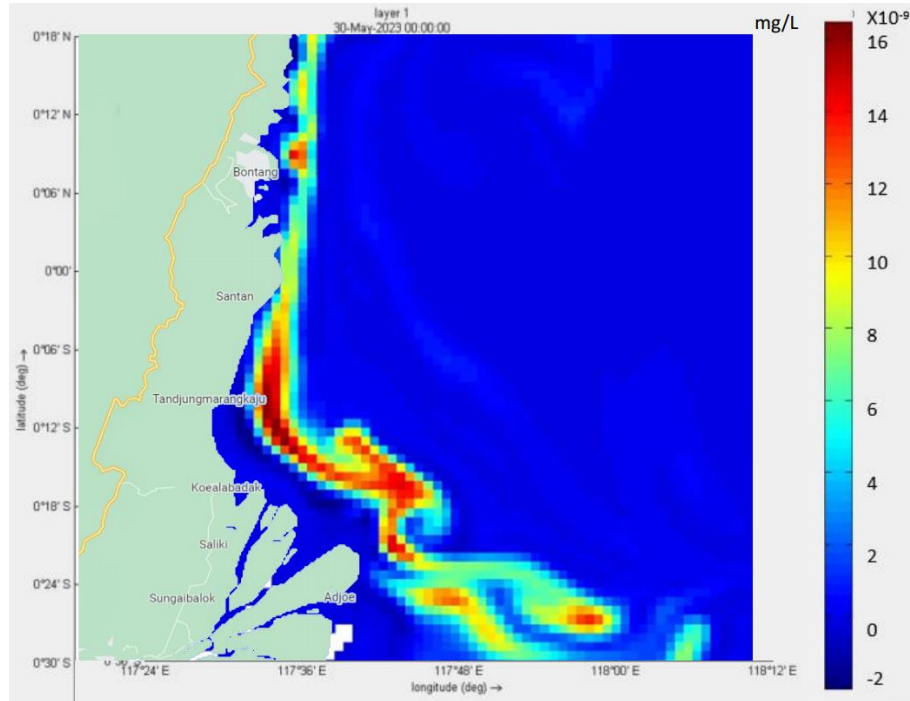
Meskipun hasil perkiraan risikonya rendah, terdapat potensi cemaran bahan kimia dari fasilitas ini seperti vanadium dan *quaternary ammonium chloride* yang berpotensi menimbulkan gangguan ekosistem. Meskipun konsentrasinya rendah berdasarkan pemodelan yaitu $1,48 \cdot 10^{-10}$ mg/L dan $5,8 \cdot 10^{-9}$ mg/L, namun karena memiliki potensi B3, sebaiknya dilakukan kajian ekotoksikologi terhadap bahan kimia ini.

3.3. Pipa ekspor minyak/gas terbuka

Risiko ekologi pada fasilitas ini dianggap serupa dengan fasilitas sebelumnya karena memang tersambung. Perbedaannya adalah pipa terletak di atas permukaan tanah (tidak terkubur), jaraknya kurang dari 5 kilometer dari pantai, dan ukurannya lebih pendek yaitu sekitar 4 kilometer. Hasil HAZID memperkirakan bahwa akan timbul risiko ekologi sedang karena bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses *decommissioning/in-situ abandonment* pada fasilitas ini. Meskipun demikian, secara kuantitatif, hasil pemodelan menunjukkan bahwa risiko yang ditimbulkan akan rendah karena konsentrasi cemaran sangat kecil, serupa dengan fasilitas sebelumnya.

3.4. Jalur produksi *flowline* minyak/gas

Fasilitas ini merupakan penghubung antara sumur pengeboran dan fasilitas pengolahan pada industri migas lepas pantai. Panjangnya sekitar 22 km dengan ukuran diameter yang lebih kecil dibandingkan dengan pipa ekspornya yaitu sekitar 9,5 inchi. Berdasarkan hasil HAZID, diperkirakan akan timbul risiko ekologi sedang dari fasilitas ini. Bahan pencemar yang akan keluar adalah sisa hidrokarbon dan surfaktan SurDecon yang digunakan untuk pencucian sebelum ditinggalkan. Gambar hasil pemodelan pencemar dari fasilitas ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3 Hasil pemodelan cemaran SurDecon fasilitas *flowline* produksi

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi SurDecon yang akan sampai ke pesisir adalah maksimal $1,6 \cdot 10^{-8}$ mg/L. Di dalam SurDecon terdapat kandungan Benzenesulfonic acid dan D-Limonene sebesar $3,2 \cdot 10^{-9}$ mg/L. Kedua senyawa ini memiliki potensi B3 sehingga perlu dilakukan pengujian ekotoksikologi untuk memastikan dosis toksisitasnya. Meskipun demikian, karena konsentrasinya sangat kecil diperkirakan bahaya ekologi yang ditimbulkan akan rendah sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.

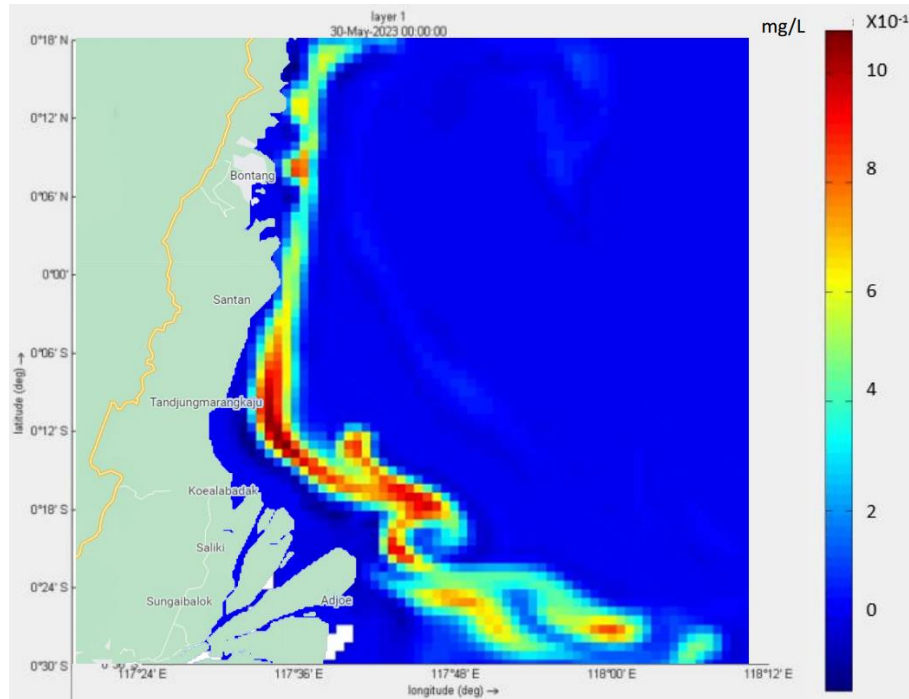
Tabel 4 Matriks risiko ekologi fasilitas *flowline* produksi

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

3.5. Jalur *umbilical* produksi

Fasilitas ini terdiri dari rangkaian kabel dan saluran berukuran kecil yang letaknya berdampingan dengan *flowline*. Panjangnya juga sama dengan *flowline* yaitu sekitar 22 kilometer dan lokasinya puluhan kilometer dari pesisir. Jenis pencemar yang muncul juga serupa yaitu sisa hidrokarbon dan SurDecon. Akan tetapi, ada satu bahan kimia tambahan berupa *wax inhibitor* yang khas ada di fasilitas ini sebagai potensi pencemar ekosistem. Berdasarkan HAZID, risiko ekologi rendah diperkirakan akan muncul.

Berdasarkan pemodelan, jumlah SurDecon yang akan keluar ke lingkungan sama dengan fasilitas sebelumnya dan dapat dilihat pada Gambar X. Untuk potensi pencemaran *wax inhibitor* diperkirakan akan ada sekitar 850 galon dari sumber sehingga ketika dimodelkan akan ada $1,08 \cdot 10^{-9}$ mg/L cemaran bahan ini di pesisir seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil pemodelan cemaran *wax inhibitor* fasilitas *umbilical* produksi

Komponen berbahaya yang ada dalam *wax inhibitor* antara lain adalah *Xylene*, *Ethylbenzene* dan *2-Ethylhexanol*. Berdasarkan hasil pemodelan, konsentrasi masing-masing senyawa tersebut secara berurutan adalah $5,04 \cdot 10^{-10}$ mg/L, $2,52 \cdot 10^{-10}$ mg/L, dan $2,52 \cdot 10^{-10}$ mg/L. Meskipun dalam konsentrasi yang kecil, studi ekotoksikologi diperlukan untuk memastikan dampaknya terhadap ekosistem penting. Nilai risiko ekologi dari fasilitas ini diperkirakan rendah karena kegiatan dilakukan di tengah laut sehingga konsentrasi cemaran yang sampai ke pesisir jumlahnya kecil. Hasil penilaian risiko ekologi fasilitas ini dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Matriks risiko ekologi fasilitas *umbilical* produksi

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

4. Simpulan

Dari hasil studi, dapat disimpulkan bahwa proses analisis risiko ekologi dapat dilakukan dengan mengidentifikasi sumber bahaya dan ekosistem penerima, penilaian risiko, dan pemberian rekomendasi pengendalian risiko. Secara umum, kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* pada lima fasilitas penunjang produksi migas memiliki risiko ekologi yang rendah berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan indeks pencemaran. Meskipun demikian, ada beberapa bahan kimia yang berpotensi B3 dan perlu diuji ekotoksikologinya untuk memastikan dampak ekologisnya. Oleh karena itu, kajian ekotoksikologi kelompok senyawa potensial B3 yang digunakan dalam *decommissioning/in-situ abandonment* perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk melengkapi kajian risiko ekologi ini.

Daftar Pustaka

- Bandan Standardisasi Nasional. 2018. *Manajemen Risiko Berbasis SNI ISO 31000*. Indonesia.
- Holsman, K, Samhour, J, Cook, G, Hazen, E, Olsen, E, Dillard, M, Kasperski, S, Gaichas, S, Kelble, CR, Fogarty, M & Andrews, K 2017, 'An ecosystem-based approach to marine risk assessment', *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 3, no. 1, p. e01256.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 15 Tahun 2018 Tentang Kegiatan Pasca Operasi Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi*. Indonesia
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Penentuan Status Mutu Air Dengan Metoda Indeks Pencemaran*. Indonesia.
- Lyons, Y 2014, 'The New Offshore Oil and Gas Installation Abandonment Wave and the International Rules on Removal and Dumping', *The International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 29, no. 3, pp. 480-520.
- Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas. 2023. *Pedoman Tata Kerja PTK-040/SKKIA0000/2023/S9 tentang Abandonment and Site Restoration (ASR)*. Indonesia
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2024. *Ecological Risk Assessment*. Diakses berkala dari: <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>
- Vidal, PdCJ, González, MOA, Vasconcelos, RMd, Melo, DCd, Ferreira, PdO, Sampaio, PGV & Silva, DRd 2022, 'Decommissioning of offshore oil and gas platforms: A systematic literature review of factors involved in the process', *Ocean Engineering*, vol. 255, p. 111428.