

Studi Penilaian Risiko Lingkungan untuk *Decommissioning* Fasilitas Migas Lepas Pantai di Kawasan Selat Makassar

Arry Febrianto^{*1,2)}, Budi Suswanto¹⁾, dan Irwan Susilo³⁾

¹⁾Program Studi Profesi Insinyur, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

²⁾Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

³⁾INKINDO Jawa Timur, Jl. Rungkut Asri Utara No.VII / 7, Surabaya, 60132, Indonesia
Email: febrianto@its.ac.id, budi_suswanto@its.ac.id, irwan@geospasia.com

ABSTRAK

Setelah lapangan migas telah melewati masa produktifnya maka operasi lapangan harus dihentikan dan fasilitas produksi harus ditutup. Selanjutnya, *decommissioning* dan/atau *in situ abandonment* akan dilakukan. Penilaian risiko lingkungan perlu dilakukan untuk mengukur dan mengetahui potensi bahaya bagi lingkungan akibat kegiatan *decommissioning*. Metode yang digunakan yaitu dengan analisis Hazid (*Hazard Identification*) kemudian dilakukan kajian degradasi material dan laju korosi dari pipa serta penentuan kualitas mutu air dengan metode indeks pencemaran. Hasil analisis kemudian dibuat dalam matriks risiko dengan mempertimbangkan nilai kekerapan dan keparahan dari potensi risiko lingkungan. Hasil studi menunjukkan bahwa kegiatan *decommissioning* tidak berpotensi mengubah kualitas air laut eksisting yang berada dalam kategori baik atau memenuhi baku mutu sehingga hasil analisis risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* pada lapangan migas termasuk ke dalam kategori risiko rendah.

Kata kunci: Analisis Risiko, *Decommissioning*, Dampak Lingkungan, Indeks Pencemaran, Migas

1. Pendahuluan

Setelah beroperasi lebih dari 20 tahun, fasilitas migas lepas pantai di kawasan Selat Makassar telah melewati masa produktifnya. Pada kondisi seperti itu, operasi lapangan harus dinonaktifkan dan fasilitas produksi harus ditutup. Kegiatan penonaktifan/*decommissioning* merupakan kegiatan tahap akhir dari eksplorasi sumur migas yang sudah tidak produktif atau tidak layak operasi. Kegiatan *decommissioning* dapat dilakukan dengan mengambil peralatan material eksplorasi dari lepas pantai ke daratan untuk didaur ulang dan/atau dapat ditinggalkan di tempat eksplorasi lepas pantai atau yang disebut *in-situ abandonment*. Menurut Shams et al. (2023) terdapat tiga opsi dalam melakukan proses *decommissioning* yaitu pertama dengan meninggalkan alat produksi di tempat (*in-situ*) yang terlebih dahulu perlu dilakukan proses pembersihan dan penyisihan hidrokarbon dalam material. Opsi kedua yaitu penyisihan parsial di mana terdapat sebagian struktur yang ditinggalkan di tempat dan opsi ketiga yaitu penyisihan secara menyeluruh di mana seluruh struktur akan dipindahkan dari tempat lapangan migas lepas pantai ke daratan. Penelitian oleh Melbourne-Thomas et al (2021) terkait analisis risiko dari penerapan opsi-opsi kegiatan *decommissioning* di Australia dan beberapa negara lainnya, diketahui bahwa pemilihan opsi pada umumnya mempertimbangkan aspek ekonomi kemudian dampak lingkungan, sehingga yang sering ditemukan adalah penerapan opsi *in-situ abandonment*. Pemilihan dari opsi-opsi *decommissioning* tersebut akan berpengaruh terhadap beberapa faktor yaitu adanya perubahan habitat asli biota sehingga dapat membantu migrasi spesies invasif, potensi sebaran kontaminan sisa kegiatan produksi, serta potensi dampak sosial-ekonomi dari penerapan regulasi pada pemilihan opsi *decommissioning* tertentu.

Pada praktik *decommissioning* perlu dipertimbangkan beberapa aspek yang menjadi dampak dari kegiatan tersebut diantaranya adalah keanekaragaman hayati, produksi biomassa, konservasi, konektivitas, konsumsi energi dan jejak karbon, gangguan fisik secara langsung, serta penyebaran polutan atau kontaminan (Sommer et al., 2019). Diperlukan analisis yang mengkaji struktur dan material produksi serta studi terkait potensi laju degradasi dan paparan

yang mungkin terjadi pada lingkungan dan ekosistem hasil kegiatan *decommissioning*. Menurut Chen et al. (2024) terdapat beberapa sumber penyebaran polutan yang terjadi pada proses *decommissioning* di fasilitas migas Laut China Selatan, di antaranya adalah kebocoran sisa tumpahan minyak dan limbah pada proses pembongkaran fasilitas, korosi pada pipa, penggunaan bahan kimia saat pembersihan pipa/*flushing*, serta kabel yang ditinggalkan di dasar laut. Dampak lingkungan merupakan dampak terbesar yang timbul dari kegiatan *decommissioning*. Faktor-faktor yang mempengaruhi hal tersebut di antaranya adalah rusaknya keseimbangan ekosistem, perubahan karakteristik air laut, cemaran limbah dan emisi polutan (Vidal et al, 2022). Oleh karena itu diperlukan studi penilaian risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* fasilitas migas lepas Pantai di kawasan Selat Makassar untuk dapat meminimalkan potensi dampak lingkungan dari kegiatan tersebut.

Konvensi OSPAR (Oslo-Paris) yaitu konvensi untuk perlindungan lingkungan Laut Atlantik Timur Laut mengeluarkan regulasi terkait pendekatan pengelolaan risiko yang perlu dilakukan dalam kegiatan emisi limbah ke dalam perairan. Terdapat di antaranya 6 langkah utama yang perlu dilakukan dalam pendekatan analisis risiko yaitu identifikasi masalah, karakterisasi bahaya, karakterisasi paparan, karakterisasi risiko, dokumentasi penilaian dan menerapkan tindakan pencegahan serta pemantauan secara berkala (Beyer et al., 2020). Pendekatan dengan metode tersebut akan membantu dalam hal mitigasi dari potensi limbah dan zat-zat berbahaya yang masuk ke lingkungan. Penilaian risiko lingkungan akan mengidentifikasi potensi bahaya lingkungan yang disebabkan oleh suatu aktivitas kemudian menentukan kemungkinan atau probabilitasnya dalam menimbulkan dampak negatif pada berbagai aspek lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis metode yang dapat digunakan dalam analisis risiko lingkungan pada proyek *decommissioning* fasilitas migas lepas pantai sehingga dapat ditentukan besaran risiko lingkungan yang akan timbul akibat dari kegiatan *decommissioning* pada fasilitas migas lepas pantai di Selat Makassar.

2. Metode

Penilaian risiko lingkungan didasarkan pada potensi cemaran dari aspek-aspek fasilitas yang ada di lapangan migas. Pada tahap awal, dilakukan analisis identifikasi bahaya/*hazard identification* (HAZID) dari komponen fasilitas produksi migas ketika skenario *decommissioning* akan diterapkan. Pada penelitian ini ditentukan bahwa opsi yang akan dilakukan pada kegiatan *decommissioning* adalah *in-situ abandonment*. Dari tahap analisis HAZID kemudian didapatkan potensi bahaya pada setiap titik bagian fasilitas berikut tindak lanjut yang diperlukan dalam meminimalkan potensi-potensi bahaya tersebut. Kajian literatur digunakan sebagai tindak lanjut hasil analisis HAZID yang berupa kajian daur hidup material penyusun fasilitas produksi serta estimasi laju peluruhannya di air laut ketika dilakukan *in-situ abandonment*. Data dari hasil kajian tersebut, kemudian digunakan dalam penentuan status mutu air laut dengan metode indeks pencemaran. Dari hasil perhitungan metode indeks pencemaran, kemudian ditentukan besaran risiko lingkungan menggunakan matriks risiko dengan mempertimbangkan hasil dari tahapan-tahapan kajian yang telah dilakukan.

2.1 Analisis HAZID

Analisis identifikasi bahaya dilakukan untuk menilai dampak yang dapat ditimbulkan dari kegiatan proyek serta diilustrasikan dengan matriks risiko. Model dari matriks risiko didasarkan pada penilaian kemungkinan frekuensi terjadi/*likelihood* serta estimasi tingkat keparahan/*severity* yang ditimbulkan dari kejadian tersebut. Penilaian terkait analisis risiko lingkungan dilakukan terhadap setiap unit-unit produksi yang ada dalam fasilitas yang terhimpun dalam satu lingkup proses yang disebut *node*. Interpretasi dari matriks risiko

didasarkan pada manajemen risiko berbasis ISO 31000 dengan membagi kategori risiko berdasarkan tingkatnya (Vorst et al, 2018), seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.

		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

Gambar 1. Contoh Matriks Risiko 6x5

Pada hasil matriks analisis risiko terdapat pembagian tiga kategori risiko yaitu:

- Warna merah (15-30) dikategorikan sebagai Risiko Tinggi (*High Risk*). Risiko tidak dapat diterima (*unacceptable*), pekerjaan tidak dapat dilakukan. Tindakan pengendalian perlu segera dilakukan untuk menurunkan tingkat risiko, Keterlibatan pemimpin diperlukan untuk pengendalian tersebut.
- Warna kuning (5-12) dikategorikan Risiko Sedang (*Medium Risk*). Risiko tidak dapat diterima (*unacceptable*), harus dilakukan pengendalian tambahan untuk menurunkan tingkat risiko. Pengendalian tambahan harus diterapkan dalam periode waktu tertentu.
- Warna hijau (1-4) dikategorikan Risiko Rendah (*Low Risk*). Risiko dapat diterima (*acceptable*), tidak diperlukan pengendalian tambahan tetapi diperlukan pemantauan untuk memastikan pengendalian yang ada dilaksanakan dan dikelola.

2.2 Analisis Status Mutu Air

Terdapat rujukan metode yang disyaratkan dalam penentuan status mutu air berdasarkan KepmenLH no 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air yang salah satunya adalah metode indeks pencemaran. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar. Metode perhitungan indeks pencemaran menggunakan Persamaan 1.

$$IP_j = \frac{\sqrt{((C_i/L_{ij})^2 M + ((C_i/L_{ij})^2 R)}}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

L_{ij} = konsentrasi masing-masing standar kualitas air sesuai baku mutu (j)

C_i = konsentrasi masing-masing parameter kualitas air hasil perhitungan

IP_j = Indeks Pencemaran (j)

(C_i/L_{ij})_M = Nilai Maksimum (C_i/L_{ij})

(C_i/L_{ij})_R = Nilai rata-rata (C_i/L_{ij})

Metode ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu. Evaluasi terhadap nilai IP adalah :

0 ≤ IP_j ≤ 1,0 = memenuhi baku mutu (kondisi baik)

1,0 < IP_j ≤ 5,0 = cemaran ringan

5,0 < IP_j ≤ 10 = cemaran sedang

$PI_j > 10$ = cemar berat

2.3 Analisis Risiko Lingkungan

Pada analisis risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning*, komponen kajian utama dampak lingkungan terhadap kegiatan adalah potensi polutan yang akan terlepas ke lingkungan khususnya air laut. Penentuan variabel polutan dilakukan dengan studi literatur dari dokumen lingkungan terkait *oil properties* yang berasal dari dokumen pemantauan RKL/RPL yang telah dilakukan oleh perusahaan. Selain itu penentuan variabel polutan pada air laut juga mempertimbangkan PP no. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada Lampiran VIII terkait Baku Mutu Air Laut kategori Biota Laut. Perhitungan parameter kualitas air laut dilakukan dengan kajian transportasi polutan hasil dari kegiatan *decommissioning* dengan mempertimbangkan laju degradasi dari korosi pipa serta kemungkinan tumpahan minyak yang terdispersi ke laut. Data potensi cemar hasil kajian tersebut kemudian dielaborasi dengan parameter-parameter pencemar lain untuk dilakukan penentuan indeks pencemaran. Penentuan kualitas mutu air hasil dari perhitungan indeks pencemaran kemudian menjadi basis rekomendasi dalam formulasi matriks risiko sehingga didapatkan kesimpulan akhir terkait potensi besaran risiko lingkungan, dampak dari kegiatan *decommissioning*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis HAZID

Hasil analisis sumber bahaya atau *hazard identification* dilakukan pada setiap titik aset produksi fasilitas migas dengan metode HIRA (*Hazard Identification and Risk Analysis*). Metode HIRA merupakan metode analisis risiko untuk mengenali potensi bahaya dan menilai risiko di dalam suatu fasilitas dengan tujuan untuk memastikan bahwa risiko terhadap karyawan, masyarakat, atau lingkungan terkendali secara konsisten sesuai dengan toleransi risiko yang ditetapkan oleh organisasi. Pada tahap awal aplikasi metode HIRA dilakukan dengan menentukan tingkat *severity* atau keparahan serta *likelihood* atau kekerapan dari kegiatan *decommissioning*. Setelah dilakukan penentuan basis *likelihood* dan *severity* berdasarkan peraturan dan *best practice* yang ada di industri minyak dan gas, analisis kemudian dilanjutkan dengan penentuan risiko lingkungan berdasarkan titik proyek yang akan dilakukan *abandonment*. Titik proyek terdiri dari fasilitas produksi yang berlokasi di lepas pantai serta fasilitas di daratan yang terhubung dengan serangkaian fasilitas produksi. Aset fasilitas yang akan dilakukan *abandonment* merupakan fasilitas lepas Pantai yang dibagi menjadi dalam 9 titik / *node* seperti yang dijabarkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Titik Aset Fasilitas yang akan Ditinggalkan

Node	Detail Fasilitas
1	12 kabel tambat/ <i>mooring wires</i> (<i>carbon steel</i> dan <i>outersheath</i>).
2	12" Riser Catenary jalur ekspor minyak dan gas (<i>material carbon steel</i>).
3	12" Jumper Produksi
4	6" Jumper Produksi
5	Flowline Production Bangka
6	Umbilical Produksi Bangka
7	8 Tendon 26" x 1000 m (<i>carbon steel</i>)
8	12" Pipa Bawah Laut Jalur Ekspor Minyak dan Gas (<i>offshore</i>)
9	12" Pipa Bawah Laut Jalur Ekspor Minyak dan Gas (<i>onshore</i>)

Identifikasi risiko lingkungan dengan metode HIRA dilakukan dengan *workshop*/lokakarya bersama praktisi yang berpengalaman dan memiliki sertifikasi di bidang keselamatan, kesehatan kerja dan lingkungan di industri migas. Lokakarya dilakukan antara tim ahli, praktisi beserta

dengan pengelola lapangan migas. Berdasarkan analisis HAZID di 9 *node* lokasi, diketahui bahwa terdapat beberapa titik yang perlu mendapatkan perhatian terkait potensi cemaran lingkungan yang akan dihasilkan dari kegiatan *decommissioning*. Dari hasil penilaian tersebut, didapatkan rekomendasi terhadap kajian-kajian tindak lanjut yang perlu dikaji, seperti laju degradasi material yang dapat berpotensi mengalami korosi serta kajian potensi sebaran polutan. Potensi cemaran lingkungan berdasarkan analisis HAZID dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Potensi Cemaran Lingkungan pada Fasilitas Migas

Node	Sumber Cemaran	Potensi Cemaran	Tindak lanjut
1	Kabel Tambat	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
2	<i>Riser Catenary</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Pemodelan
3	Jumper Produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Pemodelan • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
4	Jumper Produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemodelan • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
5	Flowline produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
6	Umbilical Produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Kebocoran pada tubing fitting • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemodelan • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
7	Tendon	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi pada bagian dalam • Korosi pada bagian luar 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemodelan • Sudah terdapat <i>safeguards</i>
8	Pipa bawah laut (<i>offshore</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Pemodelan
9	Pipa bawah laut (<i>onshore</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Kebocoran pipa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i>

Selain dengan menggunakan pemodelan, mitigasi potensi cemaran dilakukan dengan tindakan *safeguards*. Tindakan *safeguards* yang dimaksud yaitu dengan pembilasan pada pipa yang akan dilakukan *abandonment*, kemudian hasil pembilasan akan dikirimkan ke instalasi pengolahan air limbah yang ada di daratan. Pipa akan dibilas dengan beberapa senyawa kimia kemudian pada tahap akhir akan dibilas dengan menggunakan air laut. Pipa hasil pembilasan kemudian akan disumbat, sehingga potensi sisa cemaran setelah pembilasan akan tetap tertinggal dalam pipa. Selain dengan metode pembilasan, pipa yang akan ditinggalkan juga telah dilapisi dengan *coating* atau pelindung anti korosi sehingga dapat meminimasi dampak sebaran cemaran logam Fe ketika ditinggalkan pada dasar laut. Pelapisan luar dengan anoda tersebut dapat bertahan hingga 30 tahun. Oleh karena itu setelah proses *decommissioning* dilakukan, anoda diperkirakan akan bertahan selama 7-8 tahun. Setelah 7-8 tahun dari *decommissioning*, pipa akan mulai mengalami korosi akibat air laut. Menurut Su dan X. Gao (2017), laju korosi besi di air laut adalah 1,99 mm per tahun. Berdasarkan hasil kajian transport polutan, diperkirakan konsentrasi ion Fe di air laut selama 20 tahun adalah 0,0000094 mg/L sehingga dapat disimpulkan potensi pencemaran akibat korosi pipa dianggap sangat kecil.

3.2 Kajian Degradasi Material

Proses *decommissioning* dan *abandonment* pada aset fasilitas produksi dilakukan di lepas pantai untuk kemudian ditinggalkan di dasar laut sehingga dibutuhkan kajian terkait degradasi material akibat paparan dan tekanan dari air laut pada setiap aset produksi yang akan ditinggalkan. Identifikasi material pada aset produksi yang akan ditinggalkan di dasar laut diketahui memiliki lapisan pelindung/*outersheath*. Penentuan jenis komponen penyusun lapisan pelindung aset produksi telah diketahui dari dokumen perusahaan kemudian diverifikasi oleh praktisi pada saat lokakarya HAZID. Rincian material pelindung/*outersheath* pada setiap titik fasilitas dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Material *Outersheath* pada Titik Aset Fasilitas

Node	Material	Bahan <i>Outersheet</i> / Lapisan Luar*	Daur hidup di perairan laut (tahun)**
1	<i>Mooring wires</i>	PET	450
3	<i>IP dan LP production jumper</i>	PA 11	600
4	<i>Gas lift jumper</i>	PA 11	600
5	<i>Flowline</i>	PETP	450
6	<i>Umbilical</i>	PE	450

*Sumber: Dokumen perusahaan

**Sumber: Yuan et al (2022)

Kabel tambat/*mooring wires* terbuat dari campuran bahan antara kawat logam dan serat sintetis yang dirangkai dari serat baja yang dipadukan dengan poliester untuk menghasilkan tali tambat yang ringan di atas platform lepas pantai (Amran dan Koto, 2016). Serat poliester ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dari air laut karena mengandung asam tereftalat, atau bahan yang biasa menjadi prekursor untuk PET. PET termasuk dalam kategori material yang tidak terdegradasi oleh mikroba di lingkungan laut, dan digolongkan sebagai senyawa *moderately degradable* yaitu senyawa yang memiliki daur hidup antara 100-1000 tahun dengan potensi daur hidup di alam yang mencapai 450 tahun pada kondisi tertentu (Yuan et al., 2022).

Kajian material *jumper* di *node* 3 dan 4 memiliki *outersheat* yang berupa material PA 11. PA 11 merupakan material plastik yang berupa Polyamida yang biasa digunakan sebagai pelindung pada lapisan pipa. Penggunaan *coating* Polyamida merupakan pengembangan dari *coating* yang dilakukan dengan Polyetilen yang telah banyak diterapkan sebelumnya dengan karakteristik tetap elastis seperti Polyetilen namun memiliki kekuatan perlindungan mekanis

yang lebih besar (Hartmann et al., 2011). Berdasarkan publikasi dari Yuan et al. (2022) PA 11 termasuk ke dalam material yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroba di lingkungan perairan laut dengan daur hidup mencapai 600 tahun.

Hasil kajian pada node 5 didapatkan bahwa komponen material pelindung *flowline* merupakan PETP yang berfungsi sebagai material pelindung anti korosi. PETP merupakan istilah yang dahulu dipakai untuk polyethylene terephthalate atau yang sekarang lebih dikenal sebagai PET (Wegener et al, 2005). Polietilena tereftalat digunakan sebagai perlindungan anti korosif yang baik pada pipa baja melalui proses industry dengan karakteristik homogen, bebas dari defek dan retakan pada serangkaian *salt spray test* (Silva et al., 2019). Berdasarkan penelitian dari Yuan et al. (2022), PET termasuk ke dalam material yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroba di lingkungan perairan laut dengan daur hidup mencapai 450 tahun.

Kajian pada node 6 yang merupakan material *umbilical* yaitu material yang berfungsi sebagai media transfer tenaga hidraulik, kelistrikan, bahan kimia dan gas pada instalasi bawah laut yang memiliki lapisan terluar berbahan PE atau Polietilena yang berfungsi sebagai insulasi pada kabel di laut dalam. Insulasi pada kabel/*outersheath umbilical* didesain untuk kuat secara mekanis, stabil di bawah pengaruh air laut, tahan terhadap perubahan suhu serta proses penuaan dengan bahan dasar terbuat dari Polietilena yang terbagi menjadi LDPE (*low density polietilen*), MDPE (*medium density polietilen*) serta HDPE (*high density polietilen*) (Worzyk, 2009). Berdasarkan publikasi dari Yuan et al (2022), LDPE serta HDPE termasuk ke dalam material yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroba di lingkungan perairan laut dengan daur hidup mencapai 450 tahun.

3.3 Penentuan Indeks Pencemaran

Penentuan dampak lingkungan dari kegiatan *decommissioning* dilakukan dengan membandingkan antara kondisi pra-*decommissioning* dengan pasca *decommissioning*. Pendekatan yang diambil adalah dengan membandingkan kondisi air laut pasca *decommissioning* dengan standar kualitas air laut yang diatur oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada Lampiran VIII bagian biota laut. Analisis penetapan status kualitas air laut yang digunakan dalam studi ini dilakukan dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran (IP). Tinjauan potensi cemaran dilakukan berdasarkan basis lokasi fasilitas-fasilitas produksi, sehingga dilakukan pembagian zona untuk penggunaan nilai IP.

Perhitungan nilai Indeks Pencemaran (IP) dilakukan menggunakan data sekunder dokumen lingkungan terkait hasil analisis perusahaan mengenai kualitas air laut pada Kuartal IV tahun 2022 berikut dengan kajian persebaran pencemar pada parameter total petroleum hidrokarbon (TPH). Analisis kualitas air laut dilakukan secara berkala yang kemudian hasilnya dituangkan dalam dokumen RKL-RPL perusahaan. Data perhitungan nilai Indeks Pencemar dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perhitungan Nilai Indeks Pencemar

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu (Li)	Zona A (Ci)	Zona B (Ci)	Zona C (Ci)	(Ci/Li) zona A	(Ci/Li) zona B	(Ci/Li) zona C
1	BOD5	mg/L	20	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2	Amonia Total (NH3-N)	mg/L	0,3	0,01	0,01	0,03	0,033	0,033	0,1
3	Ortofosfat (PO4-P)	mg/L	0,015	0,003	0,003	0,003	0,2	0,2	0,2
4	Nitrat	mg/L	0,06	0,02	0,02	0,02	0,333	0,33	0,33
5	Sianida (CN-)	mg/L	0,5	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004
6	Sulfida (H2S)	mg/L	0,01	0,001	0,003	0,004	0,1	0,3	0,4
7	Hidrokarbon Petroleum Total (TPH)	mg/L	0,02	8,2E-09	8,2E-09	8,2E-09	4,1E-07	4,1E-07	4,1E-07

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu (Li)	Zona A (Ci)	Zona B (Ci)	Zona C (Ci)	(Ci/Li) zona A	(Ci/Li) zona B	(Ci/Li) zona C
8	Senyawa Fenol Total	mg/L	0,002	0,0008	0,0008	0,0009	0,4	0,4	0,45
9	PAH (Poliaromatik Hidrokarbon)	mg/L	0,003	0,00004	0,00004	0,00004	0,0133	0,013	0,013
10	PCB (Poliklor bifenil)	µg/L	0,01	0,002	0,002	0,002	0,2	0,2	0,2
11	Surfaktan (deterjen) sebagai MBAS	mg/L	1	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
12	Minyak dan Lemak	mg/L	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
13	TBT (tri Butil tin)	µg/L	0,01	0,005	0,005	0,005	0,5	0,5	0,5
14	Raksa (Hg)	mg/L	0,001	0,0005	0,0002	0,0002	0,5	0,2	0,2
15	Kromium heksavalen (Cr(VI))	mg/L	0,005	0,002	0,002	0,002	0,4	0,4	0,4
16	Arsen (As)	mg/L	0,012	0,00015	0,0017	0,0017	0,0125	0,14	0,14
17	Kadmium (Cd)	mg/L	0,001	0,0002	0,0002	0,0002	0,2	0,2	0,2
18	Tembaga (Cu)	mg/L	0,008	0,004	0,0003	0,0003	0,5	0,037	0,037
19	Timbal (Pb)	mg/L	0,008	0,0007	0,00003	0,00003	0,087	0,0037	0,0037
20	Seng (Zn)	mg/L	0,05	0,01	0,01	0,0003	0,2	0,2	0,006
21	Nikel (Ni)	mg/L	0,05	0,01	0,001	0,0002	0,2	0,02	0,004
	Catatan:					(Ci/Li) Rata-rata	0,21	0,18	0,18
	Zona A = 500 m Upstream Field				IP		0,38	0,19	0,19
	Zona B = 500 m Downstream Field								
	Zona C = 1250 m Downstream Field								

3.4 Analisis Risiko Lingkungan

Menurut kajian yang dilakukan Desrina et al. (2013) diketahui bahwa potensi kegiatan *decommissioning* di Indonesia mencapai puncaknya pada dekade ini dari ratusan sumur minyak lepas pantai yang ada di Indonesia. Sehingga diperlukan kajian pemilihan teknologi yang komprehensif berikut dampak lingkungan yang akan dihasilkan. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa frekuensi kegiatan *decommissioning* di Indonesia berada pada level yang tinggi pada dekade ini, namun belum terdapat laporan studi (yang dapat diakses secara daring) yang menyatakan terkait risiko lingkungan yang timbul dari kegiatan *decommissioning* di Indonesia, sehingga besaran risiko lingkungan tidak dikategorikan termasuk dalam kejadian yang hampir tidak mungkin terjadi karena ditemukannya potensi cemaran di lapangan skala internasional seperti pada penelitian oleh Chen et al (2024). Oleh karena itu, tingkat kekerapan/*likelihood* risiko cemaran dari kegiatan *decommissioning* pada lapangan migas dikategorikan sangat rendah atau berada pada angka 2.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, proses *decommissioning* pada lapangan migas memiliki tingkat *severity*/keparahan yang rendah atau hanya terjadi secara insidental. Oleh karena itu tingkat *severity* memiliki nilai *severity* 1. Hal ini ditandai dengan rendahnya resiko cemaran yang mungkin timbul berdasarkan studi literatur dan kajian transport polutan serta hasil perhitungan indeks pencemaran yang menyatakan bahwa kualitas air laut diprediksi berada pada kondisi yang baik atau sesuai dengan baku mutu yang disyaratkan. Oleh karena itu, matriks analisis risiko yang terbentuk dengan nilai *severity* 1 dan *likelihood* 2 dapat dilihat pada **Gambar 2**. Dari hasil matriks risiko diketahui bahwa risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* pada fasilitas migas lepas pantai di kawasan Selat Makassar dikategorikan dalam risiko rendah (*Low Risk*), risiko dapat diterima (*acceptable*), tidak diperlukan

pengendalian tambahan tetapi diperlukan pemantauan untuk memastikan pengendalian yang ada dilaksanakan dan dikelola.

		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

Gambar 2. Matriks Risiko Kegiatan *Decommissioning*

4. Simpulan

Faktor-faktor yang perlu ditinjau terkait analisis risiko lingkungan pada proyek *decommissioning* fasilitas minyak dan gas lepas pantai yaitu penentuan node atau titik fasilitas produksi, penerapan metode HAZID (*Hazard identification*), analisis mutu air laut dengan metode penentuan indeks pencemaran serta penyajian matriks risiko sehingga diketahui tingkat potensi risiko dari kegiatan *decommissioning* fasilitas minyak dan gas lepas pantai. Berdasarkan hasil kajian analisis risiko lingkungan yang telah dilakukan, diprediksi bahwa hasil kegiatan *decommissioning* tidak mengubah kualitas air laut yang saat ini berada dalam kategori baik atau memenuhi baku mutu sehingga hasil analisis risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* pada lapangan migas lepas pantai di Kawasan Selat Makassar termasuk ke dalam kategori risiko rendah.

Daftar Pustaka

- Amran, N. A., & Koto J. (2016) A Review on Types of Mooring Material for Deep Water Offshore Structure. *Journ of Subsea and Off, Scie and Eng.* 7. 10-14
- Beyer, J., Goksøyr, A., Hjermmann, D. Ø., & Klungsøyr, J. (2020). Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf. *Marine environmental research*, 162, 105155.
- Chen, D., Chen, L., Zhang, Y., Wang, X., Wang, J., & Wen, P. (2024). Decommissioning offshore oil and gas facilities in China: Process and environmental impacts. *Ocean Engineering*, 296, 116887.
- Desrina, R., Anwar, C., & Susantoro, T. M. (2013). Environmental Impacts Of The Oil And Gas Platform Decommissioning. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 36(2), 97-103.
- Hartmann, M., Kocks, H. J., & Maier, S. (2011) Polyamide coatings for non-conventional pipe laying methods. *Trench Tech.* 2. 36-42. www.smlp.eu
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan/KLHK 2003. KepmenLH no 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Melbourne-Thomas, J., Hayes, K. R., Hobday, A. J., Little, L. R., Strzelecki, J., Thomson, D. P., ... & Hook, S. E. (2021). Decommissioning research needs for offshore oil and gas infrastructure in Australia. *Frontiers in Marine Science*, 8, 711151.
- Sekretariat Kabinet Republik Indonesia/Sekneg 2021. PP no 22 tahun 2021 tentang Perlindungan Penyelenggaraan Lingkungan Hidup
- Shams, S., Prasad, D. R., Imteaz, M. A., Khan, M. M. H., Ahsan, A., & Karim, M. R. (2023). An Assessment of Environmental Impact on Offshore Decommissioning of Oil and Gas Pipelines. *Environments*, 10(6), 104.

- Silva, E., Fedel, M., Deflorian, F., Cotting, F., & Lins, V. (2019). Properties of post-consumer polyethylene terephthalate coating mechanically deposited on mild steels. *Coatings*, 9(1), 28.
- Su, G., & Gao, X. (2017). Comparison of medium manganese steel and Q345 steel on corrosion behavior in a 3.5 wt% NaCl solution. *Materials*, 10(8), 938.
- Sommer, B., Fowler, A. M., Macreadie, P. I., Palandro, D. A., Aziz, A. C., & Booth, D. J. (2019). Decommissioning of offshore oil and gas structures—Environmental opportunities and challenges. *Science of the total environment*, 658, 973-981.
- Vidal, P. D. C. J., González, M. O. A., de Vasconcelos, R. M., de Melo, D. C., de Oliveira Ferreira, P., Sampaio, P. G. V., & da Silva, D. R. (2022). Decommissioning of offshore oil and gas platforms: A systematic literature review of factors involved in the process. *Ocean Engineering*, 255, 111428.
- Vorst, C. R., Priyarsono, D. S., & Budiman, A. (2018). Manajemen risiko berbasis SNI ISO 31000. *Jakarta Pusat: Badan Standardisasi Nasional*.
- Wegener, M., Wirges, W., Dietrich, J. P., & Gerhard-Multhaupt, R. (2005, September). Polyethylene terephthalate (PETP) foams as ferroelectrets. In *2005 12th International Symposium on Electrets* (pp. 28-30). IEEE.
- Worzyk, T. (2009). *Submarine power cables: design, installation, repair, environmental aspects*. Springer Science & Business Media.
- Yuan, Z., Nag, R., & Cummins, E. (2022). Ranking of potential hazards from microplastics polymers in the marine environment. *Journal of Hazardous Materials*, 429, 128399.