

Kandungan dan Sumber Alkohol Lemak di dalam Sedimen Muara di Sungai Kapar, Selangor

(Composition and Sources of Fatty Alcohols in Estuarine
Sediments of Sungai Kapar, Selangor)

NORFARIZA HUMRAWALI, YEOH LEE KWAN, MOHD TALIB LATIF,
MOHAMAD PAUZI ZAKARIA & MASNI MOHD ALI*

ABSTRAK

Kandungan sebatian alkohol lemak di dalam tujuh sampel sedimen permukaan dari muara Sungai Kapar, Selangor telah dikenal pasti menggunakan gas kromatografi-spektrometri jisim (GC-MS) dan hasilnya menunjukkan wujudnya 13 sebatian alkohol lemak (C_{12} - C_{24}) termasuk enam sebatian bercabang (-iso dan -anteiso) hadir. Secara keseluruhannya, sampel yang dikaji terdiri daripada 65% alkohol lemak rantai pendek (C_{12} - C_{20}) yang dihasilkan oleh organisma marin manakala 14% adalah alkohol lemak rantai panjang (C_{21} - C_{24}) yang berpunca daripada tumbuhan terestrial dan selebihnya merupakan sebatian bercabang yang dihasilkan oleh proses metabolisme bakteria. Sebatian C_{16} mendominasi kesemua stesen pensampelan dengan julat kepekatan 29.69-164.35 μgg^{-1} berat kering iaitu 32% daripada jumlah keseluruhan alkohol lemak. Nisbah antara alkohol lemak rantai pendek dan rantai panjang [$\Sigma(C_{12}$ - $C_{20})/\Sigma(C_{21}$ - $C_{24})$] bagi setiap stesen pensampelan memberikan nilai >1 , menunjukkan kandungan alkohol lemak rantai pendek sumber marin adalah lebih tinggi daripada kandungan alkohol lemak rantai panjang. Indeks Sumber Alkohol (ASI) pula diguna untuk menganggar kesan input alkohol lemak terestrial ke dalam sedimen marin berdasarkan nisbah alkohol lemak C_{22}/C_{14} menunjukkan stesen Kp1, Kp2, Kp5 dan Kp6 mempunyai nilai >1 ; iaitu kandungan C_{22} adalah lebih tinggi berbanding C_{14} . Walau bagaimanapun, nisbah C_{22}/C_{16} memberikan hasil yang sebaliknya dengan kesemua stesen didominasi oleh C_{16} berbanding C_{22} . Kajian ini menunjukkan alkohol lemak (C_{12} - C_{20}) terutamanya sebatian C_{16} mendominasi kawasan muara Sungai Kapar, Selangor berbanding alkohol lemak rantai panjang (C_{21} - C_{24}).

Kata kunci: alkohol lemak; Sungai Kapar

ABSTRACT

A total of 13 fatty alcohols (C_{12} - C_{24}) including six branched compounds have been identified in seven surface sediment samples taken from Sungai Kapar, Selangor using computerized gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Generally 65% of total fatty alcohols determined were short chain compounds (C_{12} - C_{20}) derived from marine organisms, 14% were long chained compounds (C_{21} - C_{24}) input of terrestrial plants and the rest were branched compounds from bacterial activity. C_{16} compound dominated all the sampling stations with concentrations ranged from 29.69 to 164.35 μgg^{-1} dry weight which constitute 32% of total fatty alcohols. Short chain/long chain fatty alcohols ratio [$\Sigma(C_{12}$ - $C_{20})/\Sigma(C_{21}$ - $C_{24})$] of each sampling stations had the value >1 ; indicating high content of short chain compounds from marine sources. Meanwhile, Alcohol Source Index (ASI) calculated using C_{22}/C_{14} and C_{22}/C_{16} ratios. C_{22}/C_{14} ratio showed that stations Kp1, Kp2, Kp5 and Kp6 had a value >1 indicating the amount of C_{22} was higher than C_{14} . Ratio of C_{22}/C_{16} showed that all the sampling stations dominated by C_{16} compared to C_{22} . The estuary of Sungai Kapar, Selangor was dominated by short chain fatty alcohols (C_{12} - C_{20}) especially C_{16} compound rather than long chain fatty alcohol (C_{21} - C_{24}).

Keywords: fatty alcohol; Sungai Kapar

PENDAHULUAN

Peranan sebatian lipid sebagai penunjuk biologi dalam kajian penentuan sumber bahan organik dan status persekitaran akuatik termasuk tahap pencemaran semakin diberi perhatian berikutan taburannya yang meluas dan sifatnya yang spesifik bagi sumber-sumber tertentu. Penunjuk biologi merupakan sebatian organik yang berupaya mengekalkan struktur kimianya di persekitaran semulajadi untuk membolehkan sumbernya dikenal pasti

(Carreira et al. 2004). Penunjuk biologi lipid pula merujuk kepada penggunaan sebatian lipid seperti sterol, asid lemak dan alkohol lemak untuk menentukan kandungan bahan organik di persekitaran kerana keupayaan sebatiannya mengekalkan struktur kimia asal di dalam sedimen berbanding sebatian karbohidrat dan protein.

Antara penunjuk biologi lipid yang telah dinyatakan, kajian ini hanya memberikan tumpuan terhadap peranan sebatian alkohol lemak dalam menentukan kandungan

bahan organik di persekitaran akuatik. Umumnya, sebatian alkohol lemak seringkali digunakan dalam sektor penghasilan bahan pencuci dan kosmetik. Namun, sebatian ini yang juga dikenali sebagai *n*-alkanol turut diguna untuk membezakan input bahan organik dari terestrial dan marin ke dalam sedimen akuatik tetapi masih kurang diberi perhatian berbanding sterol dan asid lemak (Mudge dan Norris 1997; Seguel et al. 2001). Namun, pelbagai kajian seperti yang telah dijalankan oleh Mudge dan Duce (2005), Mudge dan Norris (1997), Pearson et al. (2007), Seguel et al. (2001) dan Treignier et al. (2006), membuktikan sebatian alkohol lemak adalah penunjuk biologi lipid yang berguna untuk membezakan input marin dan terestrial bagi sistem akuatik. Menurut Parameswaran et al. (1994), amnya punca utama alkohol lemak adalah daripada zooplankton marin dan lilin ester yang terdapat pada fitoplankton serta tumbuhan terestrial.

Alkohol lemak boleh dikategorikan kepada tiga kumpulan utama iaitu alkohol lemak rantai panjang ($>C_{20}$), alkohol lemak rantai pendek ($\leq C_{20}$) dan alkohol lemak rantai bercabang (*-iso* dan *-anteiso*). Sebatian alkohol lemak $>C_{20}$ dilaporkan diperolehi daripada tumbuhan terestrial (Treignier et al. 2006). Namun begitu, taburannya adalah pelbagai bergantung kepada spesies tumbuhan dan bahagian tertentu pada suatu tumbuhan tersebut (Mudge & Norris 1997). Tetapi kajian oleh Volkman et al. (1998) menunjukkan mikroalga dan eustigmatofit air tawar juga menyumbang kandungan sebatian alkohol lemak rantai panjang ke persekitaran akuatik tetapi pada jumlah yang rendah berbanding tumbuhan terestrial. Sebatian alkohol lemak

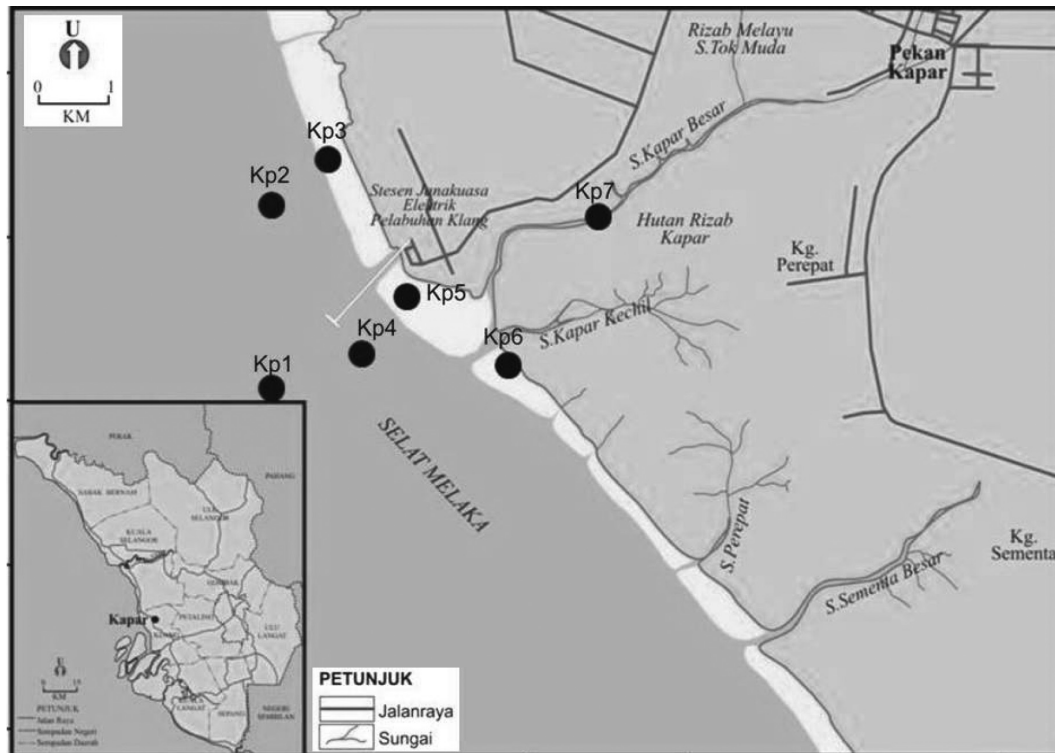
rantai pendek pula merupakan penunjuk bagi sumber marin yang terkandung di dalam organisma marin seperti fitoplankton, zooplankton dan bakteria (Mudge & Norris 1997; Treignier et al. 2006) yang menerima input secara langsung daripada organisma tersebut atau hasil daripada proses pemakanannya (Grimalt & Albaigés 1990). Manakala sebatian alkohol lemak rantai bercabang dihasilkan oleh proses metabolisme bakteria (Mudge & Duce 2005) dan menurut Mudge dan Norris (1997), kandungan sebatian bercabang adalah tinggi di kawasan yang menerima input sisa kumbahan kerana kehadiran koloni bakteria yang banyak.

Objektif kajian ini adalah untuk mengenalpasti sumber yang pelbagai bagi bahan organik yang terdapat di muara Sungai Kapar, Selangor dengan mengaplikasikan sebatian alkohol lemak sebagai penunjuk biologi lipid.

BAHAN DAN KAEDAH

LOKASI KAJIAN DAN PENSAMPELAN

Pensampelan telah dijalankan di sebanyak tujuh stesen pensampelan 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 pensampelan dijalankan mengalir terus ke Selat Melaka. Sampel sedimen permukaan diambil dengan menggunakan pencekup PONAR dan dimasukkan ke dalam botol kaca sebelum disimpan pada suhu 4°C sehingga analisis selanjutnya dilakukan.



RAJAH 1. Lokasi dan stesen pensampelan

JADUAL 1. Koordinat dan deskripsi stesen pensampelan

Stesen	Latitud (U)	Longitud (T)	Kedalaman (m)	Perihal stesen pensampelan
Kp1	3°05'55	101°18'00	10.4	Terletak 2 km dari jeti dan merupakan laluan kapal di Selat Melaka.
Kp2	3°07'26	101°18'02	10.0	Terletak berhampiran dengan kawasan penternakan kerang, iaitu di bahagian utara stesen ini.
Kp3	3°07'34	101°18'31	1.8	Menerima kemasukan air panas hasil daripada proses penyejukan serombong stesen janakuasa.
Kp4	3°06'37	101°18'40	15.0	Terletak di jeti perlabuhan bagi kapal yang membawa arang untuk stesen janakuasa.
Kp5	3°06'40	101°18'51	5.0	Menerima kemasukan air panas hasil daripada proses penyejukan serombong stesen janakuasa.
Kp6	3°05'00	101°19'19	11.0	Kawasan muara Sungai Kapar Besar.
Kp7	3°07'03	101°19'49	2.8	Terletak berhampiran Hutan Rizab Kapar.

ANALISIS KANDUNGAN KARBON ORGANIK (TOC)

Kandungan karbon organik (TOC) di dalam sampel sedimen permukaan dianalisis dengan menggunakan teknik pembakaran dan pengiraan yang dirujuk daripada Heiri et al. (2001). 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 dipanaskan dalam relau pada suhu 500°C selama empat jam. Kedua-dua berat sedimen yang dikeringkan di dalam relau 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 diadaptasi daripada prosedur yang digunakan oleh Mudge dan Norris (1997) dan Masni dan Mudge (2006). 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)

Kandungan karbon organik (TOC) dianalisis bertujuan untuk menyediakan data sokongan bagi mentafsir kandungan bahan organik yang terkandung di dalam sampel sedimen permukaan daripada kawasan muara Sungai Kapar, Selangor. TOC terdiri daripada dua komponen karbon iaitu karbon organik terlarut (DOC) dan karbon organik partikulat (POC) yang berperanan untuk menentukan tahap kualiti sistem akuatik dan juga berfungsi sebagai penunjuk pencemaran organik (Ni et al. 2008; Smith & Hollibaugh 2008). Kandungan karbon organik di dalam sedimen yang baru terbentuk adalah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti produktiviti biologi setempat, keadaan semulajadi sedimen, kadar sedimentasi, persekitaran sedimen dan proses diagenesis (Duan 2000). Pagani et al. (1999) pula menyatakan karbon organik hadir secara semulajadi di persekitaran akuatik hasil daripada kadar pertumbuhan fitoplankton yang tinggi dan produktiviti diatom yang banyak.

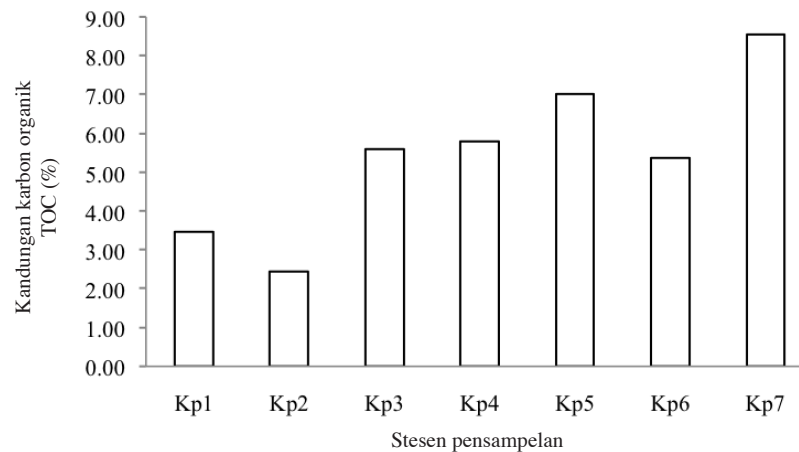
Kandungan TOC bagi setiap stesen pensampelan adalah dalam julat peratusan 2.45-8.54% berat kering sedimen dan nilai purata 5.46% bagi setiap stesen pensampelan (Rajah 2). Stesen Kp7 memberikan kandungan TOC tertinggi manakala kandungan TOC adalah terendah di stesen Kp2 berbanding stesen pensampelan lain. Stesen Kp7 menerima input karbon organik utamanya daripada sumber terestrial memandangkan kedudukan stesen pensampelan tersebut yang terletak berhampiran dengan Hutan Rizab Kapar (Rajah 1). Selain itu, faktor kedalaman stesen Kp7 yang agak rendah iaitu 2.8 m membolehkan bahan organik termendak ke dasar dalam tempoh yang singkat berbanding stesen pensampelan lain dalam kajian ini yang mempunyai kedalaman melebihi 10 m. Menurut Seki et al. (2006), karbon organik dari terestrial boleh dibawa masuk ke

persekitaran akuatik melalui dua cara iaitu pergerakan air sungai dan pergerakan di atmosfera. Kandungan TOC yang rendah pada stesen Kp2 pula dipengaruhi oleh kedudukannya yang agak jauh dari daratan untuk menerima input organik karbon terestrial yang banyak. Selain itu, pencairan air berlaku apabila air laut memasuki kawasan tersebut kesan daripada aktiviti pasang surut air dan seterusnya melarutkan bahan organik serta membawanya ke kawasan lain.

TABURAN ALKOHOL LEMAK

Hasil daripada kajian sebatian alkohol lemak di dalam sedimen muara Sungai Kapar, Selangor menunjukkan terdapatnya campuran sebatian alkohol lemak sumber dari marin, terestrial dan hasil proses metabolisme oleh bakteria. Hasil yang diperoleh ini telah dijangka memandangkan kajian dijalankan di kawasan muara sungai yang mempunyai cirinya yang tersendiri. Kawasan muara yang juga dikenali sebagai estuari merupakan suatu kawasan yang kompleks kerana melibatkan campuran antara air tawar dari sungai dan air laut kesan daripada proses semulajadi pasang surut yang secara tidak langsung merupakan kawasan percampuran antara bahan organik daripada pelbagai sumber (Shi et al. 2001). Mannino dan Harvey (1999) turut menyatakan bahan organik yang hadir di kawasan muara adalah berpunca daripada penghasilan primer oleh organisma, sumber terestrial yang dibawa bersama pergerakan air sungai, sumber antropogenik dan bahan organik dari lautan yang dibawa bersama semasa proses air pasang. Ini menjadikan kawasan muara membentuk suatu kawasan kajian yang agak unik kerana sumber sebatian alkohol lemak yang pelbagai boleh dikaji.

Secara ringkasnya, sebanyak 13 sebatian alkohol lemak C_{12} - C_{24} termasuk sebatian bercabang (*-iso* dan *-anteiso*) telah dikenalpasti hadir berdasarkan penentuan puncak GC-MS yang telah dijalankan, dengan julat kepekatan $0.34 - 164.35 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering sedimen (Jadual 2). Kawasan kajian didominasi oleh sebatian C_{12} - C_{20} iaitu sebanyak 65% daripada jumlah sebatian alkohol



RAJAH 2. Peratusan kandungan karbon organik (TOC) bagi stesen pensampelan di Sungai Kapar, Selangor

JADUAL 2. Kepekatan sebatian alkohol lemak (μgg^{-1} berat kering) bagi setiap stesen pensampelan

	C_{12}	C_{13}	C_{13}	C_{13}	C_{13}	C_{14}	C_{14}	C_{14}	C_{15}	C_{15}	C_{15}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{17}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
Kp1	0.34	-	4.21	2.88	0.38	3.69	5.49	1.13	2.23	32.93	3.29	1.01	1.05	21.71	0.69	1.61	1.41	5.05	5.52	1.84	3.74	0.43		
Kp2	2.42	-	4.53	3.21	0.45	2.85	4.46	1.06	3.50	30.14	1.02	0.74	0.49	14.56	0.79	0.76	0.99	1.75	3.10	0.97	0.61	10.70		
Kp3	0.82	-	5.44	4.49	1.52	13.48	12.33	2.97	7.65	58.88	4.89	1.57	1.95	18.54	0.85	1.68	3.58	5.23	5.68	7.27	3.14	13.58		
Kp4	1.79	-	10.56	3.63	0.77	6.27	5.13	1.18	4.69	29.69	1.84	1.68	2.88	12.69	5.54	11.07	1.70	4.95	5.63	0.74	1.31	0.61		
Kp5	6.02	2.80	16.91	4.55	32.78	35.05	21.81	4.59	15.4	126.13	10.52	2.68	16.68	58.41	10.46	10.14	11.74	11.74	61.65	30.61	5.42	1.66		
Kp6	3.59	3.38	24.70	7.36	10.78	22.00	23.68	6.29	11.68	133.07	9.03	1.14	4.42	64.90	4.06	7.56	6.47	17.11	29.15	14.45	4.09	2.44		
Kp7	8.08	-	13.07	9.98	1.12	24.46	14.99	2.82	12.72	164.35	6.07	2.28	5.70	92.07	9.46	7.20	2.86	24.61	11.54	3.63	8.51	4.94		

i – iso a – anteiso b – rantai bercabang

JADUAL 3. Nilai korelasi antara sebatian alkohol lemak

	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₃	C ₁₃	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₄	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₅	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₇	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₃	
C ₁₃	0.334																									
C ₁₄	0.544	0.880**																								
C ₁₅	0.782*	0.244	0.586																							
C ₁₆	0.446	0.785*	0.571	0.028																						
C ₁₇	0.784*	0.696	0.722	0.594	0.801*																					
C ₁₈	0.858	0.870*	0.869*	0.594	0.714	0.902**																				
C ₁₉	0.427	0.905**	0.889**	0.525	0.632	0.783*	0.973**																			
C ₂₀	0.818*	0.682	0.757*	0.679	0.730	0.988**	0.912**	0.804*																		
C ₂₁	0.877**	0.566	0.748	0.888**	0.475	0.881**	0.847*	0.747	0.917**																	
C ₂₂	0.575	0.851*	0.794*	0.992	0.813*	0.934**	0.970**	0.909**	0.908**	0.812*																
C ₂₃	0.715	0.245	0.353	0.417	0.620	0.808*	0.507	0.322	0.777*	0.625	0.605															
C ₂₄	0.647	0.638	0.540	0.208	0.944**	0.882**	0.687	0.546	0.820*	0.601	0.797*	0.832*														
C ₂₅	0.897**	0.468	0.687	0.911**	0.372	0.796*	0.743	0.632	0.831*	0.979**	0.716	0.572	0.524													
C ₂₆	0.877**	0.395	0.578	0.561	0.622	0.817*	0.564	0.398	0.811*	0.743	0.618	0.900**	0.824*	0.735												
C ₂₇	0.477	0.840*	0.672	0.181	0.971**	0.882**	0.845*	0.776*	0.829*	0.596	0.913**	0.646	0.921**	0.472	0.624											
C ₂₈	0.519	0.474	0.686	0.329	0.516	0.576	0.460	0.398	0.580	0.461	0.474	0.673	0.632	0.428	0.814*	0.524										
C ₂₉	0.841*	0.380	0.676	0.963**	0.219	0.713	0.683	0.590	0.764*	0.948**	0.633	0.529	0.394	0.977**	0.690	0.345	0.450									
C ₃₀	0.522	0.837*	0.671	0.155	0.989**	0.856*	0.791*	0.710	0.795*	0.581	0.875**	0.636	0.947**	0.487	0.673	0.981**	0.564	0.346								
C ₃₁	-0.024	0.528	0.601	0.466	-0.024	0.230	0.601	0.79	0.303	0.406	0.444	-0.242	-0.155	0.328	-0.178	0.176	-0.023	0.395	0.067							
C ₃₂	0.789*	0.222	0.409	0.805*	0.292	0.731	0.588	0.430	0.727	0.869*	0.636	0.671	0.499	0.904**	0.683	0.389	0.294	0.890**	0.386	0.143						
C ₃₃	-0.183	-0.367	0.447	-0.044	-0.324	-0.202	-0.170	-0.137	-0.138	-0.180	-0.274	-0.241	-0.356	-0.259	-0.452	-0.256	-0.645	-0.263	-0.378	0.123	-0.230					

*p < 0.05 **p < 0.01

lemak yang hadir, diikuti oleh 14% sebatian C_{21} - C_{24} dan selebihnya adalah sebatian alkohol lemak rantai bercabang. Kandungan sebatian alkohol lemak C_{16} mendominasi kesemua stesen pensampelan dan merupakan sebatian utama bagi alkohol lemak rantai pendek dengan kepekatan minimum $29.69 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering sedimen dan kepekatan maksimum adalah $164.35 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering sedimen iaitu 32% daripada jumlah sebatian alkohol lemak yang hadir. Sebatian C_{22} pula merupakan sebatian utama bagi alkohol lemak rantai panjang dengan julat kepekatan $3.10 - 61.65 \mu\text{gg}^{-1}$ berat kering sedimen iaitu 7% daripada jumlah sebatian alkohol lemak yang hadir.

Sebatian alkohol lemak rantai pendek ($\leq C_{20}$) merupakan penunjuk bagi alkohol lemak sumber marin kerana sebatian ini terdapat pada organisma marin seperti fitoplankton, zooplankton dan juga bakteria marin (Mudge & Norris 1997; Seguel et al. 2001; Treignier et al. 2006). Sebatian C_{16} pula berpunca daripada alga dan bakteria (Volkman et al. 1999), namun seperti yang dinyatakan oleh Lü dan Zhai (2006) berdasarkan kajian oleh Ogura et al. (1990), sebatian C_{16} merupakan sebatian yang paling banyak terkandung di dalam fitoplankton. Walaupun fitoplankton lebih diketahui merupakan organisma marin, fitoplankton juga membentuk habitatnya di kawasan sungai tetapi lebih tertumpu di kawasan muara (Logan et al. 2001). Ini menjelaskan kandungan sebatian C_{16} yang tinggi di dalam sampel yang dikaji dalam kajian ini. Selain itu, sebatian C_{18} juga mendatangkan persoalan kerana menurut Yunker et al. (1995), sebatian ini berpunca daripada kedua-dua sumber terestrial dan marin. Kandungan sebatian C_{18} yang dikenalpasti hadir di dalam sampel juga agak tinggi sehingga menyumbang 16% daripada jumlah sebatian alkohol lemak yang hadir. Tetapi disebabkan kandungan sebatian alkohol lemak sumber terestrial terdiri daripada sebatian $>C_{20}$ (Mudge & Norris 1997), sebatian $\leq C_{20}$ dianggap berpunca daripada organisma marin dan dijadikan penunjuk bagi sumber marin.

Input bahan organik terestrial terutamanya daripada tumbuhan peringkat tinggi ke persekitaran akuatik pula diwakili oleh sebatian alkohol lemak rantai panjang ($>C_{20}$) (Grimalt & Albaigés 1990; Mudge & Norris 1997; Mudge & Seguel 1999; Treignier et al. 2006). Sebatian C_{22} hadir pada kepekatan yang agak tinggi di dalam sampel adalah kesan daripada input tumbuhan bakau yang terdapat di sepanjang Sungai Kapar Besar dan kawasan persisir di muaranya. Menurut Ficken et al. (2000), sebatian C_{22} - C_{24} juga diperolehi daripada sumber makrofit akuatik manakala Volkman et al. (1999) pula menyatakan sebatian C_{22} - C_{28} adalah berpunca daripada sumber tumbuhan peringkat tinggi serta mikroalga seperti sianobakteria. Walaupun demikian, mikroalga bukan merupakan penyumbang utama sebatian tersebut ke sedimen akuatik berbanding tumbuhan terestrial (Volkman et al. 1998).

Sebatian C_{15} dan C_{17} pula merupakan sebatian alkohol lemak rantai bercabang yang dominan di dalam sampel sedimen masing-masing dengan purata kepekatan 7.71 dan $3.41 \mu\text{g g}^{-1}$ berat kering sedimen. Sebatian bercabang ini merupakan sebatian yang mempunyai bilangan karbon

ganjil yang dihasilkan oleh proses metabolisme bakteria, contohnya sebatian $isoC_{13}$ adalah terhasil daripada tindakan bakteria terhadap rantai lurus sebatian C_{12} (Mudge & Norris 1997; Mudge & Duce 2005). Oleh yang demikian, di kawasan yang menerima input sisa kumbahan ke persekitarannya kandungan sebatian alkohol lemak rantai bercabang ini juga tinggi kerana kehadiran bakteria bersama dengan sisa kumbahan (Mudge & Norris 1997). Tetapi kandungan sebatian bercabang di kawasan kajian ini adalah agak rendah yang berkemungkinan hanya dipengaruhi oleh kehadiran bakteria secara semulajadi dan tiada pengaruh oleh sisa kumbahan.

KORELASI ALKOHOL LEMAK

Nilai korelasi yang juga disebut sebagai koefisien korelasi merupakan nilai yang menunjukkan kekuatan dan hubungan linear antara dua komponen seperti korelasi antara sebatian alkohol lemak dalam kajian ini. Secara keseluruhannya kebanyakan sebatian alkohol lemak berkorelasi positif sesama sebatian tersebut kecuali sebatian C_{24} yang memberikan nilai korelasi negatif dengan hampir kesemua sebatian alkohol lemak (Jadual 3). Sebatian C_{16} selaku sebatian dominan bagi kesemua stesen pensampelan menunjukkan korelasi positif dengan kesemua sebatian tetapi berkorelasi paling tinggi dengan sebatian C_{12} ($r=0.88$), C_{13} ($r=0.89$), C_{14} ($r=0.88$), C_{15} ($r=0.92$), C_{21} ($r=0.95$) dan C_{23} ($r=0.87$). Sebatian alkohol lemak rantai bercabang juga menunjukkan korelasi yang tinggi antara satu sama lain seperti sebatian iC_{13} dengan sebatian aC_{13} ($r=0.88$) manakala sebatian C_{15} memberikan korelasi yang tinggi dengan iC_{13} dan aC_{13} ($r=0.87$) serta aC_{15} dan iC_{17} ($r=0.97$).

NISBAH ALKOHOL LEMAK

Penggunaan nisbah penunjuk biologi berupaya memberikan anggaran sumber bahan organik dominan yang memasuki persekitaran akuatik (Mudge & Duce 2005) di samping penggunaan kepekatan individu sebatian tersebut. Nisbah sebatian (rantai pendek)/(rantai panjang) digunakan untuk menentukan di antara input bahan organik terestrial atau marin yang lebih tinggi memasuki sedimen akuatik; nilai >1 mewakili kelimpahan bahan organik daripada sumber marin mendominasi persekitaran tersebut (Mudge & Norris 1997; Mudge & Seguel 1999; Treignier et al. 2006). Nilai <1 pula menunjukkan kandungan sebatian alkohol lemak sumber tumbuhan terestrial adalah dominan tetapi kebiasaannya keadaan ini hanya didapati pada sampel dari persekitaran air tawar (Mudge & Norris 1997; Treignier et al. 2006). Nisbah $[(C_{12} - C_{20}) / (C_{21} - C_{24})]$ dalam kajian ini memberikan nilai >1 bagi kesemua stesen pensampelan (Rajah 3). Di antara kesemua stesen pensampelan, stesen Kp7 mempunyai nilai nisbah tertinggi iaitu 7 walaupun terletak di kawasan sungai berbanding stesen pensampelan lain yang terletak di muara sungai (Rajah 1). Keadaan ini mungkin dipengaruhi oleh proses pasang-surut yang membawa kemasukan sebatian alkohol lemak sumber marin ke kawasan sungai dan kedalaman stesen Kp7 yang

agak cetek (Jadual 1) menyebabkan tempoh yang singkat bagi mendakan bahan organik ke dasar sungai.

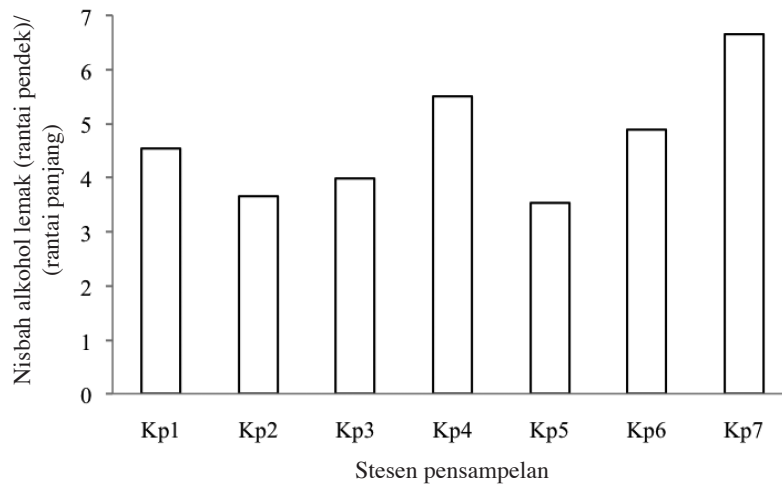
Selain nisbah $[(C_{12} - C_{20}) / (C_{21} - C_{24})]$, Indeks Sumber Alkohol (ASI) juga merupakan kaedah penentuan input bahan organik terestrial di dalam sedimen marin yang melibatkan rumus berikut (Mudge & Norris 1997);

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

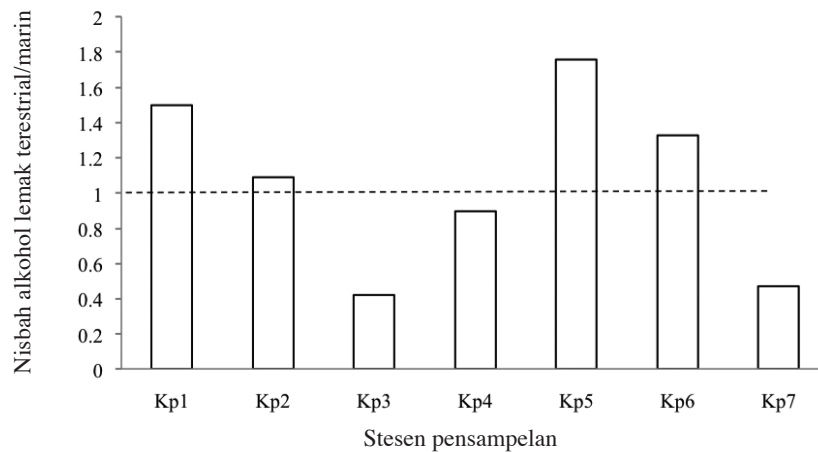
Mudge dan Norris (1997) menyatakan nilai ASI dipengaruhi secara langsung oleh jarak antara daratan dengan lautan iaitu nilai ASI meningkat dengan peningkatan jarak tersebut. Namun tiada corak peningkatan ketara daripada kajian ini seperti ditunjukkan pada Rajah 4 dan Rajah 5. Keadaan ini dipengaruhi oleh faktor fizikal persekitaran dan pergerakan arus air yang membawa sebatian alkohol lemak bersamanya (Mudge & Norris 1997). Tambahan pula kajian ini tidak menekankan jarak antara stesen pensampelan dengan daratan dan stesen

pensampelan adalah tersusun secara rawak antara satu sama lain.

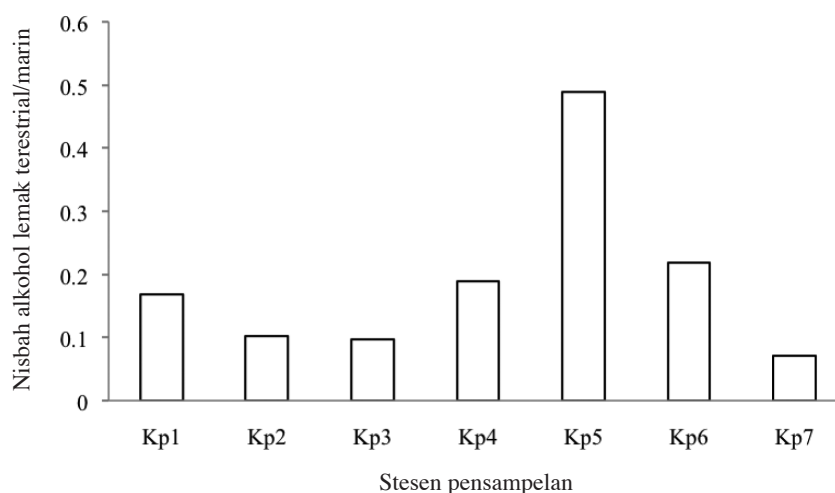
Dalam mengaplikasikan ASI untuk menentukan input bahan organik, sumber marin diwakili oleh sebatian alkohol lemak C_{14} dan C_{16} manakala input terestrial diwakili oleh alkohol lemak C_{22} membentuk $ASI C_{22}/C_{14}$ dan C_{22}/C_{16} (Mudge & Norris 1997). Nilai $ASI > 1$ menunjukkan input alkohol lemak sumber terestrial adalah lebih tinggi berbanding input alkohol lemak sumber marin manakala nilai < 1 adalah sebaliknya. Rajah 4 menunjukkan stesen Kp1, Kp2, Kp5 dan Kp6 mempunyai nilai $ASI C_{22}/C_{14} > 1$ tetapi pada nilai yang amat rendah yang tidak memberikan perbezaan yang ketara antara input alkohol lemak marin dan terestrial. Namun, $ASI C_{22}/C_{16}$ memberikan nilai < 1 bagi kesemua stesen pensampelan (Rajah 5). Nilai ASI yang diperoleh ini menunjukkan situasi yang sama dengan kepekatan individu sebatian alkohol lemak iaitu sampel sedimen dari muara Sungai Kapar, Selangor didominasi oleh sebatian alkohol lemak berantai pendek yang mempunyai sumber marin.



RAJAH 3. Nisbah alkohol lemak (rantai pendek)/(rantai panjang) bagi stesen pensampelan di Sungai Kapar, Selangor



RAJAH 4. Nilai ASI bagi stesen-stesen pensampelan di Sungai Kapar, Selangor menggunakan nisbah C_{22}/C_{14}



RAJAH 5. Nilai ASI bagi stesen-stesen pensampelan di Sungai Kapar, Selangor menggunakan nisbah C_{22}/C_{16}

KESIMPULAN

Kepekatan individu sebatian alkohol lemak yang dikenal pasti hadir di dalam sampel permukaan sedimen yang diambil dari kawasan muara Sungai Kapar, Selangor menunjukkan kandungan sebatian alkohol lemak rantai pendek dari sumber marin mendominasi kesemua stesen pensampelan termasuklah stesen Kp7 yang terletak di kawasan sungai. Di antara sebatian tersebut, sebatian C_{16} merupakan sebatian utama yang hadir hasil daripada sumber fitoplankton. Nisbah alkohol lemak (rantai pendek)/(rantai panjang) yang memberikan nilai >1 bagi kesemua stesen pensampelan mengesahkan lagi kandungan alkohol lemak sumber marin yang tinggi. Manakala ASI juga digunakan untuk membuat anggaran input bahan organik terestrial ke dalam sedimen dengan menggunakan ASI C_{22}/C_{14} dan ASI C_{22}/C_{16} . ASI C_{22}/C_{14} menunjukkan kandungan sebatian C_{22} daripada sumber terestrial adalah lebih tinggi daripada C_{14} tetapi ASI C_{22}/C_{16} menunjukkan sebaliknya, tambahan pula C_{16} adalah sebatian dominan yang hadir.

PENGHARGAAN

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

RUJUKAN

- Carreira, R.S., Wagener, A.L.R. & Readman, J.W. 2004. Sterols as markers of sewage contamination in a tropical urban estuary (Guanabara Bay, Brazil): space-time variations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60: 587-598.
- Duan, Y. 2000. Organic geochemistry of recent marine sediments from the Nansha Sea, China. *Organic Geochemistry* 31: 159-167.
- Ficken, K.J., Li, B., Swain, D.L. & Eglinton, G. 2000. An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry* 31: 745-749.
- 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.
- 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.
- Logan, G.A., Fredericks, D.J., Smith, C. & Heggie, D.T. 2001. Sources of organic matter in Wallis Lake. *AGSO Research Newsletter* 15-20.
- Lü, X. & Zhai S. 2006. Distribution and sources of organic biomarkers in surface sediments from the Changjiang (Yangtze River) Estuary, China. *Continental Shelf Research* 26: 1-14.
- Mannino, A. & Harvey, H.R. 1999. Lipid comparison in particulate and dissolved organic matter in the Delaware Estuary: Sources and diagenetic patterns. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63: 2219-2235.
- Masni, M.A. & Mudge, S.M. 2006. Cluster analysis in lipid biomarker studies: A case of Clyde Sea. *Sains Malaysiana* 35(2): 41-47.
- Mudge, S.M. & Duce, C.E. 2005. Identifying the source, transport path and sinks of sewage derived organic matter. *Environmental Pollution* 136: 209-220.
- 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.
- Mudge, S.M. & Seguel, C.G. 1999. Organic contamination of San Vicente Bay Chile. *Marine Pollution Bulletin* 38: 1011-1021.
- 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.
- Ogura, K., Machihara, T. & Takada, H. 1990. Diagenesis of biomarkers in Biwa Lake sediments over 1 million years. *Organic Geochemistry* 16: 805-813.
- Pagani, M., Freeman, K.H. & Arthur, M.A. 1999. Isotope analyses of molecular and total organic carbon from Miocene sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64: 37-49.

- Parameswaran P.S., Das B. & Kamat S.Y. 1994. Lipid contents of the sponge *Haliconia sp.* *Indian Journal of Chemistry* 33: 99-101.
- Pearson, E.J., Farrimond, P. & Juggins, S. 2007. Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: Relationships with source inputs and environmental factors. *Organic Geochemistry* 38: 1169-1195.
- Seguel, C.G., Mudge, S.M., Salgado, C. & Toledo, M. 2001. Tracing sewage in the marine environment: Altered signatures in Concepción Bay, Chile. *Water Resources* 17: 4166-4174.
- 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.
- Shi, W., Sun, M.Y., Molina, M. & Hodson, R.E. 2001. Variability in the distribution of lipid biomarkers and their molecular isotopic composition in Altamaha estuarine sediments : implications for the relative contribution of organic matter from various sources. *Organic Geochemistry* 32: 453-467.
- Smith, S.V. & Hollibaugh, J.T. 2008. Coastal metabolism and the oceanic organic carbon balance. *Reviews of Geophysics* 31(1): 75-89.
- 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.
- Volkman, J.K., Barrett, S.M. & Blackburn, S.I. 1999. Eustigmatophyte microalgae are potential sources of C₂₉ sterols, C₂₂- C₂₈ *n*-alcohols and C₂₈- C₃₂ *n*-alkyl diols in freshwater environments. *Organic Geochemistry* 30: 307-318.
- 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.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Veltkamp, 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

Norfariza Humrawali, Yeoh Lee Kwan, Mohd Talib Latif & Masni Mohd Ali*
 Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
 Fakulti Sains dan Teknologi
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 Bangi, Selangor D.E.
 Malaysia

Mohamad Pauzi Zakaria
 Jabatan Sains Alam Sekitar
 Fakulti Pengajian Alam Sekitar
 Universiti Putra Malaysia
 43400 Serdang, Selangor D.E.
 Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: masni@ukm.my

Diserahkan: 29 Januari 2009

Diterima: 27 Mei 2009