

12-25-2004

KANDUNGAN BAHAN ORGANIK, N-ALKANA, AROMATIK DAN TOTAL HIDROKARBON DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN RAHA KABUPATEN MUNA, SULAWESI TENGGARA

Muhajir Marsaoli

Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

Follow this and additional works at: <https://scholarhub.ui.ac.id/science>

Recommended Citation

Marsaoli, Muhajir (2004) "KANDUNGAN BAHAN ORGANIK, N-ALKANA, AROMATIK DAN TOTAL HIDROKARBON DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN RAHA KABUPATEN MUNA, SULAWESI TENGGARA,"

Makara Journal of Science: Vol. 8: Iss. 3, Article 6.

Available at: <https://scholarhub.ui.ac.id/science/vol8/iss3/6>

This Article is brought to you for free and open access by the Universitas Indonesia at UI Scholars Hub. It has been accepted for inclusion in Makara Journal of Science by an authorized editor of UI Scholars Hub.

KANDUNGAN BAHAN ORGANIK, N-ALKANA, AROMATIK DAN TOTAL HIDROKARBON DALAM SEDIMEN DI PERAIRAN RAHA KABUPATEN MUNA, SULAWESI TENGGARA

Muhajir Marsaoli

Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

Abstrak

Penelitian tentang kandungan bahan organik, senyawa n-alkana, aromatik, dan total hidrokarbon dalam sedimen di perairan Raha, Sulawesi Tenggara telah dilakukan pada Juni 2001. Hasilnya menunjukkan bahwa sedimen di stasiun 1 dan 4 telah tercemar oleh hidrokarbon minyak bumi. Hal ini tampak dari perbandingan antara F1/F2 (fraksi hidrokarbon jenuh/fraksi hidrokarbon aromatik) > 1. Sedangkan berdasarkan kandungan total hidrokarbonnya, menurut kriteria dari NAS (*National Academy of Science*) hanya sedimen di stasiun 2 dan 5 yang telah tercemar oleh senyawa hidrokarbon minyak bumi (>100 ppm).

Abstract

The content of organic material, n-alkana, aromatic compound and hydrocarbon total in the sediment was carried out in the waters of Raha, Southeast of Sulawesi. Investigation on content of organic material, n-alkana, aromatic compound and hydrocarbon total in the sediment was carried out in the waters of Raha, Southeast of Sulawesi in June 2001. The results showed that the sediment at station 1 and 4 were polluted by hydrocarbon compound. This condition is showed by F1/F2 ratio (comparation between saturated hydrocarbon fraction with aromatic hydrocarbons fraction) > 1. According to NAS (*National Academy of Science*) criteria on total hydrocarbon content, station 2 and 5 only were polluted by hydrocarbons compound (>100 ppm).

Keywords: Raha waters, hydrocarbon, sediment

1. Pendahuluan

Pada umumnya pencemaran laut yang terjadi baik secara fisika, kimiawi maupun biologis, banyak menghasilkan racun bagi biota laut dan manusia. Salah satu dari bahan pencemar itu adalah hidrokarbon minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran hidrokarbon yang terbentuk berjuta-juta tahun yang lalu di masa lampau sebagai hasil dekomposisi bahan-bahan organik dari tumbuhan-tumbuhan dan hewan. Minyak bumi berupa cairan kental berwarna kehitaman yang teradapat dalam cekungan-cekungan kerak bumi dan merupakan campuran sangat kompleks dari senyawa-senyawa hidrokarbon dan bukan hidrokarbon. Dewasa ini terdapat 500 senyawa yang pernah dideteksi dalam suatu cuplikan minyak bumi yang terdiri dari minyak bumi fraksi ringan dan fraksi berat. Minyak bumi fraksi ringan, komponen utamanya adalah n-alkana dengan atom C15-17, sedangkan minyak bumi fraksi berat komponen utamanya adalah fraksi hidrokarbon dengan tidik didih tinggi [1]. Keberadaan senyawa hidrokarbon minyak bumi di perairan laut dapat berasal dari berbagai sumber (Tabel 1). Akibat-akibat jangka pendek dari pencemaran minyak bumi sudah banyak dilaporkan [2]. Molekul-molekul hidrokarbon minyak bumi dapat merusak membran sel yang berakibat pada keluarnya cairan sel dan berpenetrasinya bahan tersebut ke dalam sel. Ikan-ikan yang hidup di lingkungan yang tercemar oleh minyak dan senyawa hidrokarbon akan mengalami berbagai gangguan struktur dan fungsi tubuh. Berbagai jenis udang dan ikan akan beraroma dan berbau minyak, sehingga berkurang mutunya [3]. Secara langsung minyak dapat menimbulkan kematian pada ikan. Hal ini disebabkan oleh kekurangan oksigen, keracunan karbondioksida dan keracunan langsung oleh bahan beracun yang terdapat dalam minyak.

Akibat jangka panjang dari pencemaran minyak ternyata dapat pula menimbulkan beberapa masalah yang serius terutama bagi biota yang masih muda [4]. Satu kasus yang menarik adalah usaha perikanan di Santa Barbara, California, yang mengalami penurunan hasil perikanan setiap bulannya dari tahun 1965-1969. Penurunan yang paling rendah terjadi

ketika pelabuhan Santa Barbara dicemari oleh minyak buangan. Kasus limbah minyak yang menyebabkan bau ikan tidak enak terjadi pada ikan-ikan yang diolah di pelabuhan Osaka. Hal ini juga terjadi pada ikan-ikan belanak yang berasal dari

Tabel 1. Perkiraan Minyak Bumi yang Masuk ke Lingkungan Laut

Sumber	Jumlah, ton x 10 ⁶ tahun
Melalui pengolahan di laut	
1. Tanker LOT	0,03-0,31
2. Tanker non-LOT	0,41-1,00
3. Air kotor dilambung kapal, tempat penyimpanan batubara, dan operasi normal di kapal yang lain (semua kapal)	0,05-0,61
Buangan lepas pantai yang tidak disengaja	
1. Kecelakaan tanker	0,10-0,22
2. Kecelakaan kapal lain	0,02-0,35
3. Kecelakaan saluran pipa	<0,01
4. Produksi minyak lepas pantai	0,08-<0,38
5. Rembesan minyak alamiah di laut	0,2-0,7
Deposit Atmosfir	0,2-7,00
Buangan di daratan/tanah	
Penyulingan	0,20-0,30
Operasi pemindahan terminal	0,01-0,25
Kecelakaan saluran kapal	<0,01-0,03
Aliran buangan (kota dan sungai)	1,90
Limbah industri	0,08-1,98
Limbahomotif	0,50-4,4
Limbah penerbangan	0,05
Limbah perkotaan	0,2-(11,8) ^b
Total	1,90-11,4

Sumber: [2]., b; tidak termasuk dalam total

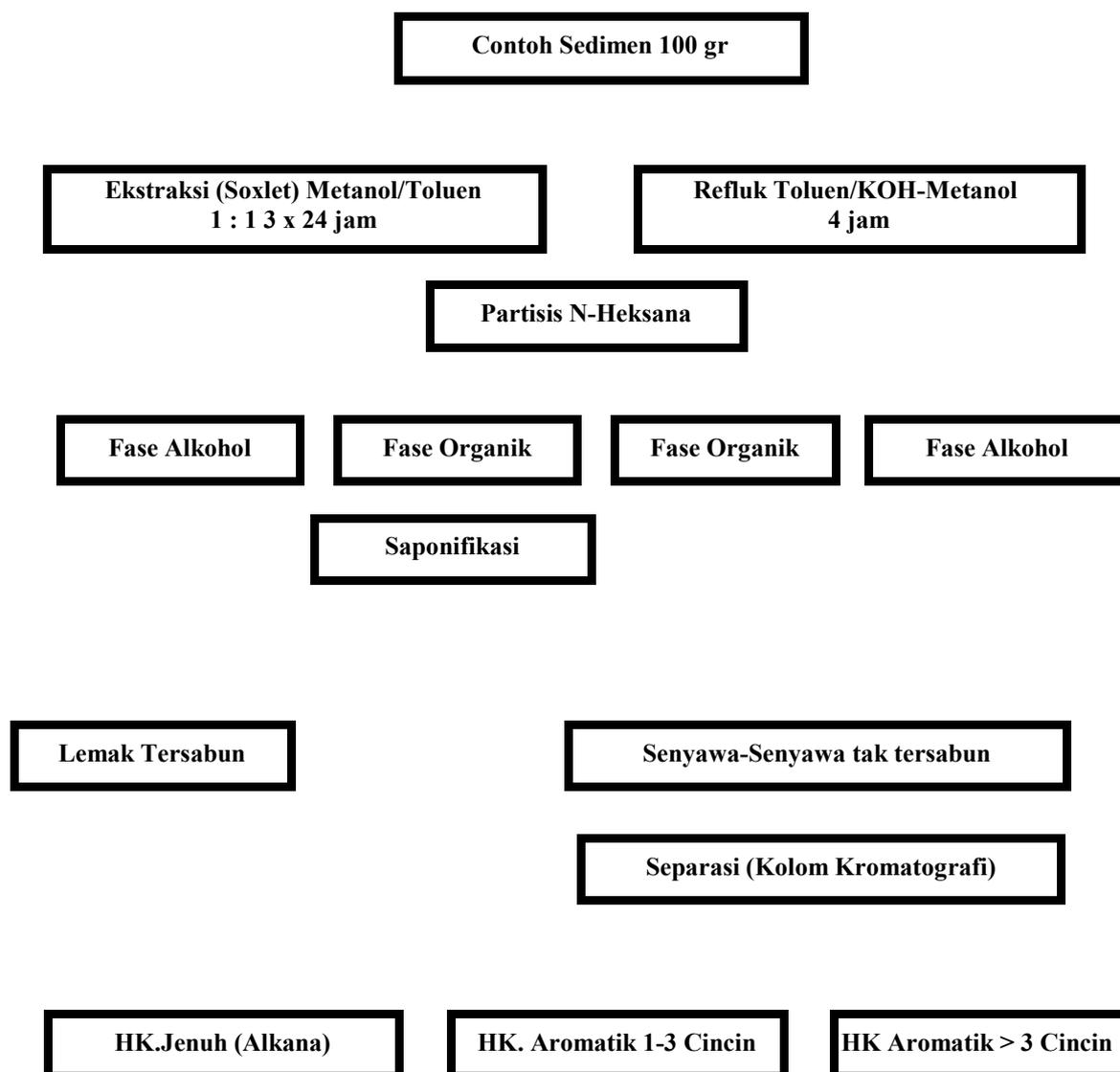
suatu tambak yang diisi air yang mengandung limbah minyak dari lapangan terbang Iwakuni. Ikan belut dan ikan sebelah yang ditangkap beberapa kilometer dari pelabuhan Yokkaichi juga berbau minyak karena masuknya limbah minyak dari pabrik minyak. Hasil penelitian terhadap kedua jenis ikan tersebut dapat diketahui bahwa batas toleransi minyak pada air laut berada antara 0,001-0,01 ppm. Apabila batas tertinggi kadar tersebut sudah terlewati maka bau minyak mulai timbul [5]. Di beberapa tempat di Australia telah ditemukan bahwa zat hidrokarbon dari minyak tanah terdapat pada ikan belanak yang diduga berasal dari air limbah pabrik penggilingan minyak yang dibuang ke laut [6].

Perairan Raha merupakan bagian dari Selat Buton dan merupakan jalur lalu lintas dari Pulau Buton, Pulau Muna dan pulau-pulau lainnya ke ibukota propinsi Kendari. Di samping itu perairan ini merupakan perairan estuari yang dipengaruhi oleh aktivitas yang ada di daratan, perairan ini juga merupakan satu-satunya perairan yang menerima masukan berbagai jenis limbah yang berasal dari kegiatan di kota Raha dan sekitarnya. Dengan demikian perairan ini memiliki peluang cukup besar untuk dicemari oleh hidrokarbon minyak bumi. Keberadaan senyawa hidrokarbon di perairan berasal dari beberapa sumber, antara lain dari biosintesis, geokimia, dan antropogenik. Menurut Farrington dan Meyers [1] jumlah senyawa hidrokarbon yang berasal dari biosintesis berkisar antara 1-10 juta ton per tahun, dan menurut Mulyono [7] senyawa hidrokarbon yang berasal dari rembesan geologi adalah sekitar 0,6 juta ton per tahun. Sisanya berasal dari sumber antropogenik hasil pengelolaan minyak bumi (pengolahan, transportasi, dan pengeboran). Penelitian ini akan membahas kandungan hidrokarbon dalam sedimen di perairan Raha Sulawesi Tenggara serta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

2. Metode Penelitian

Bahan kimia yang digunakan dalam analisis ini adalah metanol pa, KOH pa, aseton pa, kloroform pa, toluen pa, n-hexan pa, Na₂SO₄ anhidrat pa dan silika gel. Alat-alat yang digunakan dalam analisis senyawa hidrokarbon ini adalah: alat-alat gelas, neraca analitik, alat ekstraksi, gas kromatografi, Ultra Violet-Spektrofotometer, fluoresensi.

Sampel sedimen diambil dengan menggunakan *grab* (Van Veen Grab, ukuran kecil) pada 5 (lima) stasiun pengamatan di perairan Raha Sulawesi Tenggara. Sampel selanjutnya dimasukkan dalam wadah tertutup rapat dan berwarna gelap serta disimpan dalam *ice box*. Analisis senyawa hidrokarbon ditentukan berdasarkan metode standar untuk analisis air dan limbah [8]. Analisis dilakukan dengan menggunakan kromatografi dan spektrofotometer fluoresensi UV di laboratorium Kimia Radiasi FMIPA Universitas Hasanuddin Ujung Pandang. Sampel sebanyak 100 gram ditimbang (analitis) kemudian ditentukan kadar airnya, selanjutnya dilakukan ekstraksi bahan organik (EBO) dengan menggunakan campuran 100 ml toluen dan 250 ml metanol dalam KOH 0,5 M, lalu *direflux* selama 4-5 jam. Larutan kemudian didinginkan, disaring dengan penyaring *Buchner* dan dicuci dengan larutan toluen. Filtrat dipisahkan dengan corong pemisah, fase organik diambil dan fase airnya dicuci dengan toluen sebanyak tiga kali masing-masing 25 ml. Selanjutnya fase organik dikeringkan dengan menambahkan Na_2SO_4 anhidrat, dibiarkan satu malam disaring dan filtratnya diuapkan dengan menggunakan *rotavapor*. Setelah kering, ekstrak bahan organiknya ditimbang sebagai ekstrak bahan organik (EBO). Selanjutnya ekstrak bahan organik difraksinasi dengan menggunakan kolom kromatografi *adsorben* yang berisi silika gel (70-230 mesh) untuk memisahkan fraksi hidrokarbon alifatik (n-alkana) dengan fraksi hidrokarbon aromatik. Kemudian kandungan hidrokarbon alifatik dan aromatik ditentukan dengan kromatografi gas dan spektrofotometer fluoresensi UV. Skema pemisahan dan analisis kandungan hidrokarbon dalam sedimen dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 1. Skema pemisahan hidrokarbon dalam sedimen

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran kandungan senyawa hidrokarbon minyak bumi dalam sedimen di perairan Raha Sulawesi Tenggara disajikan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat kandungan EBO berkisar antara 62,5-1104,5 ppm dengan rerata 337,84 ppm, fraksi n-alkana (F1) antara 23,7-49,3 ppm dengan rerata 33,48 ppm, fraksi aromatik (F2) antara 17,2-132,8 ppm dengan rerata 57,14 ppm, dan total hidrokarbon antara 47,8-156,5 ppm dengan rerata 90,62 ppm. Perbandingan antara fraksi n-alkana dengan aromatik yang tinggi (> 1) dijumpai pada stasiun 1 dan 4. Data ini menunjukkan bahwa stasiun 1 dan 4 telah tercemar oleh senyawa-senyawa hidrokarbon. Demikian juga untuk rerata di mana nilai $F1/F2$ adalah 1,08, nilai ini > 1 , hal ini menunjukkan bahwa secara rerata sedimen di perairan ini telah juga tercemar oleh senyawa hidrokarbon minyak bumi. Menurut Liong dkk. [9] jika perbandingan antara $F1/F2 > 1$, maka telah terjadi pencemaran oleh hidrokarbon minyak bumi. Menurut NAS kandungan hidrokarbon di dalam sedimen yang tidak tercemar oleh minyak bumi berkisar antara 1-100 ppm, sedang daerah yang tercemar oleh minyak bumi dapat mencapai 12.000 ppm [7]. Berdasarkan kriteria NAS ini dapat dikatakan bahwa hanya stasiun 2 dan 5 yang telah tercemar oleh minyak bumi ($HT > 100$ ppm), sedangkan stasiun yang lain belum tercemar ($HT < 100$ ppm). Kandungan total hidrokarbon di dalam sedimen di perairan Raha ini bila dibandingkan dengan kandungan total hidrokarbon di daerah lain relatif masih lebih rendah [9-11] (Tabel 3). Data ini menunjukkan bahwa dilihat dari kandungan total hidrokarbon, sedimen di perairan Raha, relatif masih bersih dari cemaran senyawa-senyawa hidrokarbon. Dari Tabel 2 dapat dilihat kandungan hidrokarbon aromatik berkisar antara 17,2-132,8 ppm dengan rerata 57,14 ppm. Senyawa aromatik dalam minyak lebih toksis dibandingkan dengan senyawa alkana.

Senyawa aromatik mengandung berbagai senyawa aromatik lainnya seperti PAH (*Poly Aromatic Hydrocarbon*) yakni senyawa aromatik yang mengandung lebih dari dua cincin benzen. PAH bersifat toksis. Kadar PAH yang relatif tinggi juga pernah ditemukan oleh beberapa peneliti [12,13], dalam sedimen yang lokasinya berdekatan dengan perkotaan. Ini merupakan pola umum di mana PAH cenderung berkumpul dalam sedimen perairan yang dekat dengan daerah perkotaan. Menurut Connel dan Miller [2], PAH dapat berasal dari air buangan, seperti buangan rumah tangga dan industri, sampah, dan aliran buangan

Tabel 2. Kandungan Hidrokarbon dalam Sedimen di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara (ppm).

No	St	EBO	F1	F2	HT	F1/F2	HT/EBO
1	1	129,0	42,2	17,2	59,4	2,46	0,46
2	2	1104,5	23,7	132,8	156,5	0,17	0,14
3	3	62,5	23,9	23,9	47,8	1,00	0,76
4	4	81,4	28,3	23,1	51,4	1,22	0,63
5	5	311,8	49,3	88,7	138,0	0,55	0,44
Rerata		337,84	33,48	57,14	90,62	1,08	0,48

Tabel 3. Perbandingan Total Hidrokarbon di Perairan Raha (Sulteng) dengan beberapa daerah lainnya.

No	Lokasi	Kandungan HT (rerata, ppm)	Sumber
1	Raha, Sulawesi Tenggara	90,62	Penelitian ini
2	Pantai Barat Sulsel	598,509	[9]
3	Kodya Ujungpandang	875,74	[10]
4	Kab. Maros	1182,68	[10]
5	Kab. Pangkep	597,07	[10]
6	Kab. Barru	109,43	[10]

7	Kodya Pare-Pare	310,75	[10]
8	Kab. Pinrang	273,29	[10]
9	Kab. Polmas	174,21	[10]
10	Kab. Majene	172,42	[10]
11	Kab. Mamuju	258,24	[10]
12	Sorong Irian Jaya	190,466	[11]

Ket: HT (hidrokarbon total)

kota, serta dalam buangan atmosferik dari pembakaran bahan bakar fosil. Menurut Clark dan Macleod [14] hidrokarbon alifatis dan aromatis terdapat di seluruh estuari, daerah pantai, dan lingkungan samudera dengan kadar tertinggi di daerah estuari dan habitat intertidal. Seperti yang diungkapkan di atas bahwa senyawa hidrokarbon aromatik ini bersifat racun, salah satunya adalah PAH yakni senyawa aromatik dengan dua atau lebih cincin benzen. PAH yang larut pada konsentrasi 0,1-0,5 ppm dapat menyebabkan keracunan pada makhluk hidup [2], sedangkan PAH dalam kadar rendah dapat menurunkan laju pertumbuhan, perkembangan, dan makan makhluk perairan [15]. Keadaan ini telah diungkapkan oleh Connel dan Miller [2] untuk ikan, hewan berkulit keras dan moluska. Selain itu hidrokarbon minyak bumi yang terserap ke dalam tubuh biota menimbulkan rasa yang menyengat dan memerlukan waktu tertentu untuk dapat hilang (Tabel 4). Tabel 5 memperlihatkan pola perubahan perilaku biota laut terhadap senyawa hidrokarbon aromatik yang larut [16].

Beberapa senyawa Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) baik yang bersifat karsinogen maupun tidak disajikan pada Tabel 6 [17].

Tabel 4. Waktu Paruh Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi dalam Biota

No	Biota	Senyawa	Waktu Paruh, hari
1	Tiram (<i>Crassostrea virginica</i>)	Naftalena	2
		Antrasena	3
		Fluorantena	5
		Benzo[a]antrasena	9
		Benza[a]pyrena	18
2	Kerang (<i>Mytilus edulis</i>)	Benzo[a]pyrena	16
		Alifatik dan aromatik	2
		Alifatik	4
		Aromatik	48-60
3	Copepoda (<i>Calanus helgolandicus</i>)	Naftalena	1,5
4	Kutu air (<i>Daphnia pulex</i>)	Antrasena	0,4
5	Rainbow Trout (<i>Salmo gardneri</i>)	Naftalena Metil Naftalena	Bergantung pada waktu kontak 0,3-38
6	Ikan mulet laut (<i>Mugil cephalus</i>)	N-alkana	18 (maksimum)

Sumber: [2]

Tabel 5. Tanggapan Biota Laut terhadap Hidrokarbon Aromatik yang Larut

No	Kadar (ppm)	Respons
1	0	Bioakumulasi
2	10	Pola perilaku
3	100	Pertumbuhan dan perkembangbiakan
4	1000	Kematian (tingkat larva dan bayi)
5	100.000	Kematian (dewasa)

Tabel 6. Karsinogenitas relatif beberapa PAH terhadap hewan uji di Laboratorium [17].

No	Senyawaan	Karsinogenitas
----	-----------	----------------

1	Antrasena	-
2	Pirena	-
3	Benzo (a)pirena	+++
4	Benzo (e)pirena	-
5	Coronena	-
6	Dibenzo (ai)pirena	+++
7	Dibenzo (a) antrasena	+

Ket: - : nonkarsinogen, + : karsinogen,
+++ : sangat karsinogen

Tabel 7. Toksisitas Senyawa Aromatik terhadap Biota Laut [2]

No	Biota	Ranah Perkiraan Kepekatan Letal Aromatik yang Larut, ppm	
		Minyak mentah (LC50, 96)	Bhn. Bakar Minyak No 2 (Minyak Suling)
1	Finfish	1-10	1-10
2	Bivalves	1-10	0,5-5
3	Gastropods	1-10	1-5
4	Larva (semua species)	0,1-5	-
5	Hewan berkulit keras	1-10	1-10

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada kadar 10 ppm kandungan senyawa hidrokarbon aromatik dapat menyebabkan perubahan pola perilaku pada biota laut dan pada kadar > 1000 ppm dapat menyebabkan kematian. Keadaan ini berbahaya bagi organisme perairan yang hidup dan mencari makan di dalam sedimen perairan. Nilai Ambang Batas (NAB) hidrokarbon aromatik untuk biota laut adalah 0,003 ppm [17]. Tabel 7 memperlihatkan tingkat toksisitas senyawa aromatik yang larut terhadap kelas makhluk hidup laut [2].

Adanya pengayaan sedimen dasar oleh minyak bumi dapat menyebabkan berkurangnya kadar oksigen terlarut, hal ini mirip dengan pengaruh buangan sampah organik yang menghabiskan banyak oksigen dalam proses penguraiannya. Namun tampaknya hal ini tidak terjadi di perairan Raha, karena hasil pengukuran kadar oksigen terlarutnya yang relatif masih normal yakni 5,46 – 6,17 ppm [18]. Dampak lain dari pencemaran minyak bumi adalah meningkatnya kandungan logam berat di perairan, mengingat dalam minyak bumi terdapat unsur logam seperti Vanadium, besi, nikel, titanium, tembaga, dan seng [19]. Logam berat ini dalam kadar yang rendah ada yang dibutuhkan organisme seperti tembaga dan seng untuk proses metabolisme enzim, namun dalam kadar yang tinggi akan bersifat racun. Hasil pengukuran kadar logam berat Cu dan Zn dalam sedimen di perairan ini relatif masih normal yakni antara 3,5-8,0 ppm untuk Cu, dan antara 10,0-46,5 ppm untuk Zn [20]. Nilai Ambang Batas Cu dan Zn dalam sedimen masing-masing adalah 30 ppm [21] dan 20-150 ppm [22]. Kadar logam berat dalam sedimen ini relatif masih rendah dan umum dijumpai di perairan laut yang normal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh selama penelitian, dapat disimpulkan bahwa sedimen di perairan Raha relatif lebih bersih dari cemaran senyawa hidrokarbon minyak bumi dibandingkan dengan beberapa daerah lain di Indonesia. Berdasarkan nilai F1/F2, stasiun 1 dan 4 telah tercemar oleh senyawa hidrokarbon minyak bumi. Hasil analisis gravimetri dan kromatografi gas untuk EBO berkisar antara 62 – 1104,5 ppm, HT berkisar antara 47,8-156,5 ppm, fraksi hidrokarbon jenuh berkisar antara 23,7-49,3 ppm, dan fraksi hidrokarbon aromatik berkisar antara 17,2-132,8 ppm.

Daftar Acuan

- [1] J.W. Farrington, P.A. Meyers, In: G. Eglinton (Ed.). Environment Chemistry Vol.1, The Chemical Society, London, 1975, p.109.
- [2] D.W. Connel, G.J. Miller, CRC Crit. Rev. Environ. Control 11 (1981)105.
- [3] V. Soesanto, Water Pollution, Correspondence-course Central, Jakarta, 1973, 1.
- [4] K. Sumadhiharga, Lingkungan & Pembangunan 15 (1995) 376.
- [5] T. Nitta, Marine Pollution in Japan, FAO Rome, FIR. MP/Jo/R-16, 1970, p.8.

- [6] G.S. Sidhu, Nature and effect of a kerosene like taint in mullet (*Mugil cephalus*), FAO Rome, FIR:MP/70/E-39, 1970, p.99.
- [7] M. Mulyono, Makalah Kursus Pencemaran Laut P3O-LIPI, Jakarta, 1988.
- [8] APHA, AWWA, WPCF, Standard Method for Water and Waste Water Analysis, Washington DC, 1987.
- [9] S. Liong, A. Upe, A. Noor, B. Jawahir, Prosiding Hasil-hasil Penelitian PSI-UNHAS Periode 1993-1194 dan 1994/1995, PSL UNHAS, Ujung Pandang, 1996, p.185.
- [10] A. Upe, Jurnal Lingkungan dan Pembangunan 20 (2000)179.
- [11] Edward, Z. Tarigan, Lingkungan & Pembangunan 17 (1996) p.35.
- [12] W.A. Maher, J. Bagg, D.J. Smith, Int. J. Environ. Anal. Chem. 7 (1979) 1.
- [13] J. Bagg, J.D. Smith, W.A. Maher, Aust.J.Mar. Fresh-water Res. 32 (1981) 65.
- [14] R.C. Clark Jr., W.D. Macleod Jr., In: D.C. Malins (Ed.), Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environments and organisms, vol. I, Academic Press, New York, 1977.
- [15] J.M. Neff, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment, Applied Science Publisher, London, 1979.
- [16] G.J. Miller, J. Appl. Toxicol 2 (1982) 88
- [17] Kementrian KLH, Keputusan Menteri Nomor 51 tahun 2004 tentang baku mutu air laut, Kementrian KLH, Jakarta, 2004.
- [18] Edward, FS. Pulumahuny, Buku Pesisir dan Pantai Indonesia VIII, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta, 2002, p.20.
- [19] W. Wisaksono, Lembaran Publikasi Lemigas No. 1, Lemigas, Jakarta, 1987, p.70.
- [20] Edward, Kandungan Logam berat Pb,Cd, Cu, dan Zn dalam air laut dan sedimen di perairan Raha Sulawesi Tenggara, Laporan Eksekutif, Puslitbang Oseanologi LIPI, Jakarta, 2001.
- [21] E. Suryani, Syarifuddin Liong, Marina Chimica Acta 5 (2003) 2
- [22] S.S. Thayib, H. Razak, Prosiding Seminar dan Kongres Nasional Biologi VI, Surabaya, Indonesia, 1981, p.196.