



PENENTUAN KEPEKATAN LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN DI MUARA SUNGAI KEMAMAN, TERENGGANU

(Determination of Heavy Metal Concentrations in Sediment of Kemaman River Estuary, Terengganu)

Ahmad Shamsuddin Ahmad^{1*}, Suhaimi Suratman², Noor Azhar Mohamed Shazili², Ong Meng Chuan^{1,2},
Mohammed Faizal Abdul Rahim¹

¹Fakulti Sains dan Sekitaran Marin

²Institut Oseanografi dan Sekitaran

Universiti Malaysia Terengganu, 21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

*Email pengarang utama: sham@umt.edu.my

Received: 29 July 2019; Accepted: 28 December 2019

Abstrak

Penentuan kepekatan dan taburan beberapa logam berat terpilih seperti Al, Fe, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb dan Zn di dalam sedimen dasar di muara Sungai Kemaman, Terengganu telah dijalankan menggunakan kaedah pencernaan basah. Selepas pencernaan, logam berat di dalam larutan ekstrak dianalisa menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS) dan spektrofotometer serapan atom relau grafit (GFAAS). Umumnya, keputusan menunjukkan bahawa kepekatan kebanyakan logam berat di kawasan kajian adalah lebih rendah atau setara jika dibandingkan dengan kawasan lain. Bagi pensampelan pertama, purata kepekatan logam adalah $4.44 \pm 2.55\%$ (Al), $2.36 \pm 1.01\%$ (Fe), $44.29 \pm 23.82 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cr), $12.13 \pm 6.03 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cu), $135 \pm 83.08 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Mn), $27.08 \pm 13.47 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Ni), $25.11 \pm 10.34 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pb) dan $69.85 \pm 29.13 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Zn). Bagi pensampelan kedua pula purata kepekatan adalah $10.18 \pm 6.64\%$ (Al), $1.78 \pm 0.75\%$ (Fe), $27.00 \pm 18.27 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cr), $10.15 \pm 6.75 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cu), $120.71 \pm 72.69 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Mn), $11.88 \pm 5.18 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Ni), $20.49 \pm 9.20 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pb) dan $34.17 \pm 29.97 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Zn). Analisis statistik ANOVA menunjukkan terdapatnya perbezaan bererti ($p < 0.05$) di antara pensampelan pertama dan kedua. Penentuan faktor pengkayaan menunjukkan kepekatan Pb di kawasan kajian dipengaruhi oleh sumber-sumber antropogenik. Beberapa aktiviti di sekitar Sungai Kemaman telah dikenalpasti sebagai penyumbang sumber antropogenik iaitu aktiviti-aktiviti perikanan, perindustrian, aktiviti-aktiviti di dermaga dan dari kawasan perbandaran.

Kata kunci: logam berat, faktor pengkayaan, sedimen, Sungai Kemaman, Laut China Selatan

Abstract

The determination of the concentrations and distributions of selected heavy metals such as Al, Fe, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, and Zn in sediment of Kemaman River estuary, Terengganu has been carried out using the wet digestion method. After digestion, heavy metals in solution extracts were analysed by atomic absorption spectrophotometer (AAS) and graphite furnace atomic absorption spectrophotometer (GFAAS). In general, the results showed that most of heavy metals concentration in the study area are similar or lower compared to other areas. For the first sampling, mean concentration was $4.44 \pm 2.55\%$ (Al), $2.36 \pm 1.01\%$ (Fe), $44.29 \pm 23.82 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cr), $12.13 \pm 6.03 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cu), $135 \pm 83.08 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Mn), $27.08 \pm 13.47 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Ni), $25.11 \pm 10.34 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pb) and $69.85 \pm 29.13 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Zn). In the second sampling, the mean concentration of Al was $10.18 \pm 6.64\%$, $1.78 \pm 0.75\%$ (Fe), $27.00 \pm 18.27 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cr), $10.15 \pm 6.75 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Cu), $120.71 \pm 72.69 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Mn), $11.88 \pm 5.18 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Ni), $20.49 \pm 9.20 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pb) and $34.17 \pm 29.97 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Zn). The ANOVA statistical analysis showed that there was significant difference ($p < 0.05$) between the first and second sampling. Enrichment factor determination showed that Pb concentration was influenced by anthropogenic sources. Several activities around the Sungai Kemaman have been identified as the contributors for anthropogenic sources such as fishing activities, industrial, shipyard activities and from urbanized area.

Keywords: heavy metals, enrichment factor, sediment, Kemaman River, South China Sea

Pendahuluan

Pencemaran laut dan sungai adalah satu isu yang amat sensitif untuk diperkatakan sama ada di Malaysia mahupun di serata dunia. Pada hari ini manusia mulai sedar akan kesan yang akan terjadi atau dihadapi apabila berlakunya sesuatu pencemaran. Bernt [1] dan Shamsuddin [2] telah mendapati terdapatnya bukti-bukti yang menunjukkan beberapa kawasan laut dan sungai di serata dunia ini dalam keadaan terancam. Sehubungan dengan itu, para saintis hari ini telah bersependapat bahawa pencemaran laut dan sungai memerlukan kajian yang segera kerana pada masa sekarang ini maklumat mengenai kesan negatif akibat daripada pencemaran masih lagi terbatas.

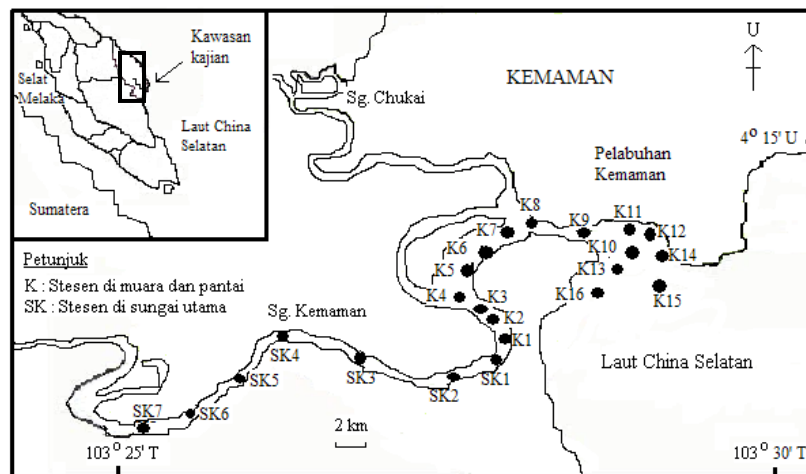
Sejak beberapa dekad yang lalu, penubusgunaan tanah di sepanjang sungai untuk pembinaan kawasan perindustrian telah dilakukan bagi meningkatkan ekonomi masyarakat setempat. Ini telah menyebabkan pertambahan penduduk, aktiviti yang semakin meluas dan yang paling penting sekali adalah pembuangan sisa-sisa perindustrian ke dalam sungai yang telah menyebabkan pengumpulan logam berat yang toksik sehingga pada tahap yang membimbangkan. Logam berat yang memasuki sungai ini akan tertinggal yang kemudiannya diserap oleh bahan terampai dan diangkut ke seluruh kawasan sungai mengikut pergerakan arah arus [3]. Semasa pengangkutan berlaku, ia akan bercampur dengan bahan-bahan enapan dan partikulat lain yang terdapat dalam sungai tersebut. Ini akan menyebabkan perubahan secara kimia dan pemendakan berlaku bersama dengan logam berat tersebut. Pada masa dahulu, sedimen sungai dikatakan dapat membantu membersihkan air dengan menyerap pencemaran. Tetapi sekarang, simpanan logam berat yang banyak di dalam sedimen telah digambarkan sebagai berbahaya dan bertoksik kerana boleh memberi kesan jangka-masa panjang kepada ekosistem sungai dan biota hidupan yang terdedah dengan bahan bertoksik ini [3].

Secara amnya, pencemaran sungai pada masa kini adalah pada tahap yang membimbangkan. Pembuangan sisa-sisa perindustrian daripada kilang-kilang yang dibina berhampiran telah menyebabkan sungai tercemar teruk. Begitu juga dengan pembuangan sisa-sisa domestik yang dilakukan oleh pihak yang tidak bertanggungjawab sehingga menyebabkan pencemaran berlaku. Berasaskan kepada keadaan ini maka satu kajian telah dijalankan di Sungai Kemaman untuk mengkaji faktor-faktor penyumbang kepada kepekatan logam berat dalam sedimen. Sungai Kemaman terletak di kawasan perindustrian Teluk Kalong, Kemaman, Terengganu.

Bahan dan Kaedah

Kawasan kajian dan persampelan

Kawasan kajian ditunjukkan dalam Rajah 1. Pensampelan enapan dasar daripada 23 stesen terpilih telah dijalankan sebanyak dua kali iaitu pada bulan Jun 2002 dan Oktober 2002 dengan menggunakan bot UNIPERTAMA III. Pensampelan sedimen dilakukan dengan menggunakan pencengkau Smith McIntyre. Sampel disimpan dalam bekas polietilena yang telah direndam di dalam larutan asid nitrik 20% selama satu minggu dan dibilas dengan air Milli-Q ($18.2 \text{ M}\Omega$) dan kemudiannya dibawa ke makmal.



Rajah 1. Kawasan kajian di muara Sungai Kemaman, Terengganu

Penyediaan sampel

Di dalam makmal, sampel dikeringkan sehingga mencapai berat yang tetap. Kemudian sampel diayak menggunakan penggongcang automatik Endecolls EFL2 mk3. Hanya sampel yang bersaiz di bawah 63 μm digunakan untuk analisis seterusnya.

Analisis logam berat

Kesemua peralatan kaca yang digunakan dalam analisis terlebih dahulu direndam di dalam larutan asid nitrik 10% untuk selama 24 jam dan dibilas dengan air Milli-Q (18.2 M Ω) untuk memastikan ia bebas daripada bahan-bahan pencemar. Kaedah pencernaan basah ke atas sampel telah dijalankan dengan menggunakan campuran asid nitrik (65%, GR, Merck), asid perklorik (70-72%, GR, Merck), asid hidroflok (40%, GR, Merck) dan asid hidroklorik (37%, GR, Merck) [4]. Selepas pencernaan, analisis logam berat telah dijalankan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS) model Perkin Elmer 3100 dan spektrofotometer serapan atom relau grafit (GFAAS) model Hitachi Z-8270. Sampel rujukan NBS 1646a telah digunakan untuk memastikan ketepatan analisis yang dijalankan. Ketepatan analisis adalah di antara julat 92-104% (Jadual 1).

Jadual 1. Nilai ujian ketepatan analisis sampel dengan nilai rujukan NBS 1646a

Logam	Nilai Piawai ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ berat kering)	Nilai Diperolehi ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ berat kering)	Ketepatan (%)
Al %	2.29	2.35	103
Fe %	2.01	1.85	92
Cr	40.90	39.08	96
Cu	10.01	10.42	104
Mn	234.50	257.71	101
Ni	23.00	23.97	104
Pb	11.70	10.99	94
Zn	48.90	49.99	102

Penentuan Faktor Pengkayaan

Faktor pengkayaan merupakan salah satu kaedah yang boleh digunakan untuk menentukan samada sesuatu kawasan kajian tercemar dengan sumber antropogenik atau tidak. Nilai faktor pengkayaan diperolehi apabila nisbah kepekatan logam daripada data yang diperolehi dibahagikan dengan nisbah kepekatan logam daripada kerak bumi [5-8]. Dalam kajian ini, nilai kepekatan logam Al telah digunakan mengikut nilai yang dinyatakan oleh Mason dan Moore [9] sebagai nilai rujukan. Nilai faktor pengkayaan yang melebihi 1 menunjukkan terdapat kemasukan sumber-sumber antropogenik dalam sedimen kawasan yang dikaji [10, 11], manakala nilai faktor pengkayaan kurang daripada 1 menunjukkan logam tersebut berasal dari sumber semulajadi. Pengiraan faktor pengkayaan adalah berdasarkan formula berikut:

$$\text{Faktor pengkayaan (EF)} = \frac{(\text{kepekatan logam} / \text{Al}) \text{ sampel}}{(\text{kepekatan logam} / \text{Al}) \text{ kerak bumi}} \quad (1)$$

Keputusan dan Perbincangan

Kepekatan logam mengikut masa pensampelan

Kepekatan purata logam berat di kawasan kajian ditunjukkan dalam Jadual 2 dan perbandingan antara kajian dalam Jadual 3. Berdasarkan kepada analisis statistik ANOVA yang dijalankan didapati kepekatan logam menunjukkan perbezaan yang bererti ($n=23$, $p < 0.05$) di antara pensampelan pertama dan kedua. Secara umumnya, didapati kepekatan logam pada pensampelan pertama adalah lebih tinggi berbanding dengan pensampelan kedua kecuali

logam Al. Keadaan ini adalah bersangkutan dengan perubahan musim [2, 11, 12]. Pensampelan pertama dilakukan sebelum musim tengkujuh manakala pensampelan kedua dijalankan ketika musim tengkujuh baru bermula. Akibat daripada itu, dicadangkan tekstur sedimen dasar kawasan kajian telah berubah yang mana min saiz enapan menjadi semakin kasar semasa permulaan musim tengkujuh (min saiz = $2.34\phi \pm 0.93$) berbanding dengan sebelum tengkujuh (min saiz = $4.02\phi \pm 1.31$). Menurut Kamaruzzaman [12], Donazzolo et al. [13], Nriagu et al. [14], Ong et al. [15] dan Ong et al. [16], saiz butiran yang halus mempunyai luas permukaan spesifik yang sangat tinggi untuk bersentuhan dengan logam dan seterusnya menyerap lebih banyak ion-ion logam berbanding dengan dengan partikel yang lebih besar. Ujian korelasi menunjukkan min saiz sedimen berkorelasi secara positif dan kuat dengan kepekatan ion-ion logam di dalam sedimen ($R^2 = 0.65$).

Jadual 2. Kepekatan purata untuk setiap logam dalam sedimen di kawasan kajian

Pensampelan	Al (%)	Fe (%)	Cr ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Pertama	4.44 $\pm$ 2.55 (1.36 – 10.50)	2.36 $\pm$ 1.01 (0.97 – 3.90)	44.29 $\pm$ 23.82 (6.00 – 78.17)	12.13 $\pm$ 6.03 (2.88 – 20.27)	135.54 $\pm$ 83.08 (31.47 – 444.7)	27.08 $\pm$ 13.47 (10.98 – 70.42)	25.11 $\pm$ 10.34 (9.47 – 40.29)	69.85 $\pm$ 29.13 (12.0 – 164.01)
Kedua	10.18 $\pm$ 6.64 (1.89 – 13.33)	1.78 $\pm$ 0.75 (0.44 – 3.98)	27.00 $\pm$ 18.27 (0.88 – 63.90)	10.15 $\pm$ 6.75 (2.18 – 33.25)	120.71 $\pm$ 72.69 (17.92 – 364.90)	11.88 $\pm$ 5.18 (2.07 – 65.89)	20.49 $\pm$ 9.20 (7.13 – 51.06)	34.17 $\pm$ 29.97 (5.98 – 145.58)

() = julat nilai

Jadual 3. Kepekatan logam dalam sedimen di beberapa kawasan di Malaysia

Lokasi	Al (%)	Fe (%)	Cr ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Muara K.Terengganu ^a	-	-	-	-	384 – 1744	25 – 53	30.6 – 638	47 – 159
Juru Penang ^b	2.6 – 8.1	0.9 – 2.9	11.5 – 59.6	9.3 – 43	118 – 442	-	-	36.7 – 65
Luar Pantai Sabah ^c	2.4 – 3.8	1.3 – 2.3	38 – 59	20 – 50	211 – 320	24 – 47	BDL – 41	34 – 55
Sungai Chukai ^d	6.0 – 15.2	1.3 – 3.4	33.4 – 77.9	8.6 – 20.7	99.9 – 645.5		9.4 – 19.6	25.74 – 69.81
Laut China Selatan ^c	-	--	-	1.9 – 9.2	-	6.1 – 22.3	1.9 – 12.8	12.45 – 49.88
Sungai Rambai ^e	-	1.5 – 2.7	-	20 – 84	56 – 803	-	38 – 117	51 – 483

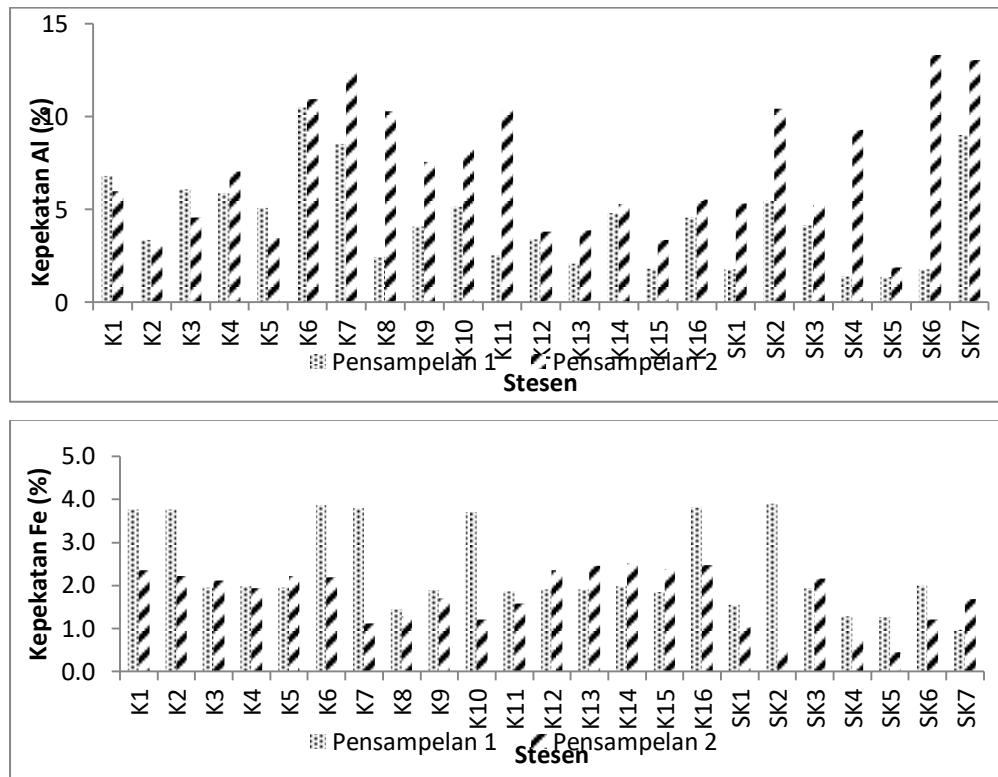
a) Nor [17], b) Khalik et al. [18], c) Shazili et al. [19], d) Shamsuddin et al. [20], e) Poh & Mun [21]

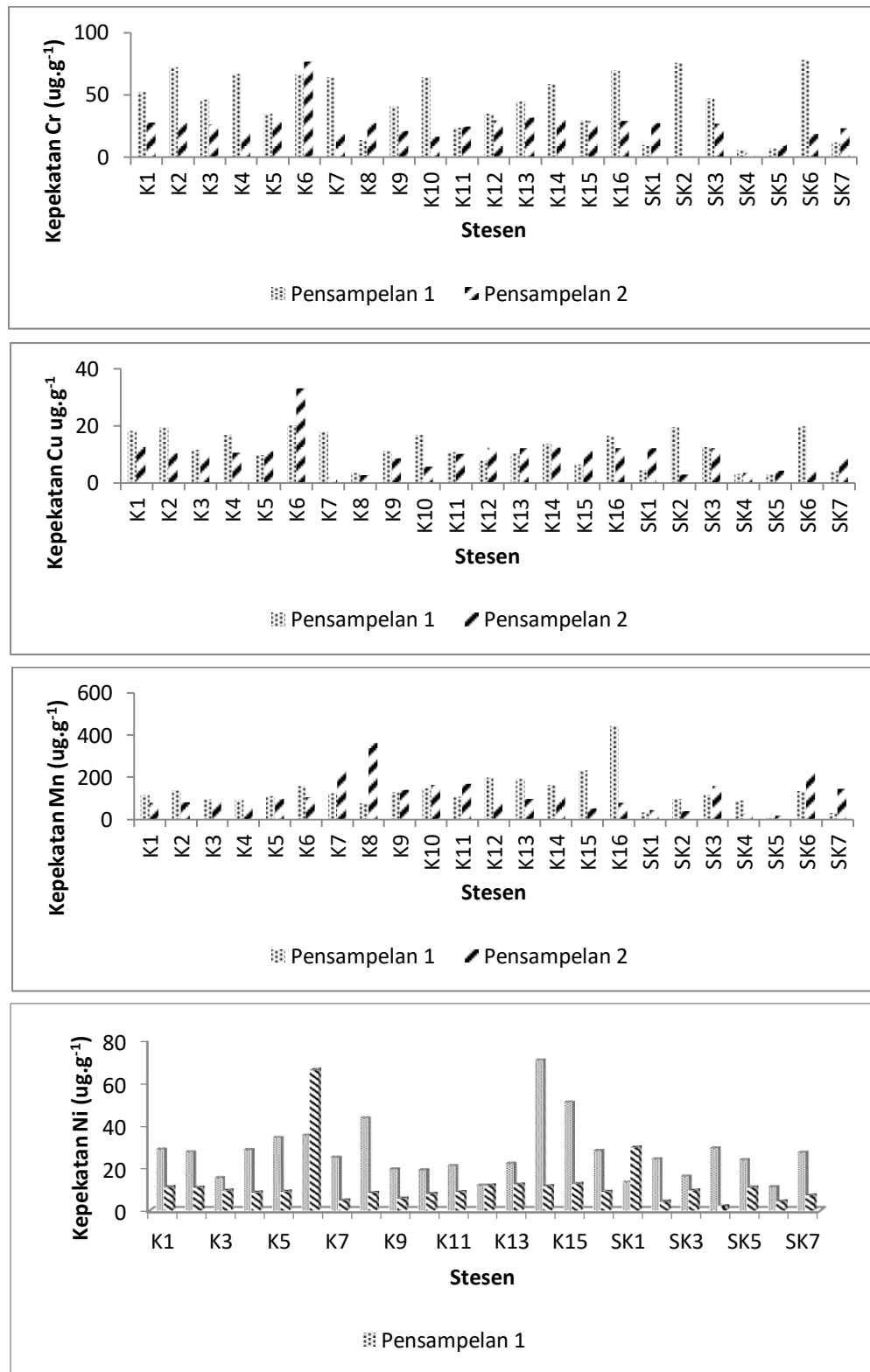
Perbandingan kepekatan logam kawasan kajian dengan beberapa kawasan di persisiran pantai di Malaysia

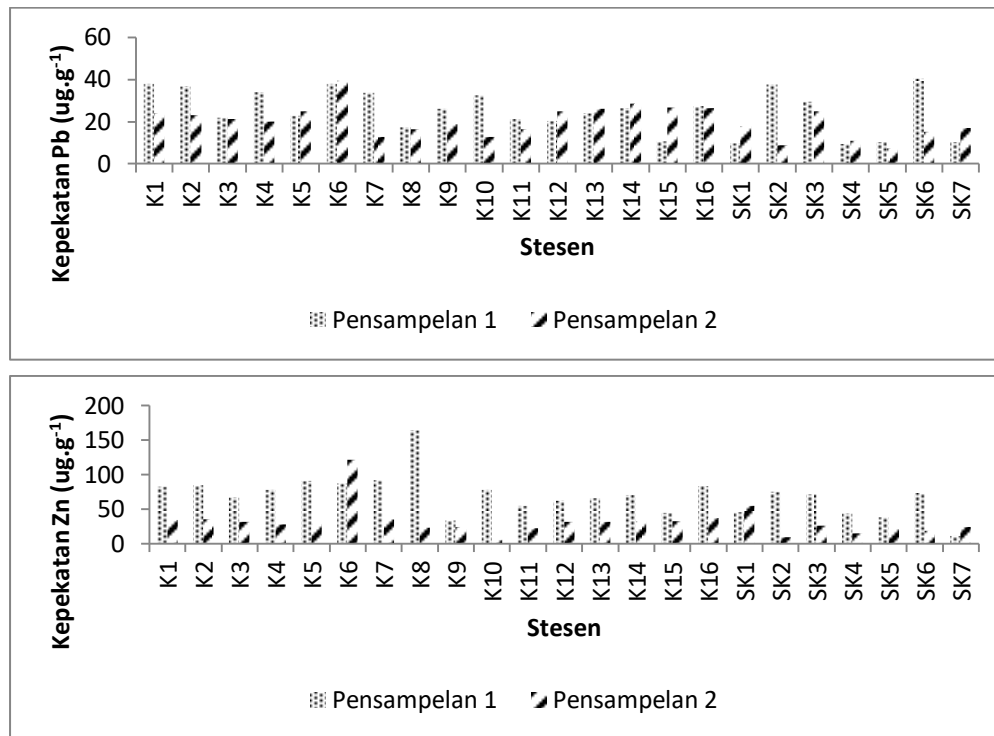
Jadual 3 menunjukkan perbandingan kepekatan logam di antara Sungai Kemaman dan sungai-sungai serta kawasan pesisiran pantai di Malaysia. Secara umumnya, melalui perbandingan didapati kepekatan logam Fe, Cr, Cu dan Mn di kawasan kajian berada dalam julat yang hampir sama dengan kepekatan logam dari Sungai Juru (Pulau Pinang), Luar Pantai Sabah, Sungai Chukai (Kemaman, Terengganu) dan Sungai Rambai (Melaka). Manakala julat kepekatan logam Ni, Pb dan Zn di kawasan kajian adalah berbeza dengan kepekatan logam di muara Kuala Terengganu, Sungai Chukai, Laut China Selatan dan Sungai Rambai. Perbezaan ini mungkin disebabkan oleh pengaruh aktiviti-aktiviti yang terdapat di persekitaran kawasan-kawasan kajian. Perbezaan kepekatan logam di sesuatu kawasan adalah disebabkan oleh pengaruh atau pemasukan logam dari berbagai-bagai sumber. Menurut Dryssen et al. [22] dan Bernhard [23], kepekatan logam boleh berubah secara terus melalui berbagai-bagai proses dan sumber pencemaran. Badri [24] telah menyatakan bahawa pencemaran logam berat mungkin masuk ke dalam persekitaran dalam bentuk pepejal atau bukan pepejal, di mana ianya boleh dirujuk kepada perlimpahan di dalam abiotik (seperti endapan, debu, tanah dan air) dan juga perlimpahan biotik (seperti tumbuhan, hidupan akuatik dan sebagainya).

Kepekatan logam mengikut stesen kajian

Rajah 2 menunjukkan kepekatan logam mengikut stesen kajian dan masa pensampelan. Berdasarkan kepada keputusan yang diperolehi, didapati beberapa stesen kajian mempunyai kepekatan logam yang lebih tinggi berbanding dengan stesen-stesen pensampelan yang lain. Ini mungkin disebabkan kedudukan geografi stesen pensampelan tersebut serta pengaruh daripada aktiviti-aktiviti manusia seperti perumahan, perindustrian dan perkapalan di sekitar kawasan sungai tersebut. Di samping itu, jenis tekstur sedimen dasar juga mempengaruhi kepekatan logam berat tersebut [2, 11, 25]. Umumnya, kepekatan beberapa logam di stesen K1, K2, K6 dan K7 adalah tinggi berbanding dengan kepekatan logam di stesen-stesen yang lain. Di stesen K1 dan K2 didapati kepekatan logam Fe, Cr, Cu dan Pb adalah tinggi disebabkan oleh kemasukan sumber logam dari aktiviti di limbungan kapal dan pusat perindustrian kecil yang menyalurkan bahan buangan ke dalam sungai tersebut. Manakala, kepekatan logam Fe, Cr, Cu, Ni, Pb dan Zn di stesen K6 dan K7 adalah tinggi akibat daripada bahan-bahan buangan dari aktiviti di pelabuhan perikanan, stesen minyak dan kawasan perbandaran. Hasil kajian saintis mendapati bahawa kandungan logam Cu dan Fe yang tinggi mungkin disebabkan oleh aktiviti perindustrian yang melepaskan sisa industri ke persekitaran akuatik berdekatan [2, 12, 26]. Shamsuddin [2], Kamaruzzaman [12] dan Donazzolo et al. [13] juga merumuskan bahawa kandungan logam Zn dan Pb yang tinggi di persekitaran akuatik seperti kawasan pelabuhan atau kawasan yang aktif dengan aktiviti perkapalan. Hasil dapatan sesetengah saintis juga menunjukkan bahan buangan manusia seperti dari perumahan, perbandaran dan automobil menyumbang kepada pencemaran Pb di persekitaran akuatik [2, 12, 20, 27, 28].







Rajah 2. Kepekatan logam berat bagi setiap stesen kajian Muara Sungai Kemaman

Faktor pengkayaan

Nilai EF logam-logam yang dikaji ditunjukkan dalam Jadual 4. Kesemua logam yang dikaji menunjukkan nilai EF yang kurang daripada 1 bagi kedua-dua pensampelan kecuali logam Pb. Ini menggambarkan bahawa logam berat di kawasan kajian adalah berasal daripada proses semulajadi sama ada sebelum musim tengkujuh mahupun ketika musim tengkujuh [2, 10, 11]. Berdasarkan kepada nilai EF bagi Pb iaitu melebihi 1, didapati kepekatan logam ini dipengaruhi oleh kemasukan logam daripada sumber antropogenik. Keputusan ini adalah selari dengan keputusan kajian yang diperolehi oleh Shamsuddin [2] dengan menggunakan kaedah penguraian berterusan ke atas enapan dasar muara Kuala Kemaman dan pesisiran pantai Kemaman. Daripada kajian Shamsuddin [2], didapati jumlah kepekatan logam Pb dalam pecahan bukan litogenik (fasa penguraian logam mudah bertukar, fasa penguraian ikatan karbonat, ikatan Fe-Mn oksida dan fasa ikatan bahan organik) adalah lebih tinggi jika dibandingkan dengan kepekatan logam Pb dalam pecahan litogenik (fasa hasil logam) dan ini menunjukkan kepekatan Pb di kawasan kajian adalah dipengaruhi oleh kemasukan sumber antropogenik. Kepekatan logam dalam sedimen sebenarnya boleh dibahagikan kepada pecahan yang tidak kekal (pecahan bukan litogenik) dan pecahan yang kekal (pecahan litogenik) [29-31]. Pecahan bukan litogenik adalah berpunca daripada bahan-bahan antropogenik iaitu bahan-bahan yang terhasil daripada aktiviti-aktiviti manusia manakala pecahan litogenik adalah logam yang terikat pada kekisi hablur atau sumber semulajadi [31]. Jika kepekatan logam dalam pecahan bukan litogenik tinggi bermakna terdapatnya kemasukan logam daripada sumber antropogenik dan begitu juga sebaliknya.

Jadual 4. Nilai faktor pengkayaan (EF) logam di kawasan kajian

Logam	Nilai EF (Pensampelan Pertama)	Nilai EF (Pensampelan Kedua)
Fe	0.80	0.46
Cr	0.31	0.13
Cu	0.55	0.27
Mn	0.26	0.10
Ni	0.46	0.29
Pb	2.25	1.56

Kesimpulan

Secara kesimpulannya, keputusan daripada kajian yang telah dijalankan di Sungai Kemaman menunjukkan kepekatan logam dalam sedimen dasar kawasan masih lagi berada dalam keadaan terkawal kecuali bagi logam Pb. Ini boleh dibuktikan dengan nilai faktor pengkayaan yang dikira dengan menggunakan logam Al sebagai rujukan. Hubungan kolerasi yang positif di antara kepekatan logam berat dan tekstur sedimen menunjukkan bahawa tekstur sedimen memainkan peranan dalam menentukan kepekatan logam berat di mana sedimen yang halus lebih mengikat ion-ion logam berat yang dikaji. Oleh yang demikian, berdasarkan data-data yang diperolehi, rumusan yang boleh dibuat adalah aktiviti-aktiviti persekitaran didapati memainkan peranan yang besar dalam memperkayakan kepekatan logam-logam di kawasan kajian.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada Universiti Malaysia Terengganu (UMT) di atas bantuan kewangan jangka pendek (no. vot 54064) yang telah diberikan.

Rujukan

- Bernt, Z. (1978). Controlled environment experiments in pollution studies. *Ocean Management*, 4: 319-344.
- Shamsuddin, A. A. (1996). Agihan beberapa logam berat di persisiran Pantai Kemaman, Terengganu. *Thesis of Master Degree*, Universiti Pertanian Malaysia.
- Ouyang, Y., Higman, J., Thompson, J., O'Toole, T. and Campbell, D. (2002). Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega River subbasin. *Journal of Contaminant Hydrology*, 54: 19-35.
- Windom, H. L., Schropp, S. J., Calder, F. D., Ryan, J. D., Smith, R. G. Jr., Burney, L. C., Lewis, F. G. and Rawlinson, C. H. (1989). Natural trace metal concentration in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. *Environmental Science & Technology*, 23: 314-320.
- Fatima, M. D. A., Bernard, P. C. and Grieken, R. E. V. (1988). Heavy metal contamination in sediments from the Belgian Coast and Scheldt Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 19: 269-273.
- Sinex, S. A. and Wright, D. A. (1988). Distribution of trace metals in the sediments and biota of Chesapeake Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 19: 425-431.
- Kamaruzzaman B. Y., Siti Waznah, A., Mohd Zahir, M. S., Ong, M. C., Shahbudin, S., Jalal, K. C. A., Rina Sharlinda, Z., Shuhada, A. T., Akbar, B. and Joseph, B. (2010). Spatial distribution of lead and copper in the bottom sediments of Pahang river estuary, Pahang, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 39(4): 543-547
- Kamaruzzaman, B. Y., Nurulnadia, M. Y., Noor Azhar, M. S., Ong, M. C. and Joseph, B. (2011). Heavy metal concentration in the surface sediment of Tanjung Lumpur mangrove forest, Kuantan, Pahang, Malaysia. *Sains Malaysiana* 40(2): 89-92
- Mason, B. and Moore, C. B. (1982). Principles of geochemistry, 4th ed., John Wiley and Sons, New York.
- Szefer, P., Glasby, G. P., Szefer, K., Pempkowiak, J. and Kaliszan, R. (1996). Heavy metal pollution in superficial sediments from the Southern Baltic Sea off Poland. *Journal of Environmental Science and Health*, 31: 2723-2754.

11. Soto-Jimenez, M. F. and Paez-Osuna, F. (2001). Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlan Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53: 259-274.
12. Kamaruzzaman, Y. (1994). Kajian beberapa aspek parameter fiziko-kimia di dalam sistem muara Sungai Chukai-Kemaman, Terengganu, Malaysia. *Thesis of Master Degree*, Universiti Pertanian Malaysia.
13. Donazzolo, R., Merlin, O. H., Vitturi, L. M., Orio, A. A., Pavoni, B., Perin, G. and Rabitti, S. (1981). Heavy metal contamination in surface sediments from the Gulf of Venice, Italy. *Marine Pollution Bulletin*, 12: 417-425.
14. Nriagu, J. O., Kemp, A. L. W., Wong, H. K. T. and Harper, N. (1979). Sedimentary record of heavy metal pollution in Lake Eric. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 247-258.
15. Ong, M. C., Fok, F. M., Sultan, K. and Joseph, B. (2016). Distribution of heavy metals and rare earth elements in the surface sediments of Penang River estuary, Malaysia. *Open Journal of Marine Science*, 6: 79-92.
16. Ong, M. C., Joseph, B., Shazili, N. A. M., Ghazali, A. and Mohamad, M. N. (2015). Heavy metals concentration in surficial sediments of Bidong Island, South China Sea off the east coast of Peninsular Malaysia. *Asian Journal of Earth Sciences*, 8(3): 74-82.
17. Nor, M. A. (1993). Kajian ke atas penspesisan logam berat dalam enapan di muara Sungai Terengganu dan perairan pantai Kuala Terengganu. *Thesis of Bachelor Degree*, Universiti Pertanian Malaysia.
18. Khalik, W., Norzairuddin, M., Che Seman, M. and Zaharuddin, A. (1993). Persampelan 'corer' dan penggunaan teknik analisis pengaktifan neutron (APN) dalam penilaian rekod pencemaran unsur di Perairan Juru, Pulau Pinang. *Kertas Teknikal* 106: 124.
19. Shazili, N. A. M., Che, A. R. M. and Rosnan, Y. (1990). Trace element distribution in bottom sediments in the South China Sea off Sabah. *Ekspedisi Matahari '89*. Faculty of Fisheries and Marine Science, Occasional Publication No. 9: 75-80.
20. Shamsuddin, A. A., Nor Antonina, A., Shazili, N. A. M., Kamaruzzaman, Y., Suhaimi, S., Ridzuan, M. A. and Effendy, M. A. W. (2003). Distribution of some heavy metals in sediments of the Sungai Chukai, Kemaman, Terengganu. *Prosiding ke-2 KUSTEM*: 443-452.
21. Poh, E. L. and Mun, Y. K. (1995). Determination and speciation of heavy metals in sediments of the Juru River, Penang, Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 35: 233-266.
22. Dryssen, D., Patterson, C., Ui, J. and Weichadt, G. F. (1972). Inorganic Chemicals. In: *A Guide to Marine Pollution Compiled*. By: Goldberg, E. D., Gordon and Breach, New York, London, Paris: 41-58.
23. Bernhard, M. (1981). Heavy metal and chlorinated hydro-carbons in the Mediterranean in marine environmental pollution 2. In: *Dumping and Mining*. Edited by Richard A. Geyer. 143-192.
24. Badri, M. A. (1988). Heavy metal pollution in the urban environment.: In. Sham Sani and M. Ahmad Badri (Eds.), *Environmental Monitoring and assessment Tropical Urban Application*.
25. Nor Antonina, A. (2001). Sedimentological and heavy metal studies of the Gulf of Thailand, East Coast Peninsular Malaysia, Sabah and Sarawak continental shelf sediments. *Thesis of PhD*, Universiti Pertanian Malaysia.
26. Baffi, F., Dadone, A. and Frache, R. (1983). Heavy metals in inshore water near Genoa. *Marine Pollution Bulletin*, 14: 469-471.
27. Flegal, A. R. and Patterson, C. C. (1983). Vertical concentration profiles of lead in the Central Pacific at 15 °N and 20 °S. *Earth Planet Science Letter*, 64: 19-32.
28. Boyle, E. A., Chapnick, S. D. and Shen, G. T. (1986). Temporal variability of lead in the Western North Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 91: 8573-8593.
29. Pickering, W. F. (1986). Metal ion-speciation-soil and sediments (a review). *Ore Geology Reviews*, 1:83-146.
30. Kersten, M. and Forstner, U. (1987). Effect of sample pretreatment on the reliability of solid speciation data of heavy metals. Implications for the study of early diagenetic processes. *Marine Chemistry*, 22: 299-312.
31. Tuin, B. J. W and Tels, M. (1990). Distribution of six heavy metals in contaminated clay soils before and after extractive cleaning. *Journal Technology*, II: 935-948.