



# Studi bahaya pencemaran tumpahan kargo curah kering akibat kecelakaan kapal (studi kasus kapal x di perairan Pulau Bawean)

SILMINA SABILA<sup>1</sup>, HARUKI AGUSTINA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta, 10430, Indonesia

\*Correspondence: haruki.agustina11@ui.ac.id

Diterima: 15 Desember 2023

Direvisi Akhir: 28 Januari 2024

Disetujui: 26 Februari 2024

## ABSTRAK

Transportasi laut kapal berpotensi memberikan bahaya pencemaran melalui kecelakaan kapal. Kargo curah kering berbahaya yang diangkut dapat secara langsung memberikan paparan terhadap lingkungan laut. Kargo curah kering seperti batu bara dan bijih besi merupakan contoh jenis kargo curah kering berbahaya. Namun, saat ini informasi mengenai bahaya pencemaran dari tumpahan kargo curah kering masih terbatas. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bahaya pencemaran dari tumpahan kargo curah kering akibat kecelakaan kapal X. Metode yang digunakan adalah *mixed methods* kuantifikasi risiko bahaya pencemaran dan dampak sosial ekonomi. Hasil yang didapatkan yaitu tumpahan kargo curah kering kapal X termasuk kategori risiko rendah. Tumpahan berdampak terhadap kondisi lingkungan laut, dengan estimasi sebaran tumpahan 874,187km<sup>2</sup> dan tidak terdapat dampak sosial ekonomi terhadap masyarakat di sekitar lokasi.

**KATA KUNCI:** kargo curah kering; kecelakaan kapal; pencemaran; sosial ekonomi

## ABSTRACT

Marine transportation has the potential to pose a pollution threat through ship accidents. Dangerous dry bulk cargoes carried may provide direct exposure to the marine environment. Dry bulk cargoes such as coal and iron ore are examples of dangerous dry bulk cargoes. However, current information regarding the dangers of pollution from spilled dry bulk cargo is still very limited. Therefore, this study aims to analyze the pollution hazard from spills of dry bulk cargo due to the X ship accident. The method used is a mixed methods descriptive analysis of hazards and socio-economic impacts. The results obtained are that the dry bulk cargo spill has an impact on marine environmental conditions, with an estimated spill distribution of 874,187km<sup>2</sup> and there is no socio-economic impact on the community around the location.

**KEYWORDS:** dry bulk cargoes; ship accidents; cement industry; social economics

## 1. Pendahuluan

Transportasi laut merupakan tulang punggung perdagangan dunia dalam distribusi barang dan produk, lebih dari 80% volume perdagangan dunia dibawa melalui laut (UNCTAD, 2019). Tingginya aktivitas transportasi laut membuat isu keberlanjutan lingkungan laut menjadi perhatian pada beberapa tahun terakhir. Kapal, sebagai moda transportasi laut merupakan salah satu sumber berbagai pencemaran di lingkungan laut (Jägerbrand et al., 2019) sehingga memberikan ancaman terhadap keberlanjutan lingkungan laut. Pencemaran yang dapat terjadi antara lain penurunan kualitas air laut (El

### Cite This Article:

Sabila, S., & Agustina, H. (2024). Studi Bahaya Pencemaran Tumpahan Kargo Curah Kering Akibat Kecelakaan Kapal (Studi Kasus Kapal X Di Perairan Pulau Bawean). *Journal of Marine Problems and Threats*, 1(1), 34-43. <https://doi.org/10.61511/jmarpt.v1i1.2024.709>

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Zrelli et al., 2018), eutrofikasi (B. Wang et al., 2018), sedimentasi (Duckworth et al., 2017), pemutihan terumbu karang (Sully et al., 2019), kontaminasi logam berat pada organisme (Zalewska & Danowska, 2017), hingga penurunan kualitas udara (Choi & Lee, 2019).

Sumber pencemaran dapat berasal dari kegiatan operasional maupun kecelakaan kapal. Kecelakaan kapal dapat mengakibatkan efek domino yang berakibat fatal seperti tumpahan minyak (L. Wang et al., 2021), seperti kasus yang menyita perhatian publik di Chennai, India (Han et al., 2018) dan kecelakaan tumpahan minyak Sanchi di Cina (J. Chen et al., 2020). Namun, kecelakaan kapal bukan hanya mengakibatkan tumpahan minyak. Kapal kargo pengangkut muatan seperti kargo curah kering dapat mengakibatkan tumpahan kargo akibat kecelakaan. Kargo ini dapat masuk ke dalam kolom air laut dan memberikan paparan langsung terhadap ekosistem laut, terutama jika kargo tersebut termasuk bahan berbahaya. Kargo curah kering yang termasuk bahan berbahaya/hazardous noxious substances (HNS), contohnya batu bara, bijih besi, bijih nikel dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan laut baik terhadap kondisi fisik seperti kualitas air laut, maupun dampak toksik pada biota laut melalui peluruhan (leaching) logam berat yang terdapat pada kargo seperti batu bara (Asiah & Prajanti, 2014; Tretyakova et al., 2021). Salah satu contoh kasus kecelakaan kapal pengangkut kargo curah kering yang terjadi pada awal tahun 2021 dialami oleh Kapal X. Kapal ini mengangkut kargo curah kering berupa batu bara. Kecelakaan ini mengakibatkan tenggelamnya tongkang beserta muatannya sejumlah 7,076.987MT di laut. Batu bara termasuk bahan berbahaya dan memiliki potensi pencemaran terhadap lingkungan laut. Hal ini dapat berpotensi memberikan dampak terhadap kondisi lingkungan laut hingga kondisi sosial ekonomi masyarakat di sekitar lokasi tumpahan.

Frekuensi serta kecenderungan kapal kargo curah kering untuk mengalami kecelakaan kapal perlu menjadi perhatian. Keterbatasan informasi mengenai bahaya pencemaran dari tumpahan kargo curah kering berupa jenis, karakteristik, sebarannya, serta dampak sosial ekonomi yang ditimbulkan menjadikan isu ini terabaikan. Berdasarkan hal tersebut, maka riset ini memiliki fokus dengan tujuan, menganalisis bahaya pencemaran serta dampak sosial ekonomi tumpahan kargo curah kering akibat kecelakaan kapal, khususnya kecelakaan kapal X.

## 2. Metode

Pendekatan riset dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode mixed methods. Metode kuantitatif digunakan untuk kuantifikasi risiko bahaya pencemaran. Metode kualitatif digunakan sebagai metode analisis deskriptif bahaya pencemaran tumpahan dan mengetahui dampak sosial ekonomi masyarakat. Riset ini dilaksanakan pada bulan Februari-Mei 2023. Lokasi riset diambil berdasarkan titik terdekat desa dengan lokasi kecelakaan kapal X, yaitu Desa Sidogedungbatu, Kecamatan Sangkapura, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Lokasi kecelakaan kapal X terletak pada koordinat LT 05°-53'.765"/BJ 112°-55'.604" (±14 Mill timur Bawean).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Data yang telah diolah selanjutnya dilakukan analisis sebagai berikut:

- a. Analisis status bahaya pencemaran  
Analisis status bahaya pencemaran dijabarkan dalam dua tahapan, yaitu penghitungan risiko bahaya pencemaran yang didapatkan dari data sekunder.
- b. Analisis dampak sosial ekonomi  
Analisis dampak sosial ekonomi menggunakan analisis deskriptif dari hasil observasi dan wawancara masyarakat. Tujuan yang ingin dicapai yaitu untuk mengetahui apakah tumpahan kargo akibat kecelakaan kapal X memengaruhi atau memberikan dampak terhadap aktivitas masyarakat

### 3.2 Bahaya Pencemaran Lingkungan

Bahaya pencemaran dianalisis menggunakan estimasi risiko yang diadopsi dari penelitian Neuparth et al. (2011), Harold et al. (2014), dan Kim et al. (2019) untuk menentukan prioritas risiko penanganan. Hasil perhitungan kuantifikasi risiko adalah 60 (Tabel 1). Keterbatasan dalam penelitian ini adalah hanya mengambil contoh satu kasus tumpahan, sehingga hasil kuantifikasi risiko akhir tidak dapat dikelompokkan dengan kasus tumpahan lainnya untuk prioritas penanganan risiko. Namun, hasil kuantifikasi ini dapat memberikan gambaran secara kasar atas bahaya intrinsik dari tumpahan kargo kapal X. Berdasarkan batasan nilai (cut-off value) prioritas penanganan risiko Neuparth et al. (2011), kasus tumpahan kargo kapal X tidak termasuk dalam kategori prioritas. Hal ini disebabkan oleh kategori prioritas untuk bioakumulasi setidaknya 2, dan nilai toksisitas akut setidaknya 3, toksisitas kronis setidaknya bernilai 2. Hasil kuantifikasi nilai risiko sebesar 60 ini berarti risiko bahaya pencemaran tidak termasuk kategori risiko prioritas tinggi (P. D. Harold et al., 2014; Neuparth et al., 2011) atau termasuk kategori risiko rendah.

Tabel 1. Penilaian Risiko Tumpahan Kargo Kapal X

Kriteria	Nilai
Perilaku fisik	5
Toksistas akut	2
Toksistas kronis	1
Toksistas	3
Dampak	15
(perilaku fisik x toksistas)	
Jumlah tumpahan	2
Bioakumulasi	1
Biodegradasi	1
Probabilitas	4
(Jumlah tumpahan + bioakumulasi + biodegradasi)	
Risiko	60
(Dampak x Probabilitas)	

Batu bara merupakan batuan senyawa organik yang berasal dari akumulasi sisa endapan tumbuhan. Kandungan batu bara bervariasi dengan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda, namun umumnya terdiri dari karbon, air, dan senyawa organik lainnya. Dari berbagai variasi kandungan batu bara, logam berat dan polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) yang terkandung dalam partikel batu bara memiliki potensi sebagai polutan lingkungan (Ahrens & Morrisey, 2005). Oleh karena itu penelitian ini memfokuskan bahaya pencemaran kargo pada logam berat dan PAH yang terkandung dalam batu bara. Proses pelepasan (leached) kandungan logam berat maupun PAH dari batu bara tergantung pada jenis batu bara, kandungan mineral didalamnya, serta kondisi lingkungan (Ahrens & Morrisey, 2005). Batu bara secara umum tidak melepaskan (leached) logam pada tingkat toksik (Kathryn L.E. Berry et al., 2016; Lucas & Planner, 2012), lebih lanjut Berry et al., (2016) mengindikasikan bahwa logam yang terkandung pada batu bara tidak memberikan kontribusi terhadap pengaruh observasi. Tumpahan batu bara tidak langsung memberikan efek mortalitas pada ikan. Selanjutnya dijelaskan bahwa hanya terdeteksi toksistas rendah elemen cobalt (Kathryn L.E. Berry et al., 2016).

Sementara Lucas & Planner (2012) mendeteksi Cu dan Mn melebihi baku mutu namun pada kondisi laut lepas kemungkinan besar terjadi dilusi (dilution) yang men-cancel efek negatif ekologis dari elemen tersebut pada air laut. Jumlah trace element yang relatif rendah pada unburnt coal mengindikasikan bahwa trace element terikat kuat pada matriks mineral, terutama ketika terbenam (submerged) di air laut dengan konduktivitas elektrik tinggi dan pH yang relatif tinggi (~8.1).

Secara kasat mata, dampak fisik dari tumpahan kargo dapat diabaikan karena batu bara akan tenggelam ke dasar laut. Namun dampak ekotoksikologi terhadap organisme laut memerlukan pengujian lebih lanjut di laboratorium. Gambar 1 memberikan gambaran secara umum tumpahan batu bara di lingkungan laut. Batu bara dapat tenggelam dan terdeposisi pada sedimen dasar laut dan mengakibatkan penurunan kualitas maupun kerusakan lingkungan. Biota laut yang tinggal di sedimen seperti bentos kemungkinan mendapatkan pengaruh dari deposisi batu bara yang terjadi (Johnson & Bustin, 2006). Arus dan gelombang dapat membuat bongkahan batu bara terdegradasi dan menghasilkan fine suspended particles (Cabon et al., 2007) hal ini memengaruhi turbiditas: absorpsi dan penetrasi cahaya bagi produktivitas produsen primer. Sehingga jika tumpahan batu bara masuk ke laut dapat memberikan dampak negatif terutama terhadap organisme yang secara signifikan membutuhkan cahaya untuk hidupnya seperti plankton dan terumbu karang. Hal ini dapat berakibat ekstrim seperti kematian terumbu karang (Berry et al., 2016). Turbiditas pada lingkungan pesisir umumnya disebabkan oleh resuspensi sedimen dasar melalui gelombang laut. Abu batu bara (coal dust) atau black carbon yang mengkontaminasi sedimen dasar laut memiliki kecenderungan yang tinggi untuk mengikat partikel – reaktif kontaminan (Walker et al., 2019).



Gambar 1. Ilustrasi Tumpahan Batu Bara

Meskipun batu bara mengandung *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH), namun senyawa tersebut tidak berpotensi dilepaskan ke air laut karena konsentrasi yang terdeteksi rendah (Jaffrennou et al., 2007). PAH dapat terakumulasi pada sedimen karena tingkat solubilitas yang rendah di air. Namun semakin tinggi konsentrasi PAH semakin tinggi potensi karsinogenik yang muncul, meskipun tergolong sulit untuk terlarut dalam air, seiring berjalannya waktu senyawa yang terkandung dalam batu bara tersebut dapat larut dalam air laut (Sanchez, 2014). Hal ini dibuktikan melalui kontaminasi PAH dalam jenis indeno pyrene dan benzopyrene dengan konsentrasi 2.11 – 20.56mg/kg dan 1.59-17.84 mg/kg pada sedimen di fasilitas pengangkutan batu bara di Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan (Andy Mizwar & Trihadiningrum, 2015).

Kandungan senyawa batu bara yang umumnya mengontaminasi sedimen melebihi nilai ambang batas yang ditentukan adalah Mangan (Mn) (Karina et al., 2019). Mn mudah terlepas (leached) dari batu bara ke dalam air laut, laju leaching terjadi relatif cepat pada 30 menit pertama, kemudian melambat. Air laut mempercepat solubilitas, sehingga meningkatkan presentase leaching. Proses leaching dipengaruhi oleh faktor karakteristik fisik-kimiawi, kandungan batu bara, rasio massa batu bara dan air laut, agitasi air laut, dan waktu kontak (Cabon et al., 2007). Mn dapat menjadi toksik dalam konsentrasi 10-20mg/L pada dasar perairan pesisir laut setelah hipoksia atau berlokasi dekat dengan sumber

industri, dapat terakumulasi pada kelenjar hepatopankreas (midgut gland), organ reproduksi, jaringan saraf, protein dalam darah krustasea yang tinggal di dasar perairan. Konsentrasi Mn pada krustasea di lingkungan normal berada pada kisaran 0.6 - 508 $\mu$ g/g (Baden & Eriksson, 2006). Paparan Mn dengan logam lainnya seperti Cu dan Zn dapat mengganggu sistem respirasi krustasea hingga menyebabkan hipoksia (Spicer & Weber, 1991). Sementara untuk akumulasi logam Cd masih terbatas bukti yang ditemukan untuk melakukan klaim logam ini terakumulasi (Baden & Eriksson, 2006).

Jumlah tumpahan kargo batu bara akibat kecelakaan kapal X sebesar 7,076.987MT, berdasarkan CEDRE (2004) dalam Harold et al., (2014) jumlah tersebut masuk dalam kategori penilaian risiko kedua terendah dengan kisaran jumlah 1,000 - 10,000MT. Berdasarkan hasil paparan di atas, maka tumpahan kargo batu bara dari kapal X memberikan dampak terhadap kondisi lingkungan laut, meskipun tidak dilakukan pengukuran terhadap kualitas air laut dan organisme laut.

### 3.3 Dampak Sosial Ekonomi

Berdasarkan hasil kunjungan lapang dan wawancara, tidak terdapat dampak tangible yang dirasakan oleh nelayan dari tumpahan kargo curah kering kecelakaan kapal X terhadap nelayan Desa Sidogedungbatu. Wawancara dilakukan kepada tiga puluh nelayan dengan metode kualitatif. Jumlah ini dinilai sudah cukup untuk melakukan analisis deskriptif berdasarkan grounded theory yang umum dilakukan untuk menggali informasi yang dibutuhkan (Creswell & Creswell, 2018). Selain itu, menurut Charmaz (2006), pada metode kualitatif dapat terjadi saturasi, yaitu ketika pengumpulan data baru tidak memberikan pemahaman maupun informasi baru. Informasi yang didapatkan dari nelayan tersebut dianggap telah mengalami saturasi.

Wilayah perairan Pulau Bawean termasuk dalam lintasan transportasi pengangkutan batu bara dari Kalimantan menuju Jawa, sehingga nelayan sudah terbiasa melihat kapal kargo melintas di daerahnya. Umumnya sekitar bulan Januari-Maret banyak kapal tongkang berlabuh di sekitar perairan Pulau Bawean karena cuaca buruk. Menurut nelayan, tidak terdapat bahaya maupun dampak yang dirasakan akibat tumpahan batu bara karena batu bara langsung tenggelam ke dasar laut dan tidak mengganggu aktivitas penangkapan ikan yang mereka lakukan. Nelayan merasa lebih terganggu akibat kapal tongkang yang berlayar dekat Bawean karena rumpon yang telah mereka pasang ikut terbawa arus hanyut akibat keberadaan kapal tongkang.

Nelayan yang melakukan aktivitas penangkapan ikan di lokasi sekitar kecelakaan tidak merasakan dampak dari tumpahan batu bara kapal X. Hal ini kemungkinan diakibatkan oleh sifat batu bara yang tenggelam ke dasar laut, sehingga tidak mengganggu aktivitas penangkapan ikan di kolom perairan. Hasil tangkapan nelayan secara umum adalah ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) dan ikan layang (*Decapterus russelli*) yang termasuk dalam jenis ikan pelagis dominan di Laut Jawa. Distribusi ikan layang secara signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi klorofil-a yang meningkat pada musim barat yang terjadi pada bulan Oktober - Februari (Kasim et al., 2014). Faktor oseanografi utama yang memengaruhi distribusi ikan pelagis adalah salinitas dan oksigen, sementara itu klorofil, pH, dan suhu memiliki pengaruh parsial terhadap distribusinya. Densitas ikan terbesar terdapat pada kedalaman 5-25m yaitu 0,2 ikan/m<sup>2</sup> dan semakin menurun seiring bertambahnya kedalaman perairan. Pada kedalaman 25-50m densitas ikan sebesar 0,1 ikan/m<sup>2</sup> dan di kedalaman >50m didapatkan densitas ikan sebesar 0,02 ikan/m<sup>2</sup> (Ma'mun et al., 2019).

Faktor yang memengaruhi hasil tangkapan nelayan adalah musim dan kondisi fisik laut seperti arus dan gelombang. Tidak terindikasi pencemaran akibat kecelakaan kapal X yang memengaruhi aktivitas nelayan. Hal ini tercermin dari pendapatan yang didapatkan dari tangkapan tidak mendapatkan pengaruh dari adanya tumpahan kargo kapal X. Musim barat yang terjadi pada kisaran bulan Desember - Mei merupakan waktu dimana nelayan mendapatkan hasil tangkapan besar sekitar 50-100kg dengan pendapatan maksimal

mencapai Rp 2.000.000/hari, sementara pada pertengahan tahun bulan Mei – Juli hasil tangkapan nelayan berkisar 10-30kg dengan pendapatan berkisar antara Rp. 200.000 – Rp 700.000/hari. Hasil tangkap dan pendapatan nelayan dipengaruhi oleh faktor cuaca dan musim, hal ini sesuai dengan penjelasan Kasim et al. (2014), musim barat dan timur memberikan pengaruh terhadap distribusi suhu dan klorofil-a dimana ikan pelagis seperti ikan layang yang menjadi hasil tangkap utama nelayan. Suhu permukaan laut dan klorofil-a memiliki pengaruh positif terhadap hasil tangkap ikan pelagis (Dwiyanti et al., 2022), curah hujan yang relatif tinggi pada musim barat membawa masukan nutrisi dari sungai dan daratan sehingga meningkatkan konsentrasi klorofil-a dan ikan pelagis (Gaol & Sadhotomo, 2007).

Lokasi kecelakaan kapal X berada pada jarak sekitar 14mil laut dari Pulau Bawean. Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 18 Tahun 2021 yang membagi zona penangkapan daerah dan pusat, bahwa zona tangkap daerah hanya sampai jarak 12mil dari garis pantai. Meskipun begitu, nelayan Desa Sidogedungbatu melakukan aktivitas penangkapan ikan hingga jarak 60mil dari pantai. Daerah perairan Pulau Bawean termasuk dalam Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) 712 di utara Laut Jawa, dimana didominasi oleh kapal penangkap ikan skala kecil <30GT. Peraturan pembagian zonasi memicu konflik nelayan antar daerah, nelayan merasa bahwa jumlah hasil tangkapan mereka menurun setiap tahun akibat konflik ini. Selain itu nelayan dari luar daerah menggunakan kapal dan alat tangkap yang lebih modern, termasuk alat tangkap cantrang yang telah dilarang penggunaannya melalui Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 18 Tahun 2021 karena merusak lingkungan. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Ardiyani et al. (2019), yang menyatakan bahwa diperlukan pengendalian penangkapan ikan di WPP 712 akibat adanya over-fishing pada wilayah ini sehingga diperlukan pengaturan lebih lanjut mengenai pembatasan penangkapan sesuai potensi sumber daya ikan.

Kondisi sosial ekonomi masyarakat Desa Sidogedungbatu yang tidak terdampak oleh kecelakaan kapal X kemungkinan juga disebabkan oleh upaya penanggulangan potensi bahaya pencemaran yang dapat terjadi. Tindakan nakhoda kapal X untuk membawa tongkang menjauh dari lokasi terumbu karang mengurangi potensi kerugian yang lebih besar. Jika tumpahan kargo kapal X jatuh di lokasi terumbu karang maka kemungkinan dampak yang dihasilkan akan besar karena terumbu karang termasuk dalam jenis ekosistem yang rentan (Suhery et al., 2017). Berdasarkan hal tersebut, maka hipotesis kedua dari penelitian ini bahwa tumpahan kargo curah kering kapal X berdampak terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat ditolak.

#### 4. Kesimpulan

Mewujudkan pencapaian keberlanjutan perlu mempertimbangkan faktor lingkungan serta kondisi sosial ekonomi. Namun, hal ini bukan perkara mudah dan perlu pemahaman atas bahaya ataupun dampak dari tumpahan kargo curah kering di lingkungan laut. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut. Tumpahan kargo curah kering kecelakaan kapal X memiliki risiko bahaya pencemaran rendah yang tidak termasuk dalam kategori risiko prioritas tinggi. Tumpahan berdampak terhadap kondisi fisik seperti turbiditas dan sedimentasi. Sementara bahaya pencemaran terkait potensi kandungan seperti logam berat dan PAH yang dapat lepas ke lingkungan laut. Tumpahan kargo batu bara di lingkungan laut berpotensi memberikan dampak terhadap organisme laut seperti memengaruhi laju pertumbuhan, laju reproduksi ikan, lamun, hingga terumbu karang dan organisme benthik yang berada di sedimen dasar laut. Tumpahan kargo curah kering kapal X tidak memberikan dampak sosial ekonomi terhadap nelayan Desa Sidogedungbatu di Pulau Bawean. Nelayan tidak mengetahui kejadian tersebut serta tidak memiliki pengetahuan dan pemahaman atas bahaya pencemaran dari tumpahan kargo batu bara.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Indonesia dan tim IASSF karena telah mendukung penelitian ini

## Kontribusi Penulis

Penulis berkontribusi penuh dalam penelitian.

## Pendanaan

Penelitian ini tidak mendapat sumber dana dari manapun.

## Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak berlaku.

## Pernyataan Persetujuan yang Diinformasikan

Tidak berlaku.

## Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak berlaku.

## Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan

## Open Access

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Atribusi Creative Commons 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun, selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, memberikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan menunjukkan apakah ada perubahan yang dilakukan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini disertakan dalam lisensi Creative Commons artikel, kecuali jika dinyatakan sebaliknya dalam baris kredit pada materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan penggunaan yang Anda maksudkan tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Daftar Pustaka

- Ahrens, M., & Morrisey, D. (2005). Biological Effects of Unburnt Coal in the Marine Environment. *Oceanography and Marine Biology*, 43, 69–122. <https://doi.org/10.1201/9781420037449.ch3>
- Ardiyani, W. J., Iskandar, B. H., Wisudo, S. H., Pemanfaatan, D., Perikanan, S., & Ipb, F. (2019). Estimasi Jumlah Kapal Penangkap Ikan Optimal di WPP 712 Berdasarkan Potensi Sumber Daya Ikan. *Albacore*, 3(1), 95–104.
- Asiah, & Prajanti, A. (2014). Pemantauan Kualitas Air Laut Akibat Tumpahan Pasir Nikel di Perairan Teluk Buli, Halmahera. *Ecolab*, 8(2), 69–77.
- Baden, S., & Eriksson, S. (2006). Role, Routes and Effects of Manganese in Crustaceans. *Oceanography and Marine Biology*, 44, 61–83. <https://doi.org/10.1201/9781420006391.ch2>
- Berry, Kathryn L.E., Hoogenboom, M. O., Flores, F., & Negri, A. P. (2016). Simulated coal spill causes mortality and growth inhibition in tropical marine organisms. *Scientific Reports*, 6(April), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep25894>
- Cabon, J. Y., Burel, L., Jaffrennou, C., Giamarchi, P., & Bautin, F. (2007). Study of trace metal leaching from coals into seawater. *Chemosphere*, 69(7), 1100–1110. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.04.018>
- Charmaz, K. (2006). *Constructing Grounded Theory: A Practical Guide through Qualitative Analysis*. SAGE Publications.
- Chen, J., Di, Z., Shi, J., Shu, Y., Wan, Z., Song, L., & Zhang, W. (2020). Marine oil spill pollution causes and governance: A case study of Sanchi tanker collision and explosion. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122978>
- Choi, I., & Lee, C. (2019). Numerical study on nitrogen oxide and black carbon reduction of marine diesel engines using emulsified marine diesel oil. *Sustainability (Switzerland)*, 11(22).

- <https://doi.org/10.3390/su11226347>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Approaches* (Fifth Edit). SAGE Publications.
- Duckworth, A., Giofre, N., & Jones, R. (2017). Coral morphology and sedimentation. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.MARPOLBUL.2017.08.036>
- Dwiyanti, A., Maslukah, L., & Rifai, A. (2022). Pengaruh Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Layang (*Decapterus macrosoma*) di Perairan Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 04(04), 109–119.
- Gaol, J. L., & Sadhotomo, B. (2007). Karakteristik dan variabilitas parameter-parameter oseanografi laut jawa hubungannya dengan distribusi hasil tangkapan ikan. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 13(3). <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jppi/article/view/3820/3281>
- Han, Y., Nambi, I. M., & Prabhakar Clement, T. (2018). Environmental impacts of the Chennai oil spill accident – A case study. *Science of the Total Environment*, 626, 795–806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.128>
- Harold, P. D., de Souza, A. S., Louchart, P., Russell, D., & Brunt, H. (2014). Development of a risk-based prioritisation methodology to inform public health emergency planning and preparedness in case of accidental spill at sea of hazardous and noxious substances (HNS). *Environment International*, 72, 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.05.012>
- Jaffrennou, C., Stephan, L., Giamarchi, P., Cabon, J. Y., Burel-Deschamps, L., & Bautin, F. (2007). Direct fluorescence monitoring of coal organic matter released in seawater. *Journal of Fluorescence*, 17(5), 564–572. <https://doi.org/10.1007/s10895-007-0216-y>
- Jägerbrand, A. K., Brutemark, A., Barthel Svedén, J., & Gren, I. M. (2019). A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems. *Science of the Total Environment*, 695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133637>
- Johnson, R., & Bustin, R. (2006). Coal dust dispersal around a marine coal terminal (1977–1999), British Columbia: The fate of coal dust in the marine environment. *International Journal of Coal Geology*, 68, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.10.003>
- Karina, S., Suhermi, R., Alesyah, M., Nurfadillah, Octavina, C., & Ulfah, M. (2019). Analysis of heavy metals in fluvial sediments affected by coal spill waters in Lampuuk Beach, Aceh Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/348/1/012085>
- Kasim, K., Triharyuni, S., & Wujdi, A. (2014). Hubungan Ikan Pelagis dengan Konsentrasi Klorofil-a di Laut Jawa. *BAWAL*, 6(April), 21–29.
- Kim, I., Lee, H., & Lee, D. (2019). Development of a new tool for objective risk assessment and comparative analysis at coastal waters. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 2(2), 58–66. <https://doi.org/10.1080/25725084.2018.1562511>
- Lucas, S., & Planner, J. (2012). Grounded or submerged bulk carrier: The potential for leaching of coal trace elements to seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 1012–1017. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.02.001>
- Ma'mun, A., Priatna, A., Amri, K., & Nurdin, E. (2019). Hubungan Antara Kondisi Oseanografi dan Distribusi Spasial Ikan Pelagis di WPP 712 Laut Jawa. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 25, 1–14.
- Mizwar, Andy, & Trihadiningrum, Y. (2015). PAH Contamination in Soils Adjacent to a Coal-Transporting Facility in Tapin District, South Kalimantan, Indonesia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0141-z>
- Munro, M. C., & Mohajerani, A. (2016). Liquefaction incidents of mineral cargoes on board bulk carriers. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/5219474>
- Neuparth, T., Moreira, S., Santos, M. M., & Reis-Henriques, M. A. (2011). Hazardous and Noxious Substances (HNS) in the marine environment: Prioritizing HNS that pose major risk in a European context. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.09.016>
- Sanchez, J. O. (2014). *Coal as marine pollutant*. World Marine University.
- Spicer, J. I., & Weber, R. E. (1991). Respiratory impairment in crustaceans and molluscs due to exposure to heavy metals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 100(3), 339–342. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0742-8413\(91\)90005-E](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0742-8413(91)90005-E)
- Suhery, N., Damar, A., & Effendi, H. (2017). Coral Reef Ecosystem Vulnerability Index to Oil Spill : Case of Coral Reef Ecosystem Vulnerability Index to Oil Spill : CASE OF. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1). <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17918>



- Sully, S., Burkepile, D. E., Donovan, M. K., Hodgson, G., & van Woesik, R. (2019). A global analysis of coral bleaching over the past two decades. *Nature Communications*, *10*(1), 1264. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09238-2>
- Tretyakova, M. O., Vardavas, A. I., Vardavas, C. I., Iatrou, E. I., Stivaktakis, P. D., Burykina, T. I., Mezhuev, Y. O., Tsatsakis, A. M., & Golokhvast, K. S. (2021). Effects of coal microparticles on marine organisms: A review. *Toxicology Reports*, *8*, 1207–1219. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.06.006>
- UNCTAD. (2019). *Review of Maritime Transport 2019*. United Nations Publications.
- Walker, T. R., Adebambo, O., Del Aguila Feijoo, M. C., Elhaimer, E., Hossain, T., Edwards, S. J., Morrison, C. E., Romo, J., Sharma, N., Taylor, S., & Zomorodi, S. (2019). Environmental Effects of Marine Transportation. In *World Seas: an Environmental Evaluation* (Second Edi, pp. 505–530). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00030-9>
- Wang, B., Xin, M., Wei, Q., & Xie, L. (2018). A historical overview of coastal eutrophication in the China Seas. *Marine Pollution Bulletin*, *136*, 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.044>
- Wang, L., Huang, R., Shi, W., & Zhang, C. (2021). Domino effect in marine accidents: Evidence from temporal association rules. *Transport Policy*, *103*(January), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.02.006>
- Zalewska, T., & Danowska, B. (2017). Marine environment status assessment based on macrophytobenthic plants as bio-indicators of heavy metals pollution. *Marine Pollution Bulletin*, *118*(1–2), 281–288. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.02.075>

## **Biografi Penulis**

**SILMINA SABILA**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia .

- Email: haruki.agustina11@ui.ac.id
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -

**HARUKI AGUSTINA**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia .

- Email: -
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -