

TABURAN ALKOHOL LEMAK DI DALAM SAMPEL SEDIMEN MUARA SUNGAI KAPAR, SELANGOR

(Distribution of Fatty Alcohols in Sediment Samples of Sungai Kapar Estuary)

Norfariza Humrawali, Yeoh Lee Kwan, Mohd Talib Latif, Che Abd Rahim Mohamed, Masni Mohd Ali*

Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam, Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor.

*Corresponding author: masni@ukm.my

Abstrak

Sebanyak 13 sebatian alkohol lemak (C_{12} - C_{24}) termasuk sebatian bercabang (*-iso* dan *-anteiso*) telah dikenal pasti hadir di dalam tujuh sampel sedimen permukaan dari muara Sungai Kapar, Selangor yang menunjukkan campuran kandungan alkohol lemak yang berasal daripada sumber marin, terestrial dan juga bakteria. Secara keseluruhannya, sampel yang dikaji terdiri daripada 65% alkohol lemak rantai pendek (C_{12} - C_{20}) yang berasal daripada sumber marin manakala 14% adalah alkohol lemak rantai panjang (C_{21} - C_{24}) yang berasal daripada tumbuhan terestrial dan selebihnya adalah sebatian rantai bercabang yang dihasilkan oleh bakteria. Sebatian C_{16} yang merupakan sebatian alkohol lemak utama di dalam fitoplankton marin mendominasi kesemua stesen persampelan dengan julat kepekatan 29.69 - $164.35 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering sedimen iaitu 32% daripada jumlah keseluruhan alkohol lemak. Nisbah antara alkohol lemak rantai pendek dan rantai panjang pada setiap stesen persampelan pula memberikan nilai >1 yang menunjukkan input alkohol lemak rantai pendek adalah lebih tinggi daripada alkohol lemak rantai panjang. Manakala Indeks Sumber Alkohol (ASI) yang diguna untuk menganggar input bahan organik terestrial ke dalam sedimen marin berdasarkan pengiraan nisbah alkohol lemak C_{22}/C_{14} dan C_{22}/C_{16} . Nisbah C_{22}/C_{14} menunjukkan stesen Kp1, Kp2, Kp5 dan Kp6 mempunyai nilai >1 ; iaitu kandungan C_{22} adalah lebih tinggi berbanding C_{14} tetapi nisbah C_{22}/C_{16} memberikan hasil yang sebaliknya iaitu kesemua stesen didominasi oleh C_{16} berbanding C_{22} . Maka, secara keseluruhannya kajian ini mendapati alkohol lemak rantai pendek daripada sumber marin terutamanya alkohol lemak C_{16} mendominasi kawasan muara Sungai Kapar, Selangor.

Kata kunci: alkohol lemak, bahan organik, Sungai Kapar, Selangor

Abstract

A total of 13 fatty alcohols (C_{12} - C_{24}) including branched compounds have been determined from seven surface sediment samples taken from the estuary of Sungai Kapar, Selangor which portrayed mixture sources of marine, terrestrial and bacterial activity. Generally 65% of total fatty alcohols determined were short chain compounds (C_{12} - C_{20}) derived from marine organisms, 14% were long chain compounds (C_{21} - C_{24}) input of terrestrial organisms and the rest were branched compounds from bacterial activity. C_{16} fatty alcohols originate from marine phytoplankton dominated all the sampling stations with concentrations ranged from $29.69 - 164.35 \mu\text{gg}^{-1}$ dry weight sediment and constitute 32% of total fatty alcohols. Short chain/long chain fatty alcohols ratio of each sampling stations have the value of >1 ; indicate higher input of marine-derived fatty alcohols. Meanwhile, Alcohol Source Index (ASI) is useful to estimate the degree of terrestrial organic matter input within marine sediments which calculated using C_{22}/C_{14} and C_{22}/C_{16} fatty alcohols ratios. C_{22}/C_{14} ratio showed that station Kp1, Kp2, Kp5 and Kp6 have a value >1 ; indicates C_{22} fatty alcohols are dominant compounds compared to C_{16} . But C_{22}/C_{16} ratio showed that all the sampling stations dominated by C_{16} compared to C_{22} . Overall it can be concluded that estuary of Sungai Kapar, Selangor dominated by short chain fatty alcohols especially C_{16} compounds.

Keywords: fatty alcohols, organic matter, Sungai Kapar, Selangor

Pendahuluan

Sebatian lipid seringkali berperanan sebagai penunjuk biologi dalam kajian dalam penentuan sumber bahan organik dan tahap pencemaran bagi persekitaran akuatik kerana taburannya yang meluas dan sifatnya yang spesifik. Penunjuk biologi merupakan sebatian organik yang berupaya mengekalkan struktur kimia asalnya di dalam persekitaran sedimen marin semulajadi untuk membolehkan sumbernya dikenal pasti [1] berbanding karbohidrat dan protein [2,10,13]. Di antara penunjuk biologi lipid yang seringkali diguna dalam kajian-kajian seumpamanya adalah sterol, asid lemak dan alkohol lemak.

Sebatian alkohol lemak yang juga dikenali sebagai alkanol diguna untuk menentukan input bahan organik dari terestrial dan marin kepada sedimen akuatik walaupun sebatian ini kurang diberi perhatian berbanding sterol dan asid lemak [3]. Namun, kajian yang telah dijalankan sebelum ini membuktikan alkohol lemak adalah penunjuk biologi yang berguna untuk membezakan input marin dan terestrial di persekitaran akuatik [3,4,5,6]. Amnya punca utama alkohol lemak adalah daripada zooplankton marin dan lilin ester yang terdapat pada fitoplankton serta tumbuhan terestrial [7]. Alkohol lemak boleh dibahagikan kepada tiga kategori utama iaitu alkohol lemak berantai panjang ($>C_{20}$) yang berasal daripada tumbuhan terestrial [8], alkohol lemak berantai pendek ($\leq C_{20}$) yang terkandung di dalam organisma marin dan bakteria [3] serta alkohol lemak rantai bercabang yang dihasilkan oleh bakteria [9]. Selain itu, alkohol lemak juga boleh dibahagikan kepada dua lagi kategori iaitu alkohol lemak dengan bilangan karbon ganjil yang dihasilkan oleh bakteria dan alkohol lemak dengan bilangan karbon genap yang berasal daripada organisma-organisma lain [10].

Kepekatan individu sebatian alkohol lemak yang telah dikenal pasti seterusnya boleh diaplikasi di dalam nisbah rantai pendek/rantai panjang yang berfungsi sebagai penunjuk input bahan organik terestrial atau marin ke dalam sedimen akuatik [11,12]. Adalah turut dinyatakan bahawa penggunaan nisbah penunjuk biologi memberikan anggaran sumber bahan organik yang memasuki sedimen persekitaran [10]. Nilai nisbah >1 dilapor menunjukkan kelimpahan sebatian alkohol lemak rantai pendek yang berasal daripada organisma marin adalah tinggi [3,12,13]. Nilai nisbah <1 pula menunjukkan sebatian alkohol lemak rantai panjang yang berpunca daripada tumbuhan peringkat tinggi terestrial dan keadaan ini hanya didapati pada sampel dari persekitaran air tawar [3,12]. Selain nisbah tersebut, Indeks Sumber Alkohol (ASI) juga diguna untuk menentukan input bahan organik terestrial di dalam sedimen marin yang dikira menggunakan rumus berikut [3];

$$\text{Indeks Sumber Alkohol (ASI)} = \frac{\text{kepekatan alkohol lemak terestrial}}{\text{kepekatan alkohol lemak marin}}$$

Penggunaan alkohol lemak C_{14} dan C_{16} dalam pengiraan ASI adalah kerana sebatian tersebut merupakan penunjuk biologi bagi input marin yang paling signifikan manakala input terestrial diwakili oleh alkohol lemak C_{22} [3]. Justeru ASI dikira menggunakan nisbah alkohol lemak C_{22}/C_{14} dan C_{22}/C_{16} . Maka secara teorinya nilai ASI akan meningkat dengan peningkatan jarak kawasan kajian dengan daratan.

Kajian ini bertujuan untuk mengaplikasikan penggunaan sebatian alkohol lemak sebagai penunjuk biologi lipid dan mengenalpasti sumber-sumber input yang berbeza bagi bahan organik yang terdapat di muara Sungai Kapar, Selangor dengan memfokuskan kepada potensi sebatian alkohol lemak sebagai penunjuk biologi.

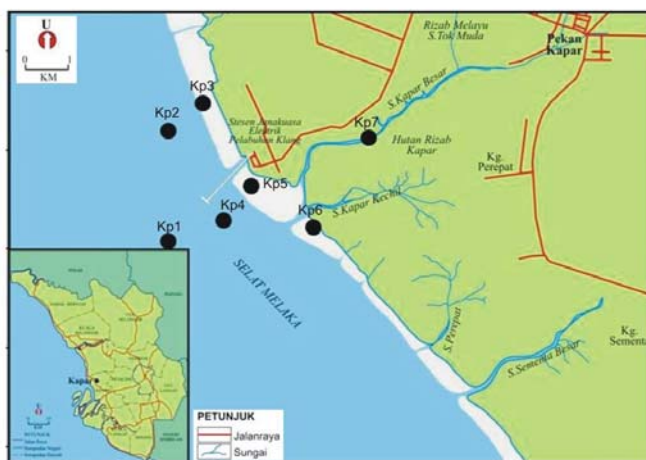
Eksperimen

Lokasi kajian dan persampelan

Persampelan telah dijalankan di sebanyak tujuh stesen persampelan di kawasan muara Sungai Kapar, Selangor (Rajah 1 dan Jadual 1). Kapar merupakan salah satu bandar yang terletak di Lembah Klang di Selangor yang menempatkan Stesen Janakuasa Sultan Salahuddin Abdul Aziz. Sungai Kapar di mana aktiviti persampelan dijalankan mengalir terus ke Selat Melaka. Sampel sedimen permukaan diambil menggunakan pencekup PONAR dan disimpan di dalam botol kaca sebelum disimpan di dalam peti beku pada suhu $< 0^{\circ}\text{C}$ sehingga analisis selanjutnya dilakukan.

Jadual 1: Koordinat stesen persampelan

Stesen	Latitud (U)	Longitud (T)	Kedalaman (m)
Kp1	3°05'55	101°18'00	10.4
Kp2	3°07'26	101°18'02	10.0
Kp3	3°07'34	101°18'31	1.8
Kp4	3°06'37	101°18'40	15.0
Kp5	3°06'40	101°18'51	5.0
Kp6	3°05'00	101°19'19	11.0
Kp7	3°07'03	101°19'49	2.8



Rajah 1: Lokasi stesen persampelan

Analisis kandungan karbon organik

Kandungan karbon organik (TOC) di dalam sampel sedimen permukaan dianalisis dengan menggunakan teknik pembakaran dan pengiraan [14]. Sejumlah sampel sedimen dikeringkan di dalam oven selama 3-4 hari iaitu sehingga berat kering tetap diperoleh, pada suhu 60°C dan kemudiannya ditumbuk halus. Seterusnya sampel diayak dengan menggunakan pengayak bersaiz 125 µm dan sampel bersaiz kurang daripadanya dikeringkan semula pada suhu 105°C untuk semalaman sebelum dibakar menggunakan relau pada suhu 500°C selama empat jam. Kedua-dua berat sedimen yang dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C (DW_{105}) dan relau (DW_{500}) dicatat.

$$\% \text{ TOC} = \frac{DW_{105} \text{ (g)} - DW_{500} \text{ (g)}}{DW_{105} \text{ (g)}} \times 100$$

Analisis alkohol lemak

Kaedah pengekstrakan untuk analisis alkohol lemak melibatkan tiga fasa utama iaitu refluks, pemisahan cecair-cecair dan penerbitan [3,15]. Lebih kurang 30-40 g berat basah sedimen dihidrolisis dengan menggunakan 50 ml 6% kalium hidroksida dalam metanol selama 4 jam dan kemudiannya diempar pada 4000 r.p.m selama tiga minit. Supernatan yang diperoleh dimasukkan ke dalam corong pemisah.

Lipid tidak berkutub diekstrak daripada sampel dengan menambahkan 20 ml heksana dan 10 ml air suling nyah-ion ke dalam sampel dan digoncang kuat sehingga dua lapisan terbentuk. Prosedur ini diulangi untuk memaksimumkan pengekstrakan. Sampel seterusnya disejat dengan menggunakan penyejat berputar pada suhu 40°C dan dilarutkan semula dalam 2-3 ml heksana sebelum dipindahkan ke dalam vial. Natrium sulfat kontang ditambah ke dalam sampel untuk menyingkirkan molekul air dan sebatian berkutub yang masih hadir di dalam sampel. Larutan sampel seterusnya dituras dengan menggunakan kertas turas dan dikering dengan menggunakan gas nitrogen.

Sebanyak 2-3 titik bis(trimetilsilil)trifloroacetamida (BSTFA) ditambahkan ke dalam sampel sebelum dipanaskan di dalam blok pemanas pada suhu 60°C selama 10 minit. Sampel dikering dengan menggunakan gas nitrogen sekali lagi dan dilarutkan semula dengan 1 ml heksana. Sampel disimpan pada suhu -20°C sehingga dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas-spektrometri jisim (GC-MS).

Kromatografi gas - spektrometri jisim (GC-MS) (Perkin Elmer Clarus 500) digunakan untuk menganalisis sebatian alkohol lemak yang terdapat di dalam sampel. Suhu program bermula pada 80°C dan meningkat 15°C min⁻¹ sehingga mencapai suhu 300°C yang kemudiannya meningkat 5°C min⁻¹ kepada suhu maksimum 350°C selama 10 minit. Larutan oktadekanol pada pelbagai kepekatan digunakan sebagai larutan piawai. Setiap sampel disuntik untuk dianalisis sekali sahaja iaitu sebanyak 1 µL.

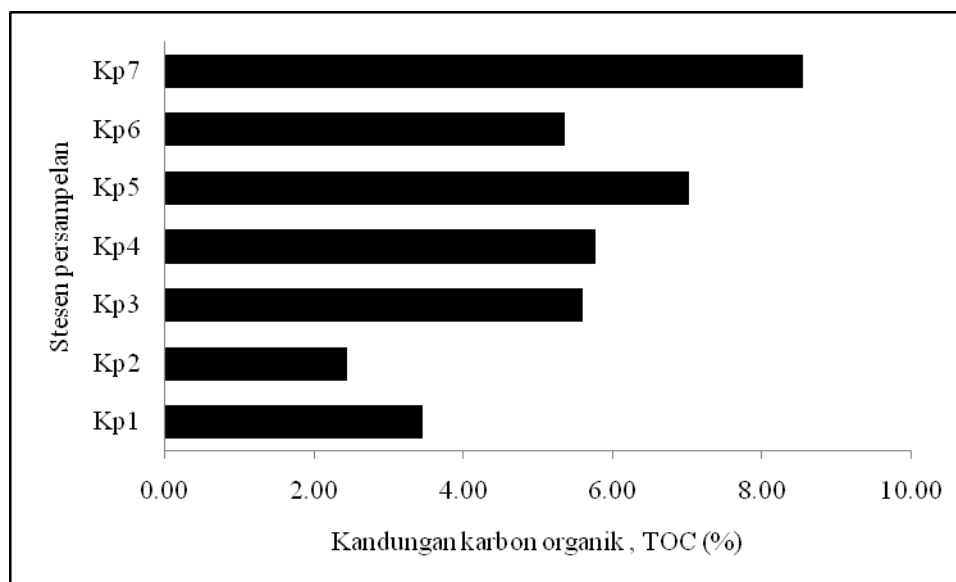
Pengawalan kualiti

Kaedah dan teknik piawai telah dilaksanakan semasa kajian dijalankan. Bagi menentukan tahap efisien prosedur analisis sterol, sampel sedimen dipilih secara rawak dan prosedur pengekstrakan dilakukan sebanyak tiga kali untuk memaksimumkan hasil analisis. Hasilnya memberikan nilai purata dan sisihan piawai bagi alkohol lemak C₁₆ yang diperoleh adalah 164.35±4.93 ng g⁻¹ berat kering sedimen. Ini memberikan nilai efisien prosedur pengekstrakan adalah melebihi 90%. Alkohol lemak C₁₆ dipilih kerana sebatian ini merupakan sebatian dominan dalam kajian ini. Selain itu, kalibrasi menggunakan larutan piawai oktadekanol semasa analisis sampel menggunakan GC-MS juga dilakukan manakala jarum suntikan GC-MS dibersihkan dengan menggunakan diklorometana dalam metanol selepas setiap sampel dianalisis. Kesemua radas kaca yang digunakan sepanjang analisis alkohol lemak, dicuci dengan menggunakan Decon-90 dan dibilas dengan pelarut organik, heksana.

Hasil dan Perbincangan

Kandungan karbon organik (TOC)

Peratusan TOC bagi setiap stesen persampelan ditunjukkan dalam Rajah 2 dengan nilai purata 5.46%. Secara keseluruhannya peratusan TOC yang terkandung di dalam sampel sedimen dalam kajian ini adalah rendah. Sampel sedimen dari stesen Kp7 mengandungi TOC tertinggi iaitu sebanyak 8.54% berbanding stesen persampelan yang lain manakala stesen Kp2 mempunyai nilai yang terendah iaitu 2.45%. Punca utama karbon organik di stesen Kp7 adalah daripada sumber terestrial, ini kerana stesen tersebut terletak berhampiran dengan Hutan Rizab Kapar (Rajah 1). Karbon organik terestrial boleh dibawa masuk ke persekitaran akuatik melalui pergerakan air sungai dan pergerakan di atmosfera [16]. Stesen persampelan yang lain memberikan nilai peratusan TOC pada julat 2.45% sehingga 7.02%. Stesen Kp2 yang terletak agak jauh dari daratan merupakan faktor kandungan TOC stesen persampelan ini rendah dan berlaku tindakan pencairan apabila berlakunya kemasukan air laut ke kawasan tersebut.



Rajah 2: Peratusan kandungan karbon organik (TOC) bagi stesen persampelan di Sungai Kapar, Selangor

Kandungan karbon organik (TOC) yang ditentukan adalah berperanan sebagai data sokongan untuk mentafsir kandungan bahan organik yang terkandung di dalam sampel sedimen permukaan daripada kawasan muara Sungai Kapar, Selangor. TOC terdiri daripada karbon organik terlarut (DOC) dan karbon organik partikulat (POC) yang berperanan dalam menentukan tahap kualiti persekitaran akuatik dan sebagai penunjuk pencemaran organik [17]. DOC berupaya meningkatkan tahap keterlarutan bahan pencemar organik manakala POC bertindak sebagai pembawa bahan organik di persekitaran akuatik [18]. Namun, dalam kajian ini kandungan DOC dan POC diukur bersama dalam bentuk TOC. Secara keseluruhannya penentuan kandungan TOC di dalam sampel sedimen adalah penting untuk menentukan pencemaran bahan organik di persekitaran.

Taburan alkohol lemak

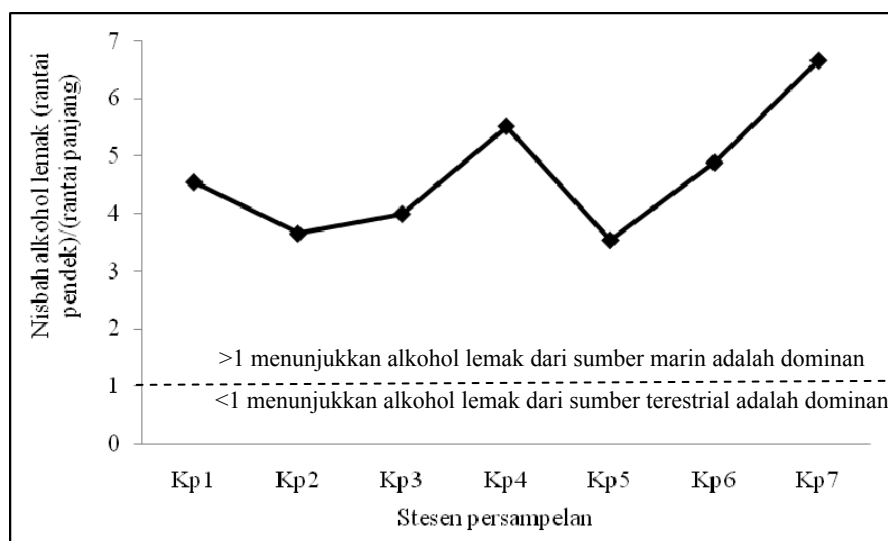
Hasil daripada kajian taburan alkohol lemak di dalam sampel sedimen permukaan muara Sungai Kapar, Selangor memberikan sebanyak 13 sebatian alkohol lemak (C_{12} - C_{24}) termasuk sebatian bercabang (*iso* dan *anteiso*) telah dikenal pasti. Kepekatan sebatian alkohol lemak bagi setiap stesen persampelan disenaraikan dalam Jadual 2 yang menunjukkan sebanyak 65% daripada jumlah alkohol lemak yang dikenal pasti terdiri daripada alkohol lemak rantai pendek (C_{12} - C_{20}), 14% lagi adalah alkohol lemak rantai panjang (C_{21} - C_{24}) dan selebihnya adalah alkohol lemak rantai bercabang. Didapati sebatian C_{16} mendominasi kesemua stesen persampelan dan merupakan sebatian utama yang hadir dengan kepekatan minimum $29.69 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering dan kepekatan maksimum $164.35 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering iaitu menyumbang 32% daripada jumlah alkohol lemak yang hadir. Sebatian alkohol lemak rantai bercabang yang dikenalpasti hadir pada kepekatan yang tinggi di dalam sampel sedimen adalah sebatian bercabang alkohol lemak C_{15} dan C_{17} masing-masing dengan purata kepekatan 7.71 dan $3.41 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering.

Jadual 2: Kepekatan alkohol lemak (μgg^{-1} berat kering) bagi setiap stesen persampelan

Alkohol lemak	Stesen persampelan						
	Kp1	Kp2	Kp3	Kp4	Kp5	Kp6	Kp7
C_{12}	0.34	2.42	0.82	1.79	6.02	3.59	8.08
iC_{13}	0	0	0	0	2.80	3.38	0
aC_{13}	4.21	4.53	5.44	10.56	16.91	24.70	13.07
C_{13}	2.88	3.21	4.49	3.63	4.55	7.36	9.98
bC_{14}	0.38	0.45	1.52	0.77	32.78	10.78	1.12
C_{14}	3.69	2.85	13.48	6.27	35.05	22.00	24.46
iC_{15}	5.49	4.46	12.33	5.13	21.81	23.68	14.99
aC_{15}	1.13	1.06	2.97	1.18	4.59	6.29	2.82
C_{15}	2.23	3.5	7.65	4.69	15.4	11.68	12.72
C_{16}	32.93	30.14	58.88	29.69	126.13	133.07	164.35
iC_{17}	3.29	1.02	4.89	1.84	10.52	9.03	6.07
aC_{17}	1.01	0.74	1.57	1.68	2.68	1.14	2.28
C_{17}	1.05	0.49	1.95	2.88	16.68	4.42	5.70
C_{18}	21.71	14.56	18.54	12.69	58.41	64.90	92.07
C_{19}	0.69	0.79	0.85	5.54	10.46	4.06	9.46
bC_{20}	1.61	0.76	1.68	11.07	10.14	7.56	7.20
C_{20}	1.41	0.99	3.58	1.70	11.74	6.47	2.86
C_{21}	5.05	1.75	5.23	4.95	11.74	17.11	24.61
C_{22}	5.52	3.10	5.68	5.63	61.65	29.15	11.54
bC_{23}	1.84	0.97	7.27	0.74	30.61	14.45	3.63
C_{23}	3.74	0.61	3.14	1.31	5.42	4.09	8.51
C_{24}	0.43	10.70	13.58	0.61	1.66	2.44	4.94

i-iso; a-anteiso; b-rantai bercabang

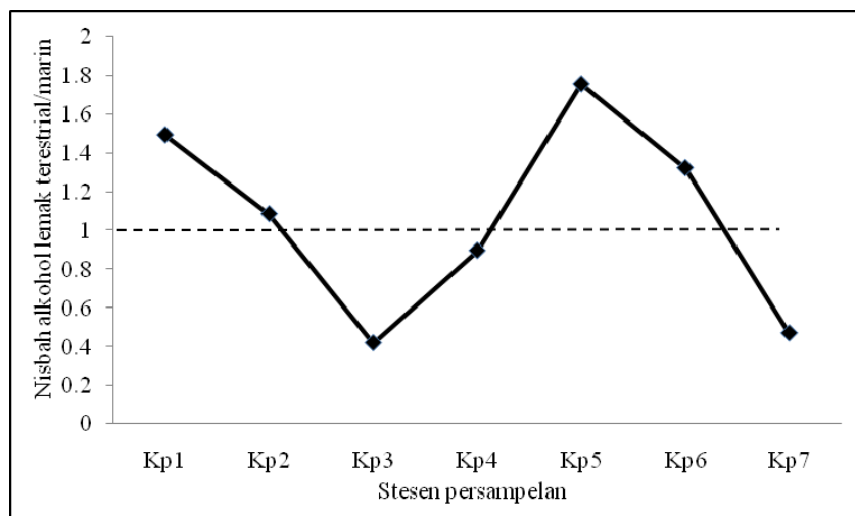
Selain penilaian secara langsung melalui kepekatan sebatian alkohol lemak yang hadir di kawasan kajian, penggunaan nisbah-nisbah tertentu juga adalah perlu untuk mengesahkan sumber dominan sebatian alkohol lemak di kawasan terlibat. Nisbah alkohol lemak rantai pendek/rantai panjang [$\Sigma(C_{12}-C_{20})/\Sigma(C_{21}-C_{24})$] yang dikira dalam kajian ini memberikan nilai >1 bagi kesemua stesen persampelan (Rajah 3). Ini adalah kerana dipengaruhi kedudukan lokasi kajian di kawasan muara yang lebih menerima input daripada sumber marin dan tambahan pula semasa aktiviti persampelan dijalankan keadaan air adalah pasang. Tetapi di antara kesemua stesen persampelan, stesen Kp7 memberikan nilai nisbah tertinggi walaupun terletak di kawasan sungai. Keadaan air yang pasang turut membawa bersamanya sebatian-sebatian daripada persekitaran marin termasuk alkohol lemak ke kawasan sungai dan termendak ke lapisan sedimen dalam tempoh yang singkat kerana kedalamannya yang cetek.



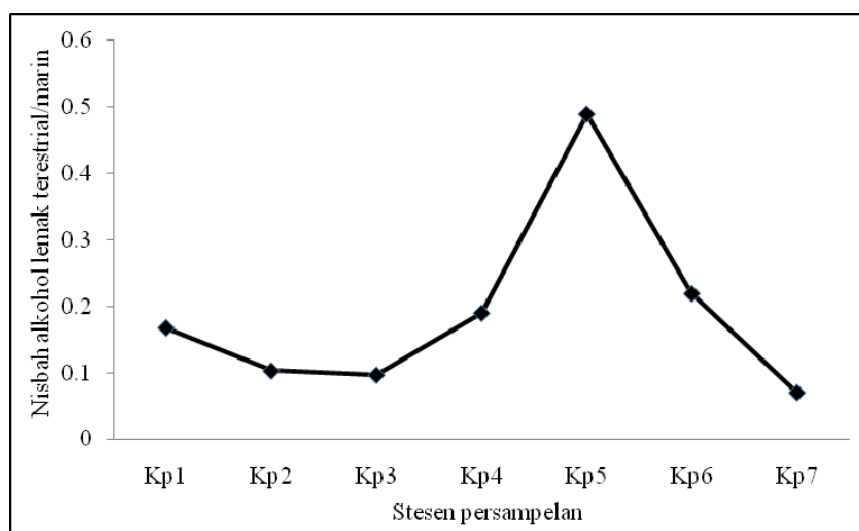
Rajah 3: Rajah menunjukkan nilai nisbah alkohol lemak rantai pendek/rantai panjang bagi stesen persampelan di Sungai Kapar, Selangor

Selain nisbah tersebut, ASI yang dikira menggunakan nisbah alkohol lemak C_{22}/C_{14} dan C_{22}/C_{16} dan nilai >1 menunjukkan sebatian daripada sumber terestrial mendominasi kawasan tersebut. ASI C_{22}/C_{14} menunjukkan beberapa stesen persampelan lebih didominasi oleh alkohol lemak C_{22} berbanding C_{14} , iaitu stesen Kp1, Kp2, Kp5 dan Kp6 (Rajah 4) tetapi pada nilai yang amat rendah yang tidak memberikan perbezaan ketara antara input alkohol lemak sumber marin dan terestrial. Namun, ASI C_{22}/C_{16} memberikan nilai <1 bagi kesemua stesen persampelan (Rajah 5) yang menjelaskan kandungan sebatian C_{16} yang lebih banyak di lokasi kajian berbanding C_{22} . Secara keseluruhannya, kedua-dua nilai ASI yang diperoleh adalah selaras dengan nisbah alkohol lemak rantai pendek/rantai panjang yang menunjukkan kandungan alkohol lemak rantai pendek mendominasi lokasi kajian.

Kandungan alkohol lemak rantai pendek ($<C_{20}$) yang berasal dari sumber marin terutamanya fitoplankton, zooplankton dan bakteria [12] yang mendominasi lokasi kajian adalah sejajar dengan kedudukannya di kawasan muara dan sedang mengalami fenomena air pasang. Manakala alkohol lemak rantai panjang ($>C_{21}$) pula dihasilkan oleh sumber terestrial terutamanya tumbuhan vaskular [3,12] tetapi sianobakteria dan beberapa eustigmatofit air tawar turut menyumbangkan alkohol lemak rantai panjang ke persekitaran tetapi dalam kuantiti yang lebih rendah berbanding tumbuhan terestrial [19]. Sebatian alkohol lemak yang mempunyai bilangan karbon ganjil pula adalah terhasil daripada metabolisme bakteria dan merupakan sebatian rantai bercabang [10].



Rajah 4: Nilai ASI bagi stesen-stesen persampelan di Sungai Kapar, Selangor menggunakan nisbah C_{22}/C_{14}



Rajah 5: Nilai ASI bagi stesen-stesen persampelan di Sungai Kapar, Selangor menggunakan nisbah C_{22}/C_{16}

Kesimpulan

Hasil analisis kandungan alkohol lemak di dalam sampel sedimen permukaan muara Sungai Kapar, Selangor menunjukkan campuran alkohol lemak daripada pelbagai sumber merangkumi terestrial, marin dan bakteria. Namun, sebatian alkohol lemak rantai pendek input daripada sumber marin, terutamanya sebatian C_{16} mendominasi lokasi kajian yang terdiri 65% daripada jumlah keseluruhan alkohol lemak. Ini adalah berdasarkan kepekatan individu setiap sebatian serta nisbah alkohol lemak rantai pendek/rantai panjang dan ASI yang dikira. Di antara faktor yang mempengaruhi kandungan alkohol lemak rantai pendek yang tinggi adalah lokasi kajian yang terletak di kawasan muara sungai dan fenomena air pasang semasa aktiviti persampelan dilakukan.

Penghargaan

Kajian ini telah dibiayai oleh Geran Sciencefund 04-01-02-SF0193 Kementerian Sains Teknologi dan Inovasi Malaysia.

Rujukan

1. Leeming, R., Ball, A., Ashbolt, N. & Nichols, P. 1996. Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters. *Water Research*. 30 : 2893-2900.
2. Hyun, J.H., Ju, S.J. & Harvey, H.R. 2002. Fecal contamination associated with local reclamation activity in the Han River Estuary. *Journal of the Korean Society of Oceanography*. 37 : 1-8.
3. Mudge, S.M. & Norris, C.E. 1997. Lipid biomarkers in the Conwy Estuary (North Wales, U.K.) : a comparison between fatty alcohols and sterols. *Marine Chemistry*. 57 : 61-84.
4. Grimalt, J.O. & Albaigés, J. 1990. Characterization of the depositional environments of the Ebro Delta (western Mediterranean) by the study of sedimentary lipid markers. *Marine Geology*. 95 : 207-224.
5. Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Velthkamp, D.J. & Cretney, W.J. 1995. Terrestrial and marine biomarkers in a seasonally ice-covered Arctic estuary – integration of multivariate and biomarker approaches. *Marine Chemistry*. 49 : 1-50
6. Jeng, W.L., Lin, S. & Kao, S.J. 2003. Distribution of terrigenous lipids in marine sediments off northeastern Taiwan. *Deep-Sea Research II*. 50 : 1179-1201.
7. Parameswaran P.S., Das B., Kamat S.Y. 1994. Lipid contents of the sponge *Haliconia sp.* *Indian Journal of Chemistry*. 33: 99-101.
8. Brassell S.C., Comet P.A., Eglinton G., Isaacson P.J., McEvoy J., Maxwell J.R., Thompson I.D., Tibbetts P.J.C. & Volkman J.K. 1980. The origin and fate of lipids in the Japan Trench. *Advanced in Organic Geochemistry* 1979. Pergamon, Oxford.
9. Parkes R.J. 1987. Analysis of microbial communities within sediments using biomarkers. *Ecology of Microbial Communities*. Cambridge University Press, London. 440.
10. Mudge, S.M. & Duce, C.E. 2005. Identifying the source, transport path and sinks of sewage derived organic matter. *Environmental Pollution*. 136 : 209-220.
11. Mudge, S.M. & Seguel, C.G. 1999. Organic contamination of San Vicente Bay Chile. *Marine Pollution Bulletin*. 38 : 1011-1021.
12. Treignier, C., Derenner, S. & Saliot, A. 2006. Terrestrial and marine *n*-alcohol inputs and degradation processes relating to a sudden turbidity current in the Zaire canyon. *Organic Geochemistry*. 37 : 1170-1184.
13. Seguel, C.G., Mudge, S.M., Salgado, C. & Toledo, M. 2001. Tracing sewage in the marine environment : Altered signatures in Concepción Bay, Chile. *Water Research*. 17 : 4166-4174.
14. Heiri, O., Lotter, A. F. & Lemcke, G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*. 25 : 101-110.
15. Masni, M. A. & Mudge, S. M . 2006. Cluster analysis in lipid biomarker studies: A case of Clyde Sea. *Sains Malaysiana*. 35(2): 41-47.
16. Seki, O., Yoshikawa, C., Nakatsuka, T., Kawamura, K. & Wakatsuchi, M. 2006. Fluxes, source and transport of organic matter in the western sea of Okhotsk: stable carbon isotopic ratios of *n*-alkanes and total organic carbon. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 153 : 253-270.
17. Ni, H.-G., Lu, F.H., Luo, X.-L., Tian, H.-Y. & Zeng, E. Y. 2008. Riverine inputs of total organic carbon and suspended particulate matter from the Pearl River Delta to the coastal ocean off South China. *Marine Pollution Bulletin*. 56 : 1150-1157.
18. Wu, Y., Zhang, J., Liu, S. M., Zhang, Z. F., Yao, Q. Z., Hong, G. H. & Cooper, L. 2007. Sources and distribution of carbon within the Yangtze River System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 71 :13-25.
19. Volkman, J.K., Barrett, S.M., Blackburn, S.I., Mansour, M.P., Sikes, E.L. & Gelin, F. 1998. Microalgal biomarkers: A review of recent research developments. *Organic Geochemistry*. 29 : 1163-1998.