

## Variasi dan Sumber Sterol di Kuala Selangor, Selangor (Variation and Sources of Sterols in Kuala Selangor, Selangor)

MASNI MOHD ALI\* , NORFARIZA HUMRAWALI & MOHD TALIB LATIF

### ABSTRAK

*Kajian ini adalah mengenai peranan sterol sebagai penunjuk bio-lipid untuk mengenal pasti variasi dan sumber bahan organik yang hadir bersama sedimen permukaan dari Kuala Selangor, Selangor. Kajian melibatkan kaedah pengekstrakan sterol daripada sampel sedimen dan seterusnya dianalisis menggunakan GC-MS untuk menentukan kehadiran sebatian tersebut. Sepuluh sebatian sterol dikenal pasti hadir dengan fitosterol merupakan sebatian dominan di kawasan kajian iaitu 79% daripada jumlah keseluruhan sterol. Ini diikuti oleh kolesterol serta sterol kumbahan masing-masing menyumbang 6% daripada jumlah keseluruhan sterol manakala selebihnya berada dalam julat 1-5%. Indeks Sumber Sterol (SSI) juga menunjukkan kandungan fitosterol yang tinggi walaupun hadir pada kadar yang berbeza di setiap stesen pensampelan. Penilaian pencemaran kumbahan menggunakan nisbah koprostanol/kolesterol, koprostanol/(koprostanol+kholestanol) serta epikoprostanol/koprostanol menunjukkan kawasan kajian tidak mengalami pencemaran kumbahan walaupun sterol daripada sumber kumbahan hadir di persekitarannya. Kesimpulannya sedimen permukaan di Kuala Selangor, Selangor mengandungi campuran sterol daripada pelbagai sumber yang hadir di persekitarannya dengan didominasi oleh fitosterol yang berasal daripada tumbuhan terestrial.*

*Kata kunci: Bahan organik; fitosterol; kolesterol; penunjuk bio-lipid; sterol; sterol kumbahan*

### ABSTRACT

*This study explores the role of sterols as lipid biomarkers to assess organic matter variations and their sources in surface sediments of Kuala Selangor, Selangor which involved extraction procedures and sterol compounds analyzed using GC-MS. Ten sterol compounds were found in the samples with phytosterol being the principal compounds which accounted 79% of total sterols. This was followed by cholesterol and fecal sterols, each constitutes 6% of total sterols while the rest are in the ranged of 1-5%. Sterol Source Index (SSI) also reflected phytosterols predominant at all sampling stations but in different degree based on phytosterol compounds. Another issue was sewage contamination assessment using coprostanol/cholesterol, coprostanol/(coprostanol+cholestanol) and epicoprostanol/coprostanol ratio. No sewage contamination occurred in the study area even though fecal sterols have been quantified. This analytical study indicates that the sediments in the study area consisted of a mixture of sterols from various sources even though dominated by phytosterols originated from terrestrial plants.*

*Keywords: Cholesterol; fecal sterols; lipid biomarkers; organic matter; phytosterols*

### PENDAHULUAN

Kajian melibatkan penunjuk bio-lipid di Malaysia adalah masih di peringkat awal berbanding negara-negara lain khususnya Eropah, Australia, Jepun dan China yang telah dilakukan seawal 1960-an lagi. Penunjuk bio-lipid merujuk kepada penggunaan sebatian lipid sebagai penunjuk biologi untuk menentukan kandungan, taburan, sumber dan pergerakan bahan organik di persekitaran akuatik (Logan et al. 2001; Zimmerman & Canuel 2001). Sterol merupakan antara sebatian lipid yang telah terbukti dan diguna secara meluas dalam kajian seumpamanya kerana sifat sebatian ini yang unik (Froehner et al. 2008; Mudge & Duce 2005; Mudge et al. 1999; Seguel et al. 2001; Santos et al. 2008).

Sebatian sterol terdapat di dalam organisme eukariot terutamanya haiwan peringkat tinggi dan tumbuhan

vaskular yang mempengaruhi taburannya yang meluas di persekitaran sedimen (Jardé et al. 2007; Mater et al. 2004; Puglisi et al. 2003; Wang et al. 2004). Sterol, seperti juga sebatian lipid yang lain merupakan sebatian hidrofobik yang menyebabkannya tidak larut air (Froehner et al. 2008). Oleh yang demikian, apabila memasuki persekitaran akuatik, sterol akan terjebak pada partikel terampai dan seterusnya termendak ke lapisan sedimen (Moon et al. 2008). Di lapisan sedimen pula, sterol kekal untuk suatu tempoh yang lama tanpa mengalami proses degradasi yang mendadak terutamanya di persekitaran sedimen anoksik (Hyun et al. 2002; Mudge & Duce 2005; Seguel et al. 2001). Selain itu, organisma yang berlainan menghasilkan jenis sterol yang berbeza (Puglisi et al. 2003; Santos et al. 2008). Sifat sterol yang spesifik terhadap sumbernya memberikan kelebihan dalam pengenalan input bahan organik ke sistem akuatik.

Kajian ini mempunyai tiga objektif utama iaitu menentukan taburan variasi sterol di dalam sedimen permukaan di Sungai Selangor, mengenal pasti sumber utama sebatian tersebut di kawasan kajian dan sebagai pengenalan terhadap penggunaan penunjuk bio-lipid dalam kajian seumpamanya di Malaysia.

## BAHAN DAN KAEDAH

### LOKASI KAJIAN DAN PENSAMPELAN

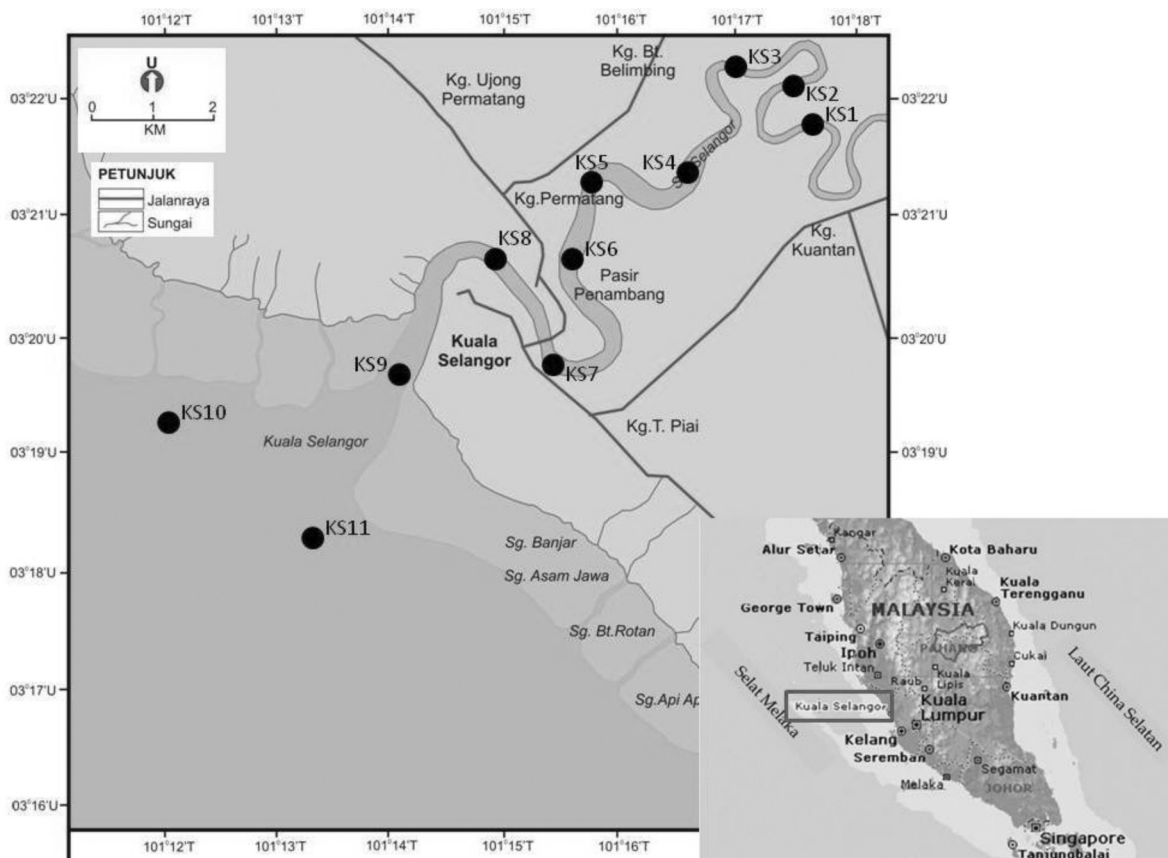
Lokasi kajian terletak di Kuala Selangor iaitu salah sebuah daerah di bahagian utara negeri Selangor. Kuala Selangor merupakan perkampungan nelayan yang terletak di tepian Sungai Selangor. Sungai Selangor adalah salah satu sistem sungai utama di Selangor yang mengalir terus ke Selat Melaka. Sungainya adalah 75 km panjang dan 500 m lebar di bahagian mulut sungai dengan keluasan keseluruhan 1450 km<sup>2</sup>. Kedalaman sungai adalah sekitar 2.5 m semasa air surut tetapi mencecah sehingga 10 m semasa air pasang. Sungai Selangor memainkan beberapa peranan penting khususnya sebagai sumber bekalan air bagi tujuan domestik serta sektor pertanian di kawasan sekitarnya, menyediakan sumber pendapatan penduduk setempat yang terlibat dalam sektor perikanan. Ia juga mempunyai nilai dalam sektor ekopelancongan.

Di sekitar kawasan pensampelan terdapat kawasan hutan tanah rata serta paya bakau. Pokok bakau yang terdapat di sepanjang tepian Sungai Selangor adalah habitat bagi koloni kelip-kelip yang merupakan tarikan perlancongan di kawasan Kuala Selangor. Selain itu, kawasan perkampungan di sepanjang Sungai Selangor juga dipenuhi dengan hutan tanaman campuran, ladang kelapa sawit dan ladang kelapa. Oleh yang demikian, Sungai Selangor mengalir merentas ladang kelapa sawit dan tidak memasuki sebarang kawasan perbandaran utama.

Aktiviti pensampelan telah dijalankan pada bulan Mac 2007. Sampel sedimen permukaan diambil menggunakan pengecup PONAR di sebanyak sebelas stesen pensampelan di sepanjang Sungai Selangor (Rajah 1; Jadual 1). Sampel dimasukkan ke dalam botol kaca dan disimpan pada suhu -4 °C sehingga analisis sterol dilakukan.

### ANALISIS STEROL

Kaedah pengekstrakan untuk analisis sterol diadaptasi daripada literatur Masni & Mudge (2006). Lebih kurang 30 hingga 40 g berat basah sampel sedimen dihidrolisis melalui kaedah refluks selama 4 jam dengan menggunakan 50 ml 6% kalium hidroksida dalam metanol. Sampel kemudiannya diempar pada 4000 r.p.m selama tiga minit dan supernatan yang diperoleh dimasukkan ke dalam corong pemisah.



RAJAH 1. Lokasi kajian dan pensampelan

JADUAL 1. Koordinat stesen persampelan

Stesen persampelan	Longitud	Latitud
KS1	03°21'50	101°17'46
KS2	03°22'05	101°17'31
KS3	03°22'22	101°17'02
KS4	03°21'22	101°16'49
KS5	03°21'18	101°15'51
KS6	03°20'42	101°15'37
KS7	03°19'53	101°15'7
KS8	03°20'48	101°15'01
KS9	03°19'39	101°14'00
KS10	03°19'17	101°12'00
KS11	03°18'23	101°13'21

Bahagian lipid tidak berkutub diekstrak daripada sampel dengan menambahkan 20 mL heksana dan 10 mL air suling nyah-ion ke dalam sampel dan kemudian digoncang dengan kuat sehingga dua lapisan terbentuk. Prosedur ini diulangi untuk memaksimumkan pengekstrakan. Penutup corong pemisah perlu dibuka untuk melepaskan gas yang terhasil oleh tindak balas sampel. Sampel yang terdiri daripada lipid tidak berkutub 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 kertas turas dan dikering dengan menggunakan gas nitrogen (OFN).

Prosedur terakhir sebelum sampel dianalisis menggunakan GC-MS adalah fasa penerbitan untuk menjadikan sampel lebih stabil bagi suntikan kromatografi gas (GC). Sebanyak 2-3 titik bis(trimetilsilil) trifloroasetamida (BSTFA) ditambahkan ke dalam sampel yang seterusnya dipanaskan di dalam blok pemanas pada suhu 60 °C selama 10 minit. Sampel dikering menggunakan gas nitrogen (OFN) sekali lagi dan dilarutkan semula dengan 1 mL heksana. Sampel seterusnya disimpan pada suhu -20 °C sehingga dianalisis menggunakan kromatografi gas-spektrometri jisim (GC-MS).

Kromatografi gas - spektrometri jisim (GC-MS) (Perkin Elmer Clarus 500) digunakan untuk menganalisis sebatian sterol yang terdapat di dalam sampel. Suhu ditingkatkan daripada 80 °C dengan kadar 15 °C min<sup>-1</sup> sehingga mencapai suhu 300 °C dan kemudiannya ditingkatkan 5 °C min<sup>-1</sup> kepada suhu maksimum 350 °C selama 10 minit. Larutan kolesterol-TMS pada pelbagai kepekatan digunakan sebagai larutan piawai. Setiap sampel disuntik untuk dianalisis sekali sahaja iaitu sebanyak 5 µL.

## PENGAWALAN KUALITI

Kaedah dan teknik piawai dilaksanakan semasa kajian dijalankan. Kesemua radas kaca yang digunakan dicuci dengan menggunakan Decon-90. Prosedur refluks bagi beberapa sampel diulangi untuk memaksimumkan hasil prosedur pemisahan cecair-cecair. Selain itu, kalibrasi menggunakan larutan piawai kolesterol-TMS semasa analisis sampel menggunakan GC-MS juga dilakukan manakala jarum suntikan GC-MS dibersihkan dengan menggunakan diklorometana dalam metanol selepas setiap sampel dianalisis.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

Hasil analisis sampel sedimen permukaan dari Kuala Selangor, Selangor menunjukkan sepuluh sebatian sterol utama dikenal pasti hadir. Kepekatan setiap sebatian sterol disenaraikan dalam Jadual 2 dan peratusan individu sebatian sterol ditunjukkan dalam Rajah 2.

Kawasan kajian didominasi oleh fitosterol yang menyumbang 56% daripada jumlah keseluruhan sterol, diikuti oleh sebatian kolesterol dan sterol daripada sumber marin iaitu masing-masing menyumbang 14% daripada jumlah keseluruhan sterol manakala sterol daripada sisa kumbahan hanya 9% dan epimer kolesterol iaitu cholestanol menyumbang 7%. Hasil kajian yang diperoleh adalah seperti yang telah dijangkakan memandangkan lokasi kajian adalah di kawasan sungai, maka sememangnya menerima input yang tinggi daripada sumber terestrial yang diwakili oleh bahan organik tumbuhan.

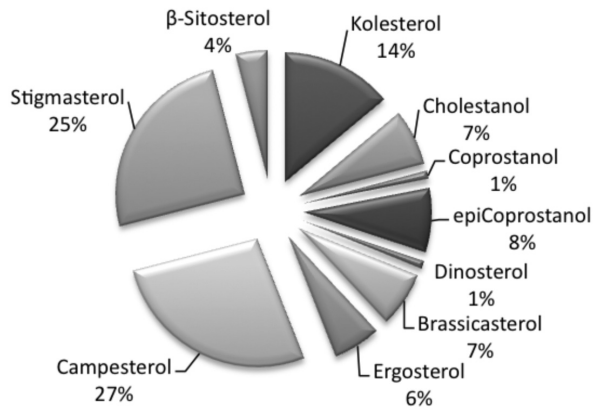
## FITOSTEROL

Fitosterol atau sterol tumbuhan yang diwakili oleh  $\beta$ -sitosterol (24 $\alpha$ -ethylcholest-5-en-3 $\beta$ -ol), stigmasterol (24 $\alpha$ -ethylcholesta-5,22-dien-3 $\beta$ -ol) dan campesterol (24-methylcholest-5-en-3 $\beta$ -ol) merupakan sebatian dominan yang dikenal pasti hadir di kawasan kajian. Antara ketiga-tiga sebatian tersebut, kandungan campesterol adalah yang paling tinggi iaitu 27% daripada keseluruhan sterol dengan julat kepekatan 354.32 hingga 5498.88 ngg<sup>-1</sup> berat kering sedimen menjadikan sebatian ini sebatian dominan berbanding kesemua sebatian sterol yang lain. Ini diikuti oleh stigmasterol dengan 25% daripada jumlah keseluruhan sterol dan julat kepekatan daripada 525.30 hingga 4098.51 ngg<sup>-1</sup> berat kering sedimen manakala kandungan  $\beta$ -sitosterol adalah sebatian fitosterol yang paling rendah iaitu hanya 4% daripada keseluruhan sterol dengan julat kepekatan daripada 62.41 hingga 949.05 ngg<sup>-1</sup> berat kering sedimen.

Ketiga-tiga sterol tersebut adalah sterol utama yang terdapat di dalam tumbuhan vaskular (Santos et al. 2008) tetapi juga dilaporkan hadir dalam kuantiti yang sedikit di dalam alga, rumpai laut dan fitoplankton air tawar (Méjanelle & Laureillard 2008; Volkman et al. 2008; Vonk et al. 2008). Tetapi input utama fitosterol di Kuala

JADUAL 2. Kepekatan sterol bagi setiap stesen persampelan ( $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen)

	KS1	KS2	KS3	KS4	KS5	KS6	KS7	KS8	KS9	KS10	KS11
Coprostanol	16.64	33.09	54.90	91.51	219.05	45.80	49.00	28.42	80.64	46.45	96.54
epicoprostanol	365.56	164.47	213.77	129.96	567.31	1497.01	336.60	249.31	208.03	332.78	1101.66
Cholesterol	598.56	551.54	592.37	2394.46	433.82	367.50	1079.19	456.58	610.94	781.87	1354.24
Cholestanol	395.93	504.60	199.96	970.59	147.21	124.78	891.82	345.35	205.17	688.90	432.80
Brassicasterol	230.55	235.88	190.18	857.05	32.01	1476.48	614.54	150.10	194.60	381.92	315.41
Ergosterol	279.21	162.93	267.04	201.30	511.21	1200.27	267.74	171.35	240.34	239.91	857.76
Campesterol	531.93	692.57	412.96	5498.88	1042.96	354.32	2542.62	486.96	891.77	1025.44	5281.75
Stigmasterol	1294.77	1859.95	1242.97	525.30	751.03	1026.35	1277.66	1524.48	1881.72	1697.76	4098.51
Sitosterol	156.78	70.76	134.02	62.41	138.28	949.05	94.51	106.31	115.84	65.62	317.89
Dinosterol	0.00	0.00	0.00	0.00	29.98	33.35	233.33	94.67	134.99	119.04	342.09



RAJAH 2. Peratusan individu sebatian sterol

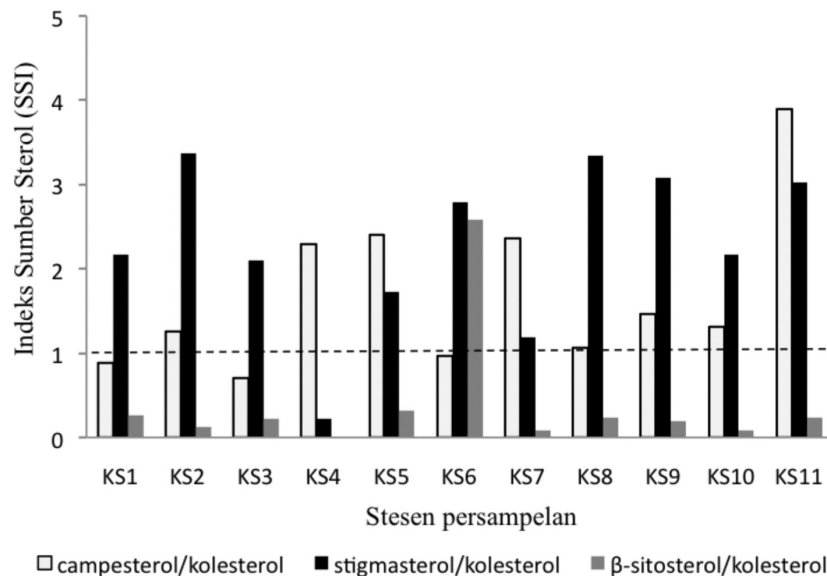
Selangor adalah dipengaruhi oleh limpahan pokok bakau yang memenuhi sepanjang tepian sungai sehingga ke kawasan muara. Selain itu, terdapat juga aktiviti pertanian penduduk setempat dan perladangan kelapa sawit serta kelapa di kawasan sekitar Kuala Selangor. Tetapi menurut Froehner et al. (2008), kehadiran  $\beta$ -sitosterol di dalam sedimen juga menunjukkan berlakunya pencemaran domestik kerana sebatian ini terkandung di dalam minyak sayuran yang diguna dalam masakan. Di sekitar kawasan pensampelan terdapat rumah penduduk kampung dan restoran yang beroperasi secara kecil-kecilan. Keadaan ini berkemungkinan menyalurkan sisa domestik ke dalam sungai. Namun, kajian lanjutan adalah perlu untuk mengesahkan input daripada sisa domestik tersebut.

Selain penilaian menggunakan kepekatan individu fitosterol, penggunaan indeks sumber sterol (SSI) juga mengesahkan lagi kemasukan fitosterol ke persekitaran kawasan kajian. SSI diguna untuk menilai kemasukan bahan organik dari sumber terestrial ke persekitaran akuatik (Mudge & Norris 1997). Hasil SSI yang dikira

menggunakan nisbah campesterol/kolesterol, stigmasterol/kolesterol dan  $\beta$ -sitosterol/kolesterol menunjukkan hasil input berlainan jenis sebatian fitosterol pada kuantiti yang berbeza bagi setiap stesen pensampelan (Rajah 3). Kandungan stigmasterol adalah tinggi di kebanyakan stesen pensampelan walaupun sebatian ini bukan merupakan sebatian dominan berbanding campesterol yang hanya tinggi di empat stesen pensampelan sahaja manakala  $\beta$ -sitosterol hanya tinggi di stesen KS6 sahaja. Antara faktor yang mempengaruhi perbezaan input ketiga-tiga sebatian tersebut adalah kandungan sterol yang berbeza bagi berlainan spesies tumbuhan serta berlainan peringkat pertumbuhan tumbuhan (Puglisi et al. 2003).

#### KOLESTEROL

Sebatian seterusnya yang mendominasi kawasan kajian selepas campesterol dan stigmasterol adalah kolesterol (cholest-5-en-3 $\beta$ -ol). Kandungan kolesterol yang dikenal pasti hadir adalah sebanyak 14% daripada jumlah keseluruhan sterol dengan julat kepekatan daripada 433.82 hingga 2394.46 ngg<sup>-1</sup> berat kering sedimen dan nilai purata 838.28 ngg<sup>-1</sup> berat kering sedimen. Kolesterol adalah sebatian sterol utama yang dihasilkan oleh haiwan (Jardé et al. 2007; Puglisi et al. 2003). Walaupun begitu sebatian ini turut dihasilkan oleh organisma lain yang merangkumi tumbuhan vaskular, flora serta fauna akuatik seperti alga, diatom, makrofit, mikroorganisma serta plankton (Azevedo 2003; Logan et al. 2001; Patton & Reeves 1999). Selain itu sumber antropogenik juga menyumbangkan kemasukan kolesterol ke persekitaran akuatik khususnya sisa kumbahan serta air larian daripada sektor pertanian dan perladangan yang membawa bersamanya baja dan pestisid organik (Reeves & Patton 2001; Seguel et al. 2001). Namun, sumber kolesterol yang pelbagai menyebabkan taburannya yang meluas di persekitaran tetapi sukar untuk dijadikan penunjuk individu bagi sumber tertentu secara



RAJAH 3. Indeks sumber sterol (SSI) bagi setiap stesen persampelan

spesifik. Oleh yang demikian, kolesterol seringkali diguna dalam bentuk nisbah dengan sterol lain seperti sterol daripada sisa kumbahan dan dalam pengiraan indeks sumber sterol (SSI).

Salah satu epimer kolesterol iaitu cholestanol ( $5\alpha$ -cholestan- $3\beta$ -ol) juga dikenal pasti hadir di dalam kesemua sampel dengan julat kepekatan daripada 124.78 hingga 970.59  $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen yang menyumbang 7% daripada jumlah keseluruhan sterol. Cholestanol adalah epimer kolesterol yang paling stabil di persekitaran dari segi termodinamik berbanding epimernya yang lain (Devane et al. 2006). Penghasilan utama cholestanol adalah daripada tindakan penghirojenan kolesterol oleh bakteria tetapi sebatian ini juga diperolehi daripada sumber lain seperti tumbuhan terestrial serta akuatik, dan plankton (Devane et al. 2006; Froehner et al. 2008; Seguel et al. 2001). Namun begitu, cholestanol seringkali diguna sebagai penunjuk bagi pencemaran kumbahan dalam bentuk nisbah dengan sterol daripada sisa kumbahan (Froehner et al. 2008).

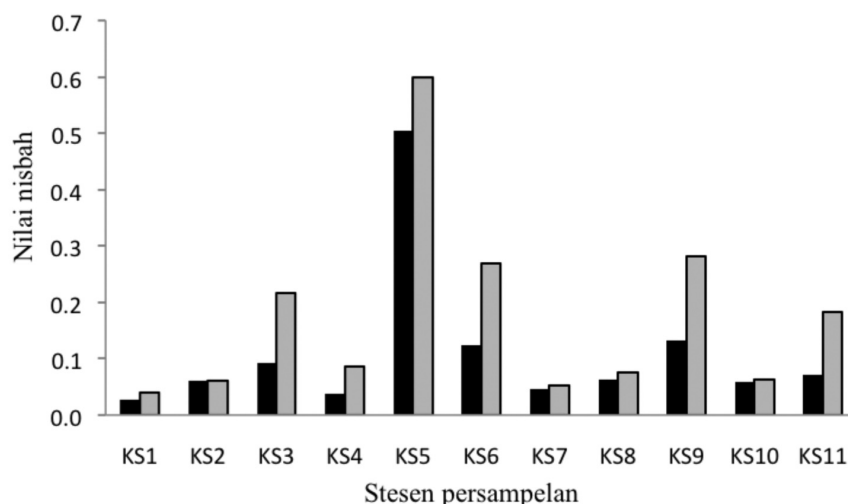
#### STEROL DARIPADA SISA KUMBAHAN

Sebatian utama yang diguna sebagai penunjuk input sisa kumbahan adalah coprostanol yang juga merupakan epimer kolesterol dan epicoprostanol yang merupakan epimer coprostanol. Kedua-dua sebatian tersebut hadir di dalam kesemua sampel dengan epicoprostanol lebih mendominasi kawasan kajian berbanding coprostanol. Epicoprostanol hadir dalam julat kepekatan daripada 129.96 hingga 1497.01  $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen iaitu 8% daripada jumlah sterol manakala kandungan coprostanol adalah amat rendah iaitu hanya 1% daripada jumlah keseluruhan sterol dengan julat kepekatan 16.64 hingga 219.05  $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen.

Coprostanol adalah sterol utama yang terdapat di dalam sisa kumbahan manusia iaitu lebih kurang 60% daripada jumlah keseluruhan sterol yang hadir di dalam sisa kumbahan (Froehner et al. 2008; Leeming et al.

1996). Sebatian ini terbentuk oleh tindakan bakteria terhadap kolesterol di dalam sistem pencernaan manusia dan kebanyakan haiwan lain tetapi coprostanol hadir pada kadar yang lebih banyak di dalam sisa kumbahan manusia berbanding haiwan (Bull et al. 2002; Peng et al. 2002; Puglisi et al. 2003; Shah et al. 2007). Maka coprostanol digunakan dengan meluas untuk menentukan tahap pencemaran kumbahan yang berlaku. Epicoprostanol pula terhasil daripada tindakan degradasi bakteria terhadap coprostanol yang menunjukkan sisa kumbahan yang telah melalui proses rawatan atau sisa kumbahan yang telah lama berada di persekitaran (Mudge & Duce 2005; Froehner et al. 2008). Oleh yang demikian kandungan epicoprostanol lebih yang tinggi berbanding coprostanol di kawasan kajian menunjukkan tiada pencemaran kumbahan berlaku. Namun, untuk mendapatkan anggaran yang lebih jitu, penggunaan nisbah sterol daripada sisa kumbahan adalah perlu.

Terdapat pelbagai nisbah yang boleh diguna dalam penentuan tahap pencemaran kumbahan dan di antara yang sering diguna adalah nisbah koprostanol/kolesterol, koprostanol/(koprostanol+kholestanol) dan epikoprostanol/koprostanol. Nisbah koprostanol/kolesterol yang diperolehi menunjukkan kebanyakan stesen pensampelan mempunyai nilai  $<0.2$  kecuali stesen KS5 yang mempunyai nilai 0.5 (Rajah 4). Grimalt et al. (1990) mencadangkan nilai nisbah koprostanol/kolesterol  $>0.2$  menunjukkan berlakunya pencemaran kumbahan seperti juga yang diaplikasi dalam kajian oleh Mudge & Seguel (1999) serta Bull et al. (2002). Tetapi nisbah ini juga menunjukkan input daripada sumber biogenik bagi nilai  $<1$  (Fattore et al. 1996) seperti fitoplankton, zooplankton dan tumbuhan akuatik tetapi pada kuantiti yang lebih rendah berbanding yang hadir bersama kumbahan manusia (Reeves & Patton 2005; Devane et al. 2006). Nisbah coprostanol/(koprostanol+kholestanol) pula menunjukkan kesemua stesen pensampelan mempunyai nilai  $<0.7$  yang menunjukkan tiada pencemaran kumbahan berlaku (Grimalt et al. 1990; Bull et al. 2002). Namun stesen KS5 mempunyai nilai yang tinggi bagi kedua-



RAJAH 4. Nisbah penilaian kesan input sisa kumbahan

kedua nisbah tersebut yang berkemungkinan mempunyai kandungan sisa kumbahan yang tinggi tetapi tidak sehingga berlakunya pencemaran kumbahan.

Nisbah epikoprostanol/koprostanol pula digunakan sebagai penunjuk tahap rawatan sisa kumbahan yang memasuki persekitaran atau sisa kumbahan yang telah lama di persekitaran (Mudge & Duce 2005). Nilai nisbah  $<0.2$  menunjukkan berlakunya pencemaran kumbahan (Mudge et al. 1999) tetapi di dalam kajian ini, kesemua stesen pensampelan mempunyai nilai nisbah  $>1$ . Nisbah ini juga seringkali diplot bersama dengan nisbah coprostanol/kolesterol untuk menentukan kandungan sisa kumbahan terawat atau yang telah lama berada di persekitaran (Mudge & Duce 2005). Berdasarkan Rajah 5, didapati stesen KS5 mempunyai kandungan sisa kumbahan tak terawat yang tertinggi manakala stesen KS6 mempunyai kandungan sisa kumbahan terawat yang tinggi berbanding stesen pensampelan yang lain. Keputusan yang diperoleh ini seiring dengan hasil yang diwakili oleh dua nisbah yang dibincangkan sebelum ini. Oleh yang demikian, secara amnya kawasan kajian adalah bebas dari pencemaran kumbahan.

#### STEROL DARIPADA SUMBER MARIN

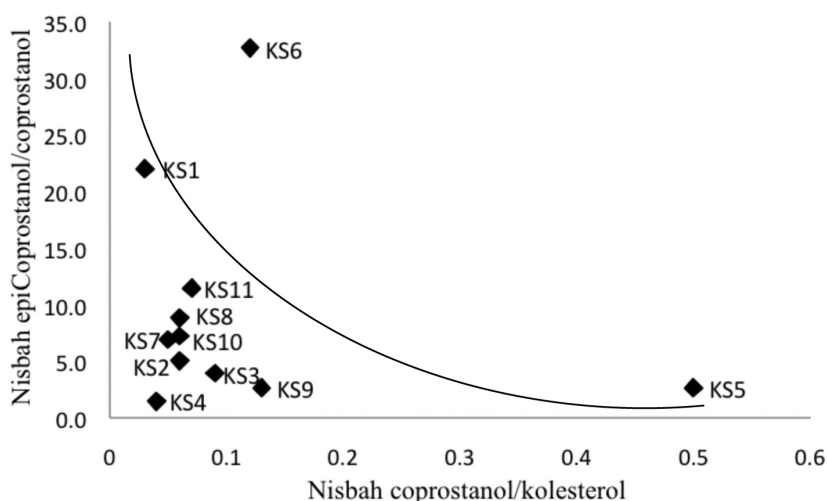
Walaupun kawasan kajian merupakan sistem sungai, sebatian sterol yang signifikan dengan sumber dari marin turut dikenal pasti hadir iaitu brassicasterol, ergosterol dan dinosterol masing-masing terdiri daripada 7%, 6% serta 1% daripada jumlah keseluruhan sterol. Brassicasterol hadir pada julat kepekatan 32.01-1476.48  $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen yang dilaporkan berpunca daripada diatom marin dan diatom air tawar (Bechtel & Schubert 2009; Hernandez et al. 2008; Méjanelle & Laureillard 2008). Ergosterol pula merupakan sterol utama bagi fungi dan beberapa spesies mikroalga (Fahl & Stein 1999; Puglisi et al. 2003) yang hadir pada julat kepekatan 162.93-1200.27  $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen. Fungi bertindak

sebagai organisma pengurai bagi bahan organik terestrial maka, input daripada tumbuhan vaskular yang tinggi ke persekitaran akuatik akan turut meningkatkan kandungan fungsi (Mudge et al. 1999). Sterol daripada sumber marin yang dikenal pasti hadir pada kepekatan yang terendah adalah dinosterol dengan julat kepekatan 29.98-342.09  $\text{ngg}^{-1}$  berat kering sedimen yang hanya hadir di dalam tujuh sampel daripada keseluruhan sampel. Dinosterol merupakan sterol utama dihasilkan oleh dinoflagelat tetapi juga dihasilkan oleh mikroalga dalam kuantiti yang sedikit (Santos et al. 2008; Zhang et al. 2008).

#### KESIMPULAN

Hasil analisis sterol di dalam sampel sedimen permukaan di Kuala Selangor, Selangor menunjukkan kepelbagaian sebatian sterol hasil daripada input pelbagai sumber dikenal pasti hadir pada kuantiti yang berbeza. Sebatian fitosterol yang signifikan dengan input daripada tumbuhan terestrial adalah sebatian dominan di kawasan kajian iaitu 56% daripada keseluruhan sterol dengan turutan limpahan  $\beta$ -sitosterol < stigmasterol < campesterol. Ini dipengaruhi oleh kepadatan pokok bakau di sepanjang kawasan kajian serta aktiviti pertanian dan perladangan di kawasan sekitarnya. Nilai SSI yang dikira juga menunjukkan fitosterol mendominasi kawasan kajian tetapi kandungan di antara ketiga-tiga sebatian fitosterol adalah berbeza bagi berlainan stesen pensampelan. Kolesterol yang merupakan sebatian sterol utama juga hadir pada kepekatan yang tinggi yang menyumbang 14% daripada keseluruhan sterol. Sterol daripada sumber marin juga menyumbang 14% daripada keseluruhan sterol manakala sterol daripada sisa kumbahan hanya menyumbang 9%.

Penilaian tahap pencemaran kumbahan di kawasan kajian pula menunjukkan Kuala Selangor bebas daripada pencemaran kumbahan. Kandungan koprostanol yang hadir di persekitaran bersama sisa kumbahan yang tidak dirawat adalah amat rendah berbanding epikoprostanol



RAJAH 5. Nisbah penilaian kandungan sisa kumbahan terawat atau yang telah lama di persekitaran

yang signifikan dengan sisa kumbahan terawat atau yang telah lama di persekitaran. Nisbah koprostanol/kholesterol, koprostanol/(koprostanol+kholestanol) dan epikoprostanol/koprostanol juga mengesahkan tiada pencemaran kumbahan berlaku di kawasan kajian.

#### PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi, Malaysia di atas pembiayaan penyelidikan ini melalui geran Sciencefund 04-01-02-SF0193 dan Universiti Kebangsaan Malaysia serta semua pihak yang terlibat.

#### RUJUKAN

- Azevedo, D. de A. 2003. A preliminary investigation of the polar lipids in recent tropical sediment from aquatic environments at Campos dos Goytacazes, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 14(1): 97-106.
- Bechtel, A. & Schubert, C.J. 2009. Biogeochemistry of particulate organic matter from lakes of different trophic levels in Switzerland. *Organic Geochemistry* 40(4): 441-454
- Bull, I.D., Lockheart, M.J., Elhmmali, M.M., Roberts, D.J. & Evershed, R.P. 2002. The origin of faeces by means of biomarker detection. *Environment International* 27: 647-654.
- Devane, M., Saunders, D. & Gilpin, B. 2006. Faecal sterols and fluorescent whiteners as indicators of the source of faecal contamination. *Chemistry in New Zealand* 70(3): 74-77.
- Fahl, K. & Stein, R. 1999. Biomarkers as organic-carbon-source and environmental indicators in the Late Quaternary Arctic Ocean: problems and perspectives. *Marine Chemistry* 63: 293-309.
- Fattore, E., Benfenati, E., Marelli, R., Cools, E. & Fanelli, R. 1996. Sterols in sediment samples from Venice Lagoon, Italy. *Chemosphere* 33: 2383-2393.
- Froehner, S., Martins, R.F. & Errera, M.R. 2008. Assessment of fecal sterols in Barigui River sediments in Curitiba, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 157: 591-600.
- 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.
- Hernandez, M.T., Mills, R.A. & Pancost, R. D. 2008. Algal biomarkers in surface waters around the Crozet plateau. *Organic Geochemistry* 39: 1051-1057.
- 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.
- Jardé, E., Gruau, G. & Mansuy-Huault, L. 2007. Using sterols to detect pig slurry contribution to soil organic matter. *Water, Air and Soil Pollution* 178: 169-178.
- 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.
- Logan, G.A., Fredericks, D.J., Smith, C. & Heggie, D.T. 2001. Sources of organic matter in Wallis Lake. *AGSO Research Newsletter* 2001: 15-20.
- Masni, M.A. & Mudge, S.M. 2006. Cluster analysis in lipid biomarker studies: A case of Clyde Sea. *Sains Malaysiana* 35(2): 41-47.
- Mater, L., Alexandre, M.R., Hansel, F.A. & Madureira, L.A.S. 2004. Assessment of lipid compounds and phosphorus in mangrove sediments of Santa Catarina Island, SC, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 15(5): 725-734.
- Méjanelle, L. & Laureillard, J. 2008. Lipid biomarker record in surface sediments at three sites of contrasting productivity in the tropical North Eastern Atlantic. *Marine Chemistry* 108: 59-76.
- Moon, H.-B., Yoon, S.-P., Jung, R.-H. & Choi, M. 2008. Wastewater treatment plants (WWTPs) as a source of sediment contamination by toxic organic pollutants and fecal sterols in a semi-enclosed bay in Korea. *Chemosphere* 73: 880-889.
- Mudge, S.M., Bebianno, M.J.A.F., East, J.A. & Barreira, L.A. 1999. Sterols in the Ria Formosa Lagoon, Portugal. *Water Research* 4: 1038-1048.
- 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.
- Patton, D. & Reeves, A.D. 1999. Sterol concentrations and temporal variations on the north shore mudflats of the firth of Tay, Scotland. *Marine Pollution Bulletin* 38: 613-618.
- Peng, X., Zhang, G., Mai, B., Hu, J., Li, K. & Wang, Z. 2005. Tracing anthropogenic contamination in the Pearl River estuarine and marine environment of South China Sea using sterols and other organic molecular markers. *Marine Pollution Bulletin* 50: 856-865.
- Puglisi, E., Nicelli, M., Capri, E., Trevisan, M. & Del Re, A.M. 2003. Cholesterol,  $\beta$ -sitosterol, ergosterol and coprostanol in agricultural soils. *Journal of Environmental Quality* 32: 466-471.
- Reeves, A.D. & Patton, D. 2001. Measuring change in sterol input to estuarine sediments. *Physics and Chemistry of the Earth* 26: 753-757.
- Reeves, A.D. & Patton, D. 2005. Faecal sterols as indicators of sewage contamination in estuarine sediments of the Tay Estuary, Scotland: An extended baseline survey. *Hydrology and Earth System Sciences* 9: 81-94.
- Santos, E.S., Carreira, R. de S. & Knoppers, B.A. 2008. Sedimentary sterols as indicators of environmental conditions in Southeastern Guanabara Bay, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 56: 97-113.
- Seguel, C.G., Mudge, S.M., Salgado, C. & Toleda, M. 2001. Tracing sewage in the marine environment: Altered signatures in Concepción Bay, Chile. *Water Research* 17: 4166-4174.
- Shah, V.G., Dunstan, R.H., Geary, P.M., Coombes, P., Roberts, T.K. & Nagy-Felsobuki, E.V. 2007. Evaluating potential applications of faecal sterols in distinguishing sources of faecal contamination from mixed faecal samples. *Water Research* 41: 3691-3700.
- Volkman, J.K., Revill, A.T., Holdsworth, D.G. & Fredericks, D. 2008. Organic matter sources in an enclosed coastal inlet



- assessed using lipid biomarkers and stable isotopes. *Organic Geochemistry* 39: 689-710.
- Vonk, J.E., van Dongen, B.E. & Gustafsson, Ö. 2008. Lipid biomarker investigation of the origin and diagenetic state of sub-arctic terrestrial organic matter presently exported into the northern Bothnian Bay. *Marine Chemistry* 112: 1-10.
- Wang, R.L., Brassell, S.C., Scarpitta, S.C., Zheng, M. P., Zhang, S.sC., Hayde, P.R. & Muench, L. M. 2004. Steroids in sediments from Zabuye Salt Lake, western Tibet: diagenetic, ecological or climatic signals?. *Organic Geochemistry* 35: 157-168.
- Zhang, C., Wang, Y. & Qi, S. 2008. Identification and significance of sterols in MSW landfill leachate. *Journal of Chromatography B*. 874: 1-6.
- Zimmerman, A.R. & Canuel, E.A. 2001. Bulk organic matter and lipid biomarker composition of Chesapeake Bay surficial sediments as indicators of environmental processes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53: 319-341.
- Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor D. E  
Malaysia
- \*Pengarang untuk surat-menyurat; email: masni@ukm.my
- Diserahkan: 11 Jun 2009  
Diterima : 27 Ogos 2009