Distribusi Spasial Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) dalam Sedimen Laut Sumba, Nusa Tenggara Timur

Deny Yogaswara*¹, dan Khozanah¹

¹Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI, Jalan Pasir Putih 1 Ancol Timur – Jakarta Utara 14430

Email: deny.yogaswara@lipi.go.id

Submitted 6 February 2018. Reviewed 13 April 2018. Accepted 25 July 2018

DOI: [10.14203/oldi.2018.v3i2.193](https://doi.org/10.14203/oldi.2018.v3i2.193)

Abstrak

Laut Sumba merupakan perairan zona transisi lempeng tektonik Indo-Australia dengan sumber daya alam laut yang unik dan termasuk dalam zona jalur pelayaran internasional dari selatan Indonesia menuju Australia dan Selandia Baru, dan sebaliknya. Selain itu, Laut Sumba juga merupakan perairan batas luar Indonesia, sehingga perlu dilakukan penilaian basis data lingkungan sebagai acuan pemerintah Indonesia dalam pengelolaan wilayah perairan terluar. Sejauh ini, Indonesia belum memiliki basis data kualitas lingkungan yang representatif di perairan ini, sehingga tidak diketahui tingkat pencemaran yang terjadi dan sebarannya, khususnya pencemaran *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi spasial TPH dalam sedimen di Laut Sumba, Nusa Tenggara Timur. Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2016 dengan menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Sejumlah sampel diambil dengan menggunakan *box core* lalu dimasukkan ke dalam botol kaca dan disimpan pada suhu 4°C untuk selanjutnya dianalisis di laboratorium. Di laboratorium, sedimen diekstraksi dengan menggunakan pelarut diklorometan dan n-heksan sebanyak tiga kali ekstraksi. Sampel hasil ekstraksi, diuapkan sebelum ditambahkan pelarut tetrakloroetilen. Sampel diukur dengan alat *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada panjang gelombang 2850-2950 cm⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemaran senyawa *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) di Laut Sumba terdeteksi di semua titik stasiun sampling berdasarkan gugus fungsi hidrokarbon yang teridentifikasi. Distribusi spasial TPH merata di semua stasiun dengan konsentrasi yang relatif kecil. Pencemaran TPH tertinggi terjadi di stasiun 10 yaitu sebesar 4,348 ppm.

Kata kunci: distribusi, Laut Sumba, pencemaran, Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)

Abstract

Spatial Distribution of Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in Sediment of Sumba Sea, Nusa Tenggara Timur. Sumba Sea is an Indo-Australian tectonic plate transition zone that has a huge biodiversity resources and also behalf of an international shipping lane zone from southern of Indonesia to Australia and New Zealand, and as the return. In addition, Sumba Sea is also a kind of outer boundary of Indonesia, that is necessary to do basic environmental monitoring as the authorities in the management of outer sea zone. Indonesia does not have representative environmental quality database including the pollution of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). This study purposes to determine the partial distribution and concentration of TPH in sediments in Sumba Sea, East Nusa Tenggara. The research was conducted in August 2016 using Research Vessel of Baruna Jaya VIII. Samples were collected using a box core, preserved in amber glass jar

bottle and stored at 4°C for further analysis in the laboratory. In the laboratory, sediment samples were extracted using dichloromethane and n-hexane for three times extraction. Furthermore, samples were evaporated before added by tetrachloroethylene solvent. Samples were measured with Fourier Transform Infra Red (FTIR) at wavelength 2850-2950 cm⁻¹. The results showed that the pollution of Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in the Sumba Sea was detected at all sampling station based on identified of hydrocarbon functional groups. The partial distribution of TPH is evenly distributed and covered all stations on low concentrations. The highest concentration of TPH was detected at station 10 as 4.348 ppm.

Keywords: distribution, pollution, Sumba Sea, Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Pendahuluan

Kawasan perairan timur Indonesia merupakan jalur dari lempeng tektonik Indo-Australia hingga perairan Pasifik. Pulau Sumba termasuk dalam jalur lempeng diatas dan merupakan mikro benua yang dahulu adalah bagian dari benua Australia (Wensink 1994; Shulgin et al. 2009). Pulau Sumba memiliki posisi yang unik karena berada pada gugus kepulauan Sunda-Banda dan jalur transisi gugus gunung-gunung vulkanik aktif selatan Indonesia (Abdullah et al. 2000). Perairan Sumba juga bagian dari Taman Nasional Perairan (TNP) Laut Sawu yang merupakan Kawasan Konservasi Perairan Nasional (KKPN) didasarkan pada keunikan biota laut. Di kawasan ini, terdapat sekitar 76% spesies terumbu karang dan sekitar 37% spesies ikan karang yang ada di dunia (Huffard 2012; Mujiyanto 2016; EWIN 2016).

Perairan Sumba merupakan jalur laut kepulauan (*Archipelagic sea-lanes*/ASL) yang melalui beberapa rute perairan Indonesia dari bagian utara hingga selatan, menuju ke Australia dan Selandia Baru dan sebaliknya. Rute pelayaran dimulai dari Pulau Miangas – Laut Maluku – Selat Buru – Laut Banda – Laut Flores – Selat Ombai – Laut Sawu/Sumba hingga Samudera Hindia menuju Australia dan Selandia Baru. Begitupun sebaliknya, pelayaran dari Australia/Selandia Baru akan melalui jalur tersebut untuk menuju Asia Timur, Utara, dan Jepang. Menurut Biro Infrastruktur, Transportasi dan Ekonomi Regional Australia dilaporkan bahwa sekitar 7.200-7.300 kapal berlayar di rute jalur laut kepulauan (ASL) ini di tahun 2006-2007, dan membawa sekitar 585 juta ton komoditas perdagangan dari Australia dan Selandia Baru untuk diekspor ke Asia Timur, Asia Selatan, Jepang dan Asia Utara (BITRE 2008; Gurning and Cahoon 2009).

Adanya aktivitas pelayaran kapal kargo di perairan Sumba ini, dapat berpotensi terjadinya pencemaran lingkungan khususnya senyawa *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH). Petroleum hidrokarbon merupakan senyawa kontaminan yang banyak terdapat di

lingkungan, baik di daratan maupun perairan. Terjadinya pencemaran senyawa hidrokarbon dapat berasal dari banyak sumber, seperti tumpahan minyak mentah dari kapal tanker, produksi minyak mentah lepas pantai, dan buangan kendaraan bermotor. Akibatnya, senyawa hidrokarbon (umumnya disebut sebagai "minyak") dapat ditemukan di tanah, sedimen, air, dan biota (Muijs and Jonker 2009). Kontaminasi senyawa hidrokarbon dapat terbagi menjadi beberapa bentuk diantaranya produk fase bebas, fase terlarut, fase emulsi, atau fase uap. Setiap fase memerlukan metode remediasi yang berbeda sehingga proses pembersihannya cukup rumit dan mahal (Speight 2011). Selain itu, senyawa hidrokarbon mencakup sejumlah senyawa toksisitas yang signifikan, misalnya, benzena dan beberapa poliaromatik dikenal sebagai senyawa karsinogenik (Okoh 2006; Ansari et al. 2012; Tang et al. 2012).

Senyawa hidrokarbon dengan kadar yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan yang luas pada kehidupan laut, kehidupan terestrial, kesehatan manusia, dan sumber daya alam ekosistem setempat. Oleh karena itu, untuk penjelasan secara rinci tentang pencemaran senyawa hidrokarbon dan mengaitkannya dengan sumber pencemaran yang diketahui sangat penting untuk penilaian kerusakan lingkungan, memahami karakteristik pencemaran dan jenisnya, dan mampu memprediksi potensi dampak jangka panjang dari pencemaran senyawa hidrokarbon pada suatu lingkungan (Wang and Fingas 2003; Farmaki et al. 2007; Halpern et al. 2008). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi parsial pencemaran dan tingkat konsentrasi senyawa TPH di perairan Laut Sumba, Nusa Tenggara Timur. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan sebagai basis dasar lingkungan untuk perairan terluar Indonesia.

Metodologi

Lokasi sampling

Sampel sedimen diambil dari 12 titik stasiun yang tersebar di sekitar Pulau Sumba dari 118.73⁰-

120.24° Bujur Timur dan 8.89°-10.79° Lintang Selatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Teknik sampling

Sebanyak 200 gram sampel sedimen diambil di perairan Sumba dengan menggunakan *Box Core* Kapal Riset Baruna Jaya VIII pada bulan Agustus 2016. Setiap sedimen yang diambil kemudian disimpan dalam botol kaca gelap dan disimpan pada suhu 4°C untuk kemudian dianalisis di laboratorium kimia organik, Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI.

Analisis Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Sampel sedimen sebanyak 10 gram diekstraksi dengan menggunakan pelarut diklorometan emsure Merck sebanyak 40 ml, n-heksan emsure Merck sebanyak 40 ml dan campuran diklorometan dan n-heksan sebanyak 40 ml (Wang and Fingas 2003; Mikkonen et al. 2012;

Duan et al. 2018). Hasil ekstraksi diuapkan di *rotary vapor* selama 60 menit pada suhu 40°C, sebelum penambahan pelarut tetrakloroetilen emsure Merck sebanyak 4 ml (Farmaki et al. 2007; ASTM 2011; Strother et al. 2013). Selanjutnya, sampel diukur dengan alat Fourier Transform Infra Red (FTIR) Nicolet iS5 Thermo dengan kondisi: Final format: Absorbance; Detector: DTGS KBr; Beam splitter: KBr; Source: IR; Accessory: iD1 Transmission; Recommended range: 4000-400, Max range limit: 4000, Min range limit: 1000.

Analisis data

Konsentrasi TPH yang terhitung juga dibandingkan dengan baku mutu dari *Australia and New Zealand Environment and Conservation Council* (ANZECC, 2000) dan standar kualitas sedimen dari China (Zhou et al. 2014).

Gambar 1. Stasiun sampling Laut Sumba, Nusa Tenggara Timur
Figure 1. Sampling site of Sumba Sea, East Nusa Tenggara

Hasil

Distribusi TPH dalam Sedimen

Analisis uji FTIR menunjukkan bahwa konsentrasi TPH dalam sedimen, memiliki nilai

yang bervariasi di setiap titik stasiun sampling, berkisar antara <1 – 4,348 ppm. Distribusi spasial TPH dan sedimen di perairan Pulau Sumba disajikan pada Gambar 2. Konsentrasi TPH tertinggi terdeteksi di stasiun 8 di sebelah selatan

Pulau Sumba yaitu sebesar 4,384 ppm. Hasil analisis sampel sedimen di utara Pulau Sumba menunjukkan konsentrasi TPH yang relatif lebih rendah dibandingkan bagian barat dan selatan Pulau Sumba, sedangkan, konsentrasi TPH dalam sedimen di bagian barat Pulau Sumba kurang dari 3 ppm. Beberapa titik stasiun memiliki konsentrasi dibawah 1 ppm, sehingga sulit terdeteksi karena keterbatasan limit deteksi pada alat FTIR.

Pengukuran TPH yang telah diekstrak dari sedimen dari perairan Pulau Sumba dilakukan dengan alat FTIR. FTIR tersebut mampu menganalisis gugus hidrokarbon yang terdapat dalam senyawa organik semisal TPH. Akan tetapi, FTIR yang digunakan memiliki kemampuan baca

TPH (*Limit of Quantification/LOQ*) sebesar 1 ppm, sehingga TPH dengan konsentrasi < 1 ppm tidak akan terbaca secara akurat oleh FTIR tersebut. Pada studi ini, stasiun yang memiliki konsentrasi TPH <1 ppm akan dilaporkan dalam bentuk <1 ppm. Gugus hidrokarbon dalam sampel sedimen di setiap stasiun di perairan Pulau Sumba yang terdeteksi oleh FTIR ditunjukkan oleh kromatogram seperti Gambar 3. FTIR sendiri mampu beroperasi dalam 2 mode yaitu mode absorbansi dan mode transmitansi. Kromatogram yang dihasilkan oleh kedua mode ini akan berbeda seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Dalam studi ini, mode absorbansi adalah mode yang dipilih untuk melakukan analisis.

Gambar 2. Distribusi TPH dalam sedimen di Laut Sumba, Nusa Tenggara Timur. Garis putus-putus warna merah merupakan jalur pelayaran internasional/ Alur laut kepulauan Indonesia ASL IIIA diadopsi dari Gurning and Cahoon (2009). Garis-titik warna biru menunjukkan arah arus laut (EWIN 2016).
 Figure 2. Distribution of TPH in sediments of Sumba Sea, East Nusa Tenggara. Red dash-line resembled International shipping lanes/Archipelagic Sea Lanes ASL IIIA adopted from Gurning and Cahoon (2009). Blue dot-dash line represented sea current, modified from EWIN (2016).

Gambar 3. Kromatogram semua sampel sedimen yang terbaca oleh FTIR

Figure 3. Chromatogram of all sediment samples were read by FTIR

Gambar 4. Gugus hidrokarbon terdeteksi (lingkar biru) untuk mode *Transmittance* (a) dan *Absorbance* (b) pada panjang gelombang 2850-2950 cm^{-1} .

Figure 4. Hydrocarbon function group was detected (blue circle) by *Transmittance* (a) and *Absorbance* (b) mode in wavelength of 2850-2950 cm^{-1}

Status TPH dalam sedimen di perairan Pulau Sumba

Untuk mengetahui status konsentrasi TPH dalam sedimen di perairan Pulau Sumba maka dilakukan perbandingan dengan referensi. Referensi yang digunakan dalam studi ini adalah nilai baku mutu. Indonesia belum menetapkan nilai baku mutu TPH dalam sedimen. Akan tetapi, Cina dan Australia beserta Selandia Baru telah menetapkan nilai baku mutu untuk TPH dalam sedimen. Cina membagi baku mutunya dalam tiga kategori berdasar peruntukan perairan sementara nilai baku mutu yang ditetapkan Australia dan Selandia baru dalam ANZECC (Australia and New Zealand Environment and Conservation Council) merupakan sebuah nilai batas dimana setiap konsentrasi yang melebihi nilai tersebut akan berpotensi menimbulkan dampak negatif. Nilai-nilai baku mutu tersebut dicantumkan dalam Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa

konsentrasi TPH dalam sedimen di perairan Pulau Sumba masih berada jauh dibawah nilai baku mutu.

TPH dalam sedimen di perairan Pulau Sumba juga dibandingkan dengan konsentrasi TPH di beberapa lokasi lain di dunia. Tabel 2 menunjukkan konsentrasi TPH dalam sedimen di beberapa lokasi. Konsentrasi TPH dalam sedimen di Perairan Pulau Sumba hampir sama dengan konsentrasi TPH di pesisir selatan dan timur India serta di pesisir utara dari Teluk Persia dengan nilai TPH < 5 ppm. Akan tetapi, nilai TPH di perairan Pulau Sumba tersebut masih jauh dibawah nilai TPH di perairan yang terindikasi berdekatan dengan kegiatan antropogenik yang tinggi (area pelabuhan ataupun industri) seperti di Oman, Cina, Hongkong dan United Arab Emirates (Zhou et al. 2014; Mohebbi-Nozar et al. 2015; Kamalakannan et al. 2017; Jupp et al. 2017)

Tabel 1. Baku mutu untuk konsentrasi TPH dalam sedimen.

Table 1. Sediment guideline for TPH in sediment.

Standard Quality	Type	Unit	Concentration of TPH	Reference
Sediment quality standard from China	Category 1	ppm	500	(Zhou et al. 2014)
	Category 2	ppm	1000	
	Category 3	ppm	1500	
Australia and New Zealand	ISQG-low (Trigger value)	ppm	280	(ANZECC 2000)
Sumba seawaters		ppm	<1 - 4,348	This study

Category 1: standard quality for clean seawaters such as mariculture, natural protected area, protection of threatened species, and public recreation area. Category 2: standard quality for areas that may be polluted like industrial and tourism areas. Category 3: standard quality for sea port area. ISQG-low is *Interim Sediment Quality Guideline*.

Kategori 1: standar kualitas untuk air laut yang bersih seperti untuk marikultur, kawasan alami yang dilindungi, perlindungan spesies terancam, dan area rekreasi umum. Kategori 2: standar kualitas untuk kawasan yang mungkin tercemar oleh industri dan pariwisata. Kategori 3: standar kualitas untuk Kawasan olahraga laut. ISQG adalah Panduan Kualitas Sedimen Internal

Tabel 2. Konsentrasi TPH dalam sedimen di beberapa lokasi.

Table 2. Concentration of TPH in sediment from different locations.

Location	Concentration of TPH (ppm)	Reference
Several sea port in Oman	18-21	(Jupp et al., 2017)
Bohai Bay, China	6.3-535	(Zhou et al. 2014)
Pondicherry waters, India	0.47-4.59	(Kamalakannan et al. 2017)
North of Persia Gulf	0.2-0.69	(Mohebbi-Nozar et al. 2015)
Hongkong beach	4.5-1996	(Zheng and Richardson 1999)
India south beach	1.75-4.07	(Lyla et al. 2012)
United Arab Emirates	73-100	(Tolosa et al. 2005)
Sumba seawaters	<1 - 4.348	This study

Pembahasan

Identifikasi senyawa total petroleum hidrokarbon (TPH) merupakan analisis yang diterapkan pada pengukuran dari jumlah hidrokarbon yang terdapat di lingkungan. Senyawa TPH yang termasuk dalam fraksi hidrokarbon dapat diidentifikasi berada pada kisaran rantai karbon pendek (CH_3) hingga rantai karbon panjang ($\text{C}_{35}\text{H}_{72}$) (Irwin et al. 1997; Speight 2011). pada spektral kromatogram FTIR pada range 2850–2950 cm^{-1} (Vershinin and Petrov 2016). Umumnya ikatan C-H ini merupakan jenis ikatan yang paling sering ditemukan dalam senyawa TPH (Mikkonen et al. 2012).

Senyawa TPH yang terdeteksi dalam sedimen Laut Sumba menunjukkan bahwa sedimen laut dalam dapat tercemari oleh senyawa TPH. Sedimen yang dikoleksi dari perairan Pulau Sumba rerata berada dalam kedalaman lebih dari 500 m. Hal ini karena adanya sebagian jumlah TPH yang terintrusi dan terdegradasi di lapisan bawah permukaan hingga ke dasar, sementara sebagian lain masih berada di permukaan perairan (Socolofsky et al. 2011; Wade et al. 2016). Keberadaan komponen minyak dapat dikonfirmasi dengan deteksi di lapisan intrusi di bawah permukaan laut pada kedalaman berkisar antara 800 sampai 1400 meter di bawah air permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa komponen minyak dalam sedimen di bawah permukaan laut, berasal dari komponen minyak permukaan air laut yang terintrusi dan kemudian terdeposit secara akumulatif dalam sedimen (Camilli et al. 2010; Sammarco et al. 2013; Wade et al. 2016).

Pola distribusi spasial TPH dalam sedimen di perairan Pulau Sumba lebih banyak dipengaruhi oleh pola arus. Menurut EWIN (2016), diduga terbentuk *eddies* dibagian barat Pulau Sumba menyebabkan TPH terakumulasi di area bagian barat pulau. Sumber utama TPH mungkin berasal dari jalur lintas laut kepulauan Indonesia (ASL IIIA) yang banyak dilintasi oleh kapal ekspedisi internasional yang terletak tepat dibagian timur Pulau Sumba. TPH yang kemungkinan lepas ke laut akibat aktivitas pelayaran ini kemudian dibawa SEC ke arah barat akan tetapi akibat terbentuknya *eddies* maka TPH tersebut terakumulasi di stasiun 8. Aktivitas pelayaran diduga kuat menjadi sumber TPH di beberapa perairan. Selat Hormuz di Oman yang padat oleh aktivitas pelayaran kapal-kapal tanker mendapat masukan TPH dalam jumlah yang signifikan (Jupp et al. 2017).

Pencemaran TPH di Laut Sumba tergolong rendah bila dibandingkan dengan pencemaran TPH di perairan lain seperti di Teluk Barataria,

Louisiana dan laut dalam Macondo (kedalaman > 1000 m), Teluk Meksiko, Amerika Serikat. Di Teluk Barataria, Louisiana konsentrasi TPH terdeteksi sebesar antara 29,534–2976 ppm pada sedimen permukaan (Dincer Kirman et al. 2016) dan di perairan laut dalam Macondo konsentrasi TPH terdeteksi sebesar 1,200–81,400 ppm pada sedimen permukaan (Stout and Payne 2016).

Kesimpulan

TPH dapat teridentifikasi dalam sampel sedimen Laut Sumba dengan terdeteksinya gugus hidrokarbon dengan ikatan C-H (gugus alifatik) pada panjang gelombang 2850–2950 cm^{-1} . Distribusi TPH terdeteksi di semua titik stasiun sampling dengan variasi konsentrasi yang hampir merata. Konsentrasi TPH tertinggi terdeteksi di stasiun 8 yaitu sebesar 4,348 ppm. Konsentrasi tertinggi TPH di perairan Sumba ini tergolong rendah bila dibandingkan dengan standar baku mutu sedimen dari ANZECC yaitu sebesar 280 ppm dan dari China yaitu sebesar 500–1500 ppm.

Persantunan

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI dan koordinator kegiatan Ekspedisi Widya Nusantara 2016, Dr. Udhi Eko Hernawan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh tim EWIN yang sudah berkontribusi atas terselenggaranya kegiatan ini.

Daftar Pustaka

- Abdullah, C. I., J. P. Rampnoux, H. Bellon, R. C. Maury, and R. Soeria-Atmadja. 2000. The Evolution of Sumba Island (Indonesia) Revisited in the Light of New Data on the Geochronology and Geochemistry of the Magmatic Rocks. *Journal of Asian Earth Sciences* 18 (5): 533–46. doi:10.1016/S1367-9120(99)00082-6.
- Ansari, Z. A., C. Desilva, and S. Badesab. 2012. Total Petroleum Hydrocarbon in the Tissues of Some Commercially Important Fishes of the Bay of Bengal. *Marine Pollution Bulletin* 64 (11): 2564–68. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.07.029.
- ANZECC. 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality 1 (4): 314. doi:ISBN 09578245 0 5.
- ASTM. 2011. Standard Test Method for Dimer / Trimer of Chlorotrifluoroethylene (S-316) Recoverable Oil and Grease and Nonpolar Material by Infrared Determination D7066-4.

- An American National Standard, no. Reapproved 2011: 1–9. doi:10.1520/D7066-04R11.2.
- BITRE. 2008. Australian Sea Freight 2006-2007. Bureau of Infrastructure, Transportation and Regional Economics. Departement of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government - Australia.
- Camilli, R., C. M. Reddy, D. R. Yoerger, B. A. S. Van Mooy, M. V. Jakuba, J. C. Kinsey, C. P. McIntyre, S. P. Sylva, and J. V. Maloney. 2010. Tracking Hydrocarabon Plume Transport and Biodegradation at Deepwater Horizon. *Science* 330, 201–4.
- Dincer, K. Z., J. L. Sericano, T. L. Wade, T. S. Bianchi, F. Marcantonio, and A. S. Kolker. 2016. Composition and Depth Distribution of Hydrocarbons in Barataria Bay Marsh Sediments after the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environmental Pollution* 214: 101–13. doi:10.1016/j.envpol.2016.03.071.
- Duan, J., W. Liu, X. Zhao, Y. Han, S. E. O'Reilly, and D. Zhao. 2018. Study of Residual Oil in Bay Jimmy Sediment 5 Years after the Deepwater Horizon Oil Spill: Persistence of Sediment Retained Oil Hydrocarbons and Effect of Dispersants on Desorption. *Science of the Total Environment* 618.: 1244–53. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.234.
- EWIN. 2016. Laporan Akhir EWIN 2016. Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI.
- Farmaki, E., T. Kaloudis, K. Dimitrou, N. Thanasoulis, L. Kousouris, and F. Tzoumerkas. 2007. Validation of a FT-IR Method for the Determination of Oils and Grease in Water Using Tetrachloroethylene as the Extraction Solvent. *Desalination* 210 (1–3): 52–60. doi:10.1016/j.desal.2006.05.032.
- Gurning, S and S. Cahoon. 2009. Maritime Transport Systems in The North-South Pacific Bound Routes Through Indonesia. *Research and Development in Mechanical Industry*.: 1155–64.
- Halpern, B. S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J. F. Bruno, K. S. Casey, C. Ebert, H. E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H. S. Lenihan, E. M. P. Madin, M. T. Perry, E. R. Selig, M. Spalding, R. Steneck, and R. Watson 2008. A Global Map of Human Impact On. *Science* 319): 948–53. doi:10.1126/science.1149345.
- Huffard, C. L., M. V. Erdmann, and T. Gunawan. 2012. Geographic Priorities for Marine Biodiversity Conservation in Indonesia. Coral Triangle Initiative on Coral Reefs, Fisheries, and Food Security. Ministry of Marine Affairs and Fisheries.
- Irwin, R. J., M. Vanmouwerik, L. Stevens, M. D. Seese, and W. Basham. 1997. Environmental Contaminants Encyclopedia Crude Oil Entry. National Park Service Water Resources Division, Water Operation Branch. Roy J. Irw. Vol. 1. Colorado: doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Jupp, B. P., S. W. Fowler, S. Dobretsov, H. van der Wiele, and A. Al-Ghafri. 2017. Assessment of Heavy Metal and Petroleum Hydrocarbon Contamination in the Sultanate of Oman with Emphasis on Harbours, Marinas, Terminals and Ports. *Marine Pollution Bulletin* 121 (1–2): 260–73. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.05.015.
- Kamalakaran, K., S. Balakrishnan, and P. Sampathkumar. 2017. Petroleum Hydrocarbon Concentrations in Marine Sediments along Nagapattinam – Pondicherry Coastal Waters, Southeast Coast of India. *Marine Pollution Bulletin* 117(1–2): 492–95. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.12.057.
- Lyla, S., S. Manokaran, and A. Khan. 2012. Petroleum Hydrocarbon Distribution in Continental Shelf Region of Southeast Coast of India. *International Journal of Sediment Research* 27 (1). International Research and Training Centre on Erosion and Sedimentation and the World Association for Sedimentation and Erosion Research: 73–83. doi:10.1016/S1001-6279(12)60017-1.
- Mikkonen, A., K. P. Hakala, K. Lappi, E. Kondo, A. Vaalama, and L. Suominen. 2012. Changes in Hydrocarbon Groups, Soil Ecotoxicity and Microbiology along Horizontal and Vertical Contamination Gradients in an Old Landfarming Field for Oil Refinery Waste. *Environmental Pollution* 162. Elsevier Ltd: 374–80. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.012.
- Mohebbi-Nozar, S. Laili, M. P. Zakaria, W. R. Ismail, M. S. Mortazawi, M. Salimizadeh, M. Momeni, and G. Akbarzadeh. 2015. Total Petroleum Hydrocarbons in Sediments from the Coastline and Mangroves of the Northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 95 (1). Elsevier Ltd: 407–11. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.03.037.
- Muijs, B. and M.T.O. Jonker. 2009. Evaluation of Clean-up Agents for Total Petroleum Hydrocarbon Analysis in Biota and Sediments. *Journal of Chromatography A* 1216 (27): 5182–89. doi:10.1016/j.chroma.2009.05.015.

- Mujiyanto, Riswanto, dan A. S. Nastiti. 2016. Efektivitas Sub Zona Perlindungan Setasea Di Kawasan Konservasi Perairan TNP Laut Sawu, NTT. Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan. Kementerian Kelautan Dan Perikanan.
- Okoh, A. I. 2006. Biodegradation Alternative in the Cleanup of Petroleum Hydrocarbon Pollutants. *Biotechnology and Molecular Biology* 1:38–50. doi:10.1002/9783527620999.ch6m.
- Sammarco, P. W., S. R. Kolian, R. A. F. Warby, J. L. Bouldin, W. A. Subra, and S. A. Porter. 2013. Distribution and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons Associated with the BP/Deepwater Horizon Oil Spill, Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 73 (1): 129–43. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.05.029.
- Shulgin, A., H. Kopp, C. Mueller, E. Lueschen, L. Planert, M. Engels, E. R. Flueh, A. Krabbenhoeft, and Y. Djajadihardja. 2009. Sunda-Banda Arc Transition: Incipient Continent-Island Arc Collision (Northwest Australia). *Geophysical Research Letters* 36 (10): 1–6. doi:10.1029/2009GL037533.
- Socolofsky, S. A., E. E. Adams, and C. R. Sherwood. 2011. Formation Dynamics of Subsurface Hydrocarbon Intrusions Following the Deepwater Horizon Blowout. *Geophysical Research Letters* 38 (9): 2–7. doi:10.1029/2011GL047174.
- Speight, J. G. 2011. Environmental Effects of Hydrocarbons. *Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes*. doi:10.1016/B978-0-7506-8632-7.10015-5.
- Stout, S. A. and J. R. Payne. 2016. Macondo Oil in Deep-Sea Sediments: Part 1 – Sub-Sea Weathering of Oil Deposited on the Seafloor. *Marine Pollution Bulletin* 111 (1–2). 365–80. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.07.036.
- Strother, T., S. Lowry., and B. Bravo. 2013. Measurement of Dispersed Oil in Water Using an Infrared Analysis Method. *Thermo Fisher Scientific*.
- Tang, J., X. Lu, Q. Sun, and W. Zhu. 2012. Aging Effect of Petroleum Hydrocarbons in Soil under Different Attenuation Conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 149.: 109–17. doi:10.1016/j.agee.2011.12.020.
- Tolosa, I., S. J. De Mora, S. W. Fowler, J. P. Villeneuve, J. Bartocci, and C. Cattini. 2005. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in Marine Biota and Coastal Sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin* 50 (12): 1619–33. doi:10.1016/j.marpolbul.2005.06.029.
- Vershinin, V. I., and S. V. Petrov. 2016. The Estimation of Total Petroleum Hydrocarbons Content in Waste Water by IR Spectrometry with Multivariate Calibrations. *Talanta* 148.: 163–69. doi:10.1016/j.talanta.2015.10.076.
- Wade, T. L., J. L. Sericano, S. T. Sweet, A. H. Knap, and N. L. Guinasso. 2016. Spatial and Temporal Distribution of Water Column Total Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) from the Deepwater Horizon (Macondo) Incident. *Marine Pollution Bulletin* 103 (1–2): 286–93. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.12.002.
- Wang, Z., and M. F. Fingas. 2003. Development of Oil Hydrocarbon Fingerprinting and Identification Techniques. *Marine Pollution Bulletin* 47 (9–12): 423–52. doi:10.1016/S0025-326X(03)00215-7.
- Wensink, H. 1994. Paleomagnetism of Rocks from Sumba: Tectonic Implications since the Late Cretaceous. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 9 (1–2): 51–65. doi:10.1016/0743-9547(94)90065-5.
- Zheng, G. J., and B. J. Richardson. 1999. Petroleum Hydrocarbons and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Hong Kong Marine Sediments. *Chemosphere* 38 (11): 2625–32. doi:10.1016/S0045-6535(98)00470-6.
- Zhou, R., X. Qin, S. Peng, and S. Deng. 2014. Total Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay, China: Long-Term Variations in Pollution Status and Adverse Biological Risk. *Marine Pollution Bulletin* 83 (1): 290–97. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.03.003.