

Kepekatan Unsur Makro dan Surih dalam Otolit, Isi Ikan Siakap dan Air Laut di Sedili Kechil

Afiza Suriani Sarimin, Noorliza Zakaria &
*Che Abd Rahim Mohamed

Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor
*Pusat Penyelidikan Ekosistem Marin (EKOMAR)
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

Pengenalan

Kekurangan sumber makanan dari lautan menjadikan industri marikultur sebagai alternatif bagi menampung sumber makanan negara. Perkembangan industri marikultur dalam negara memerlukan lokasi yang baik yang melibatkan air yang tidak tercemar bagi memastikan ikan yang dipasarkan selamat untuk dimakan di samping memastikan keuntungan bagi pengusaha tempatan. Logam berat bukan sahaja menyebabkan perubahan metabolisme, biokimia, fisiologi dan histologi tetapi ia juga mengganggu sintesis protein dan asid nukleik dalam organisasi biologi (Dieuga & Penni 1989; Wilson & Taylor 1993). Oleh itu, kandungan logam berat seperti Sr, Ba, Cd, Hg dan Pb dalam isi ikan harus dipantau bagi mengelak kejadian yang tidak diingini seperti tragedi Minamata di Jepun (Issaro et al. 2009).

Ikan siakap, *Lates calcarifer* merupakan ikan komersil yang paling banyak ditenak oleh pengusaha tempatan untuk pasaran dalam dan luar negara. Johor merupakan salah satu negeri yang paling banyak mengusahakan marikultur terutama ikan siakap di perairan Selat Tebrau dan Laut China Selatan. Sangkar ikan siakap di Kg. Sedili Kechil, Kota Tinggi merupakan salah satu sangkar yang terletak di perairan Laut China Selatan. Kawasan ini merupakan lokasi yang strategik untuk penternakan ikan siakap dalam sangkar kerana airnya payau (saliniti 19.8 psu). Percampuran antara air tawar dari Sg. Sedili Kechil dan air masin dari Laut China Selatan menjadikan kawasan ini sesuai dan selamat untuk penternakan ikan.

Walaupun otolit tidak dimakan, struktur ini lebih kerap digunakan dalam kajian-kajian sebelum ini (cth. de Vries et al. 2005, Leakey et al. 2009). Kelebihan otolit digunakan dalam kajian tersebut kerana kandungan unsur dalam otolit dapat menggambarkan dengan lebih tepat kandungan unsur-unsur dwivalen seperti Ca, Mg, Sr dan Ba di dalam air

ambien berbanding struktur lain seperti isi dan hati (Gauldie et al. 1995; Milton & Chenery 2001; Tzeng & Tsai 1994). Otolit merupakan sebahagian daripada sistem pendengaran ikan teleost yang turut berkait rapat dengan sistem keseimbangan ikan. Air ambien pula berhubung secara tidak langsung dengan otolit menerusi air yang melalui insang ikan (Bath et al. 2000). Unsur-unsur yang terkandung dalam air yang melalui insang akan terenal pada otolit setelah melalui 3 interfasa iaitu pengambilan melalui '*brachial*', pengangkutan selular dan juga kristalisasi (Campana 1999). Dengan itu, otolit merupakan struktur yang sesuai untuk mengesan migrasi ikan melalui perbezaan saliniti air ambien kerana perbezaan kandungan Sr dan Ba yang nyata dalam air laut dan air tawar (Elsdon & Gillanders 2004; Secor & Rooker 2000). Unsur-unsur ini akan terenal pada gelang otolit secara harian dan kekal sehingga ikan tersebut mati (Campana & Neilson 1985; Miller et al. 2006).

Kajian ini dijalankan dengan sasaran untuk membandingkan kepekatan unsur makro dan surih iaitu Sr, Mg, Ba, Ca, Pb dan Cd dalam air ambien, otolit dan isi ikan siakap serta untuk melihat perkaitan antara otolit, isi ikan dan air ambien. Sejajar dengan laporan yang telah dibuat oleh Milton dan Chenery (2001) bahawa isi ikan lebih dipengaruhi oleh pemakanan ikan berbanding dengan air ambien dan lebih-lebih lagi, ikan siakap di sangkar Kg. Sedili Kechil diberi makanan dalam bentuk ikan baja dan pelet. Dengan itu, kajian ini juga dijalankan untuk melihat kandungan logam berat iaitu Pb dan Cd di dalam isi ikan bagi memastikan kepekataannya di bawah tahap yang dibenarkan dan ikan adalah selamat dimakan.

Bahan dan Kaedah

Sebanyak 6 ekor ikan siakap diambil dari sangkar ikan di muara Sungai Sedili Kecil, Sedili, Kota Tinggi pada tahun 2008 (Rajah 1). Kawasan ini merupakan kawasan yang jauh dari perindustrian. Ikan-ikan siakap yang ditangkap diukur saiznya, ditimbang dan disimpan di dalam peti sejuk sebelum dibedah di makmal. Sebanyak 3 replikat bagi 5 g sampel isi ikan yang dipotong di atas garis lateral ikan siakap. Isi-isi ikan tersebut dihadam dengan menggunakan campuran asid pekat HNO_3 , HCl dan HClO_4 pada nisbah 10:5:1 di dalam bikar yang bertutup yang dipanaskan di atas plat pemanas selama 2 hingga 3 jam. Larutan sampel isi ikan kemudiannya dikeringkan sehingga mencapai isipadu 5 mL dan disejukkan pada suhu bilik. Seterusnya, 10 mL air-nyah ion ditambah ke dalam bikar yang mengandungi larutan sampel dan dituras. Selepas proses penurasan sampel dikeringkan, disejukkan dan ditambah dengan 20 mL 0.5 M HCl . Larutan sampel dimasukkan ke dalam botol dan ditimbang sebelum diukur dengan menggunakan Spektrometer Jisim – Plasma Berpasangan Terinduksi (ICP-MS).

Kepala ikan dipotong secara vertikal selari dengan garis pada '*preopercle*' sehingga menampakkan otolit. Otolit sagitta dikeluarkan dengan forsep dan dibasuh dengan air nyah-ion seterusnya dikeringkan pada suhu bilik. Hanya otolit sagitta kanan sahaja digunakan untuk analisis kimia. Otolit ditimbang dan dihadam dengan 10 mL HNO_3 dikeringkan dan kemudian ditambah dengan 10 mL 0.5 M HNO_3 . Seterusnya, kepekatan unsur surih dalam kesemua larutan sampel otolit dan isi ikan diukur dengan ICP-MS.

KEPEKATAN UNSUR MAKRO DAN SURIH DALAM OTOLIT, ISI IKAN SIAKAP DAN AIR LAUT DI SEDILI KECIL



RAJAH 1: Lokasi Persampelan Ikan Siakap di Kg. Sedili Kecil, Kota Tinggi, Johor

Bagi penyediaan sampel air ambien, sebanyak 3 replikat 250 mL air laut ditambahkan dengan 5 mL *Ammonium Pyrrolidinedithiocarbamate* (ADPC) 1% dan digoncang selama 1 minit dalam corong pemisah. Kemudian, ditambahkan pula dengan 6.5 mL *methyl isobutyl ketone* (MIBK) dan digoncang lagi selama 1 minit. Lapisan atas yang terbentuk dikumpul ke dalam bikar, manakala lapisan bawah pula ditambahkan dengan APDC 1% dan MIBK dan diulang seperti langkah sebelumnya. Sekali lagi lapisan atas dikumpul, digabung dan ditambah dengan 20 mL 0.5 M HNO_3 . Kepekatan unsur surih dalam sampel air diukur dengan menggunakan Spektrometer Serapan Atom (AAS).

Keputusan dan Perbincangan

Elemen dalam Air Ambien dan Otolit

Kepekatan unsur-unsur Ba, Pb dan Cd dalam air ambien adalah jauh lebih rendah dari paras yang ditetapkan oleh INQWS untuk kelas II (Jadual 2). Kandungan Pb dan Cd dalam air ambien di Sedili Kecil juga jauh lebih rendah berbanding kajian-kajian lain (Demirak et al 2006; Rahimah et al. 2008; Vincente-Martorell et al. 2009). Secara keseluruhannya, kepekatan semua unsur yang dikaji dalam otolit adalah lebih tinggi daripada air ambien (Jadual 1, Rajah 2). Ini menunjukkan pengambilan Sr, Mg, Ba, Ca, Pb dan Cd oleh ikan siakap adalah tinggi kerana pengambilan unsur-unsur tersebut bermula sejak benih ikan menetas sehingga persampelan dilakukan. Pengenapan unsur-unsur tersebut berlaku pada setiap hari kerana gegelang otolit terjadi secara harian dan

tidak akan terjejas ataupun berubah sekiranya ikan kelaparan (Campana 2001). Kandungan Ca yang tinggi dalam otolit ikan siakap iaitu dalam julat 0.86 hingga 1.3×10^2 g/kg (Rajah 2a) kerana Ca merupakan unsur semula jadi dalam struktur CaCO_3 otolit (Borelli et al. 2001).

Unsur-unsur dwivalen iaitu Sr, Ba dan Mg yang terenalap pada otolit berkemungkinan besar adalah disebabkan oleh kelimpahan unsur-unsur tersebut dalam air ambien (Rajah 2; Jadual 1). Lazimnya, kandungan Sr lebih tinggi berbanding Ba didalam air payau berbanding air tawar (Hamer et al. 2006). Dalam kajian ini, kandungan Sr dalam air ambien dianggarkan berdasarkan kepekatan piawai air laut pada saliniti 35.17 psu (Pilson 1998). Saiz atomik radius unsur yang hampir serupa dengan Ca menyebabkan sistem '*endolymph*' ikan siakap mengambil elemen-elemen ini untuk dienalap pada otolit. Walaupun kandungan Sr lebih tinggi berbanding Mg dalam otolit tetapi kandungan Sr dalam air ambien adalah lebih rendah dari Mg (Rajah 2b,c). Keadaan ini berlaku kerana saiz atomik radius Sr, $0.065 \text{ \AA}$ lebih menyerupai Ca, $0.099 \text{ \AA}$ berbanding Mg, $0.065 \text{ \AA}$ (Gauldie et al. 1995). Dengan itu, menyebabkan Sr^{2+} lebih banyak terenalap pada otolit (Jadual 1).

Walaupun Ba sangat rendah dalam air laut, tetapi Ba^{2+} tetap terenalap juga dalam otolit kerana keserupaan atomik radiusnya dengan Ca^{2+} (Afiza Suriani 2006). Kehadiran Ba adalah disebabkan faktor air tawar, sedangkan kehadiran Mg dan Sr dipengaruhi oleh air laut yang bercampur di kawasan kajian. Kepekatan Pb dan Cd dalam otolit adalah sangat rendah tetapi ini membuktikan bahawa otolit masih boleh mengambil Pb dan Cd untuk dienalap pada otolit walaupun dalam kepekatan yang sangat kecil (Jadual 1, Rajah 2e,f).

JADUAL 1: Purata Kepekatan Unsur Surih dalam Air Laut, Isi Ikan dan Otolit

	Air Laut (n = 3)($\mu\text{g/L}$)	**Isi Ikan (n = 6)($\mu\text{g/kg}$)	Otolit (n = 6)($\mu\text{g/kg}$)
Ca	$(1.3 \pm 0.12) \times 10^4$	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^2$	$(1.06 \pm 0.18) \times 10^8$
Mg	$16.6 \pm 1.8 \times 10^2$	$(1.4 \pm 0.4) \times 10^5$	$(2.52 \pm 0.36) \times 10^4$
Ba	0.02 ± 0.01	$(3.3 \pm 0.34) \times 10^3$	$(3.18 \pm 0.73) \times 10^3$
Pb	0.17 ± 0.08	$(2.6 \pm 2.1) \times 10^2$	$(6.90 \pm 3.00) \times 10^2$
Cd	0.04 ± 0.02	$(0.6 \pm 0.2) \times 10^2$	$(0.90 \pm 0.20) \times 10^2$
Sr	$*4.47 \times 10^2$	$(5.2 \pm 2.7) \times 10^2$	$(1.44 \pm 0.32) \times 10^6$

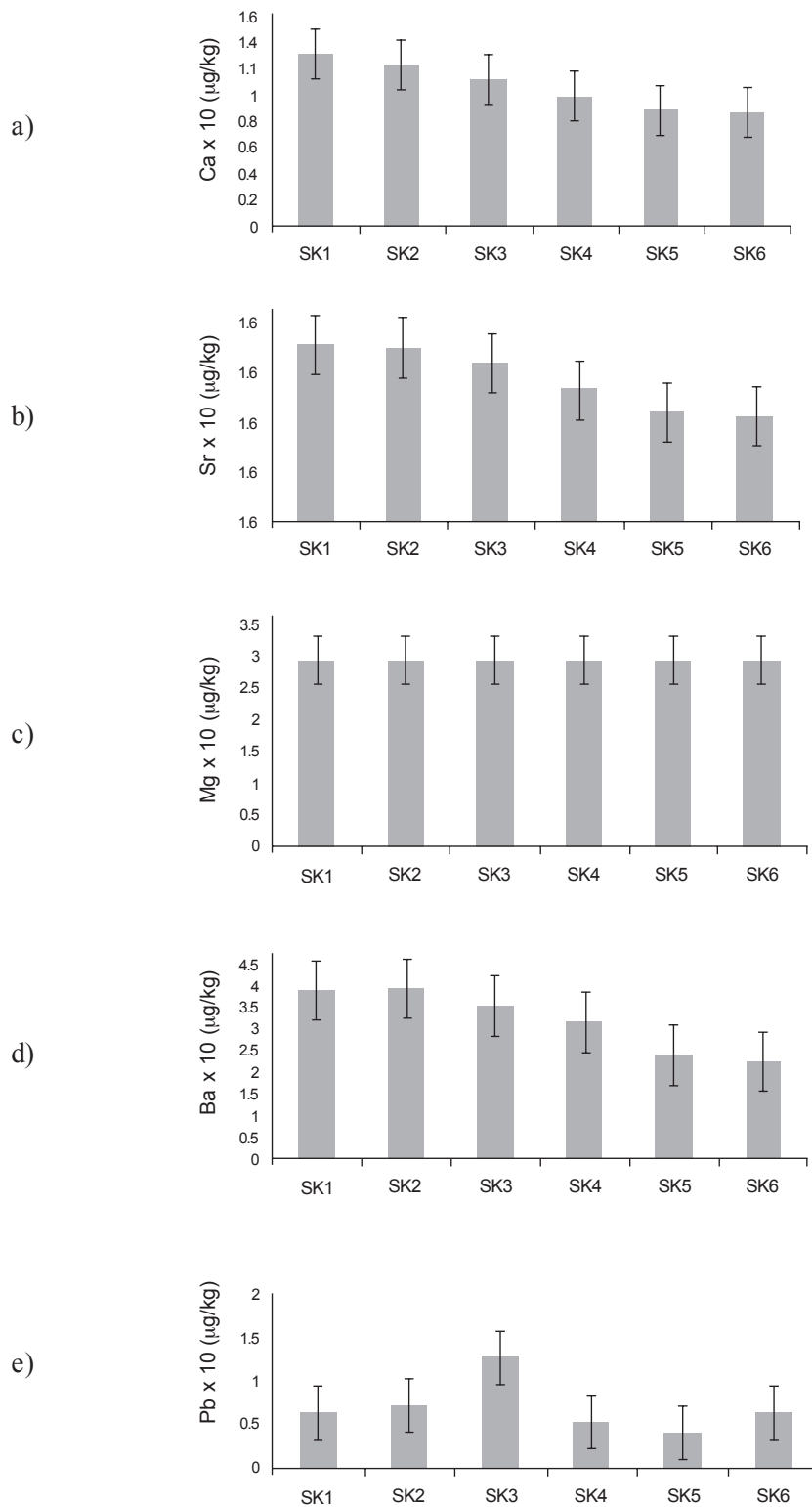
* purata kandungan Sr yang dianggarkan pada saliniti 19.8 psu yang direkod di kawasan kajian berdasarkan kepekatan Sr pada 35.17 psu (Pilson 1998).

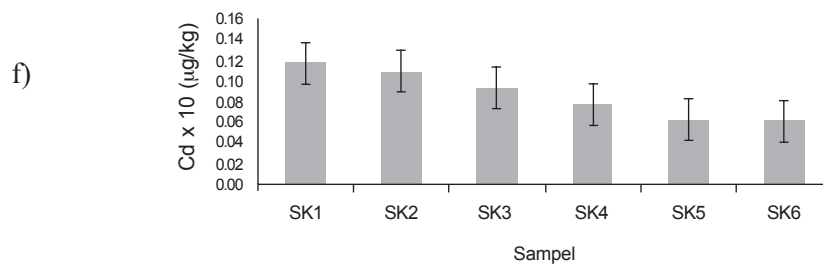
** purata kandungan dalam berat basah

Unsur dalam Air Ambien dan Isi Ikan

Isi ikan kaya dengan kandungan protein, asid amino yang seimbang dan asid lemak tidak tepu yang tinggi (Belitz et al. 2004). Struktur utama isi ikan terdiri daripada karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, sulfur diikuti oleh klorin, kalium, fosforus, natrium, magnesium dan kalsium. Unsur-unsur tersebut terlibat dalam proses biologiikal ikan tersebut (Lall 1995). Manakala, kandungan Pb dan Cd pula adalah unsur toksik (Lall

KEPEKATAN UNSUR MAKRO DAN SURIH DALAM OTOLIT, ISI IKAN SIAKAP
DAN AIR LAUT DI SEDILI KECIL





RAJAH 2: Kepekatan Ca, Sr, Mg, Ba, Pb dan Cd (n = 6) dalam Otolit Ikan Siakap

1995). Kandungan Mg, Ca dan Sr dalam isi ikan lebih tinggi berbanding dalam air ambien (Rajah 3, Jadual 1). Ini kerana Mg, Ca dan Sr merupakan unsur semula jadi dalam isi ikan dan juga sotong (Laurenco et al. 2009; Oehlenschlager 1997). Walaubagaimanapun, kandungan Ca, Sr, dan Mg dalam isi sotong adalah jauh lebih tinggi dari ikan siakap (Laurenco et al. 2009).

Kandungan Pb dan Cd didapati rendah dalam air ambien dan di bawah paras INWQS (Rajah 3e,f, Jadual 2). Merujuk juga kepada nilai rujukan piawai dan paras selamat yang dikeluarkan oleh US – EPA dan JECFA (Jadual 2), didapati kepekatan Cd dan Pb dalam isi ikan juga di bawah tahap yang dibenarkan. Ini membuktikan air ambien di dalam sangkar di kawasan kajian tidak dikontaminasi oleh unsur-unsur tersebut dan ikan siakap yang ditangkap dari sangkar Sungai Sedili Kechil adalah selamat dimakan. Walau bagaimanapun, kualiti air di kawasan sangkar harus dipertingkatkan untuk mengelak kehadiran Pb dan Cd dalam keadaan berlebihan yang berkemungkinan besar berasal dari sumber antropogenik seperti kumbahan dan seterusnya untuk memastikan ikan yang dikeluarkan sentiasa selamat dimakan.

Secara umumnya, tiada persamaan corak yang ditunjukkan antara kandungan unsur-unsur yang dikaji dalam air ambien dan isi ikan. Ini membuktikan bahawa isi ikan lebih dipengaruhi oleh pemakanannya (Farrell & Campana 1996). Jika dibandingkan, kandungan Pb dan Cd pada kajian terdahulu adalah jauh lebih rendah dan selamat berbanding sotong

JADUAL 2: Nilai Rujukan Piawai dan Paras Selamat bagi Kepekatan Ba, Pb, Cd dan Sr dalam Isi Ikan dan Air Laut

	Isi ikan µg/kg berat basah/hari	Indeks Kualiti air µg/L (INWQS)
Ba	7×10^4	1000
Pb	$*3.57 \times 10^3$	50
Cd	1×10^3	10
Sr	6×10^5	—

Sumber: U.S EPA, 2005

Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS) untuk Malaysia

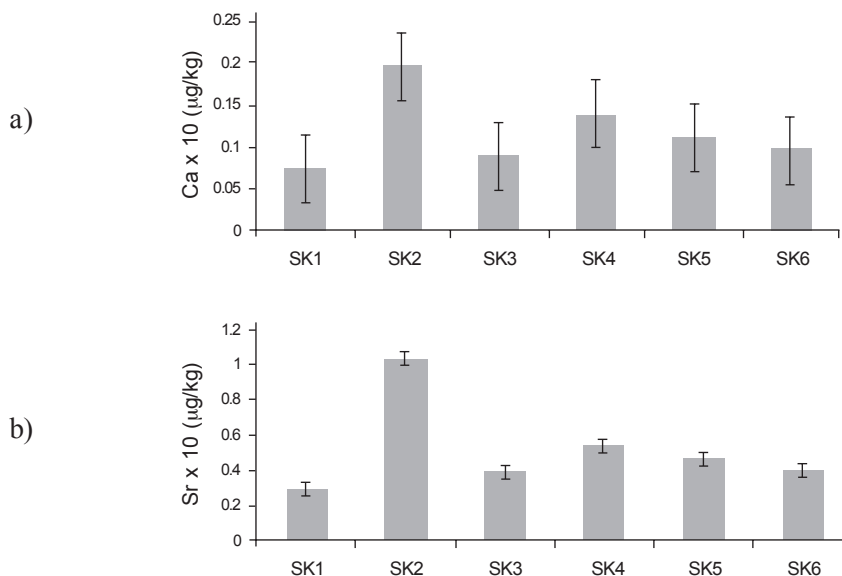
*JECFA, 2003

(Laurenco et al. 2009), ikan air tawar (Demirak et al. 2006; Garg et al. 2009), ikan laut (Uluozlu et al. 2007) dan ikan air payau (Rahimah et al. 2008).

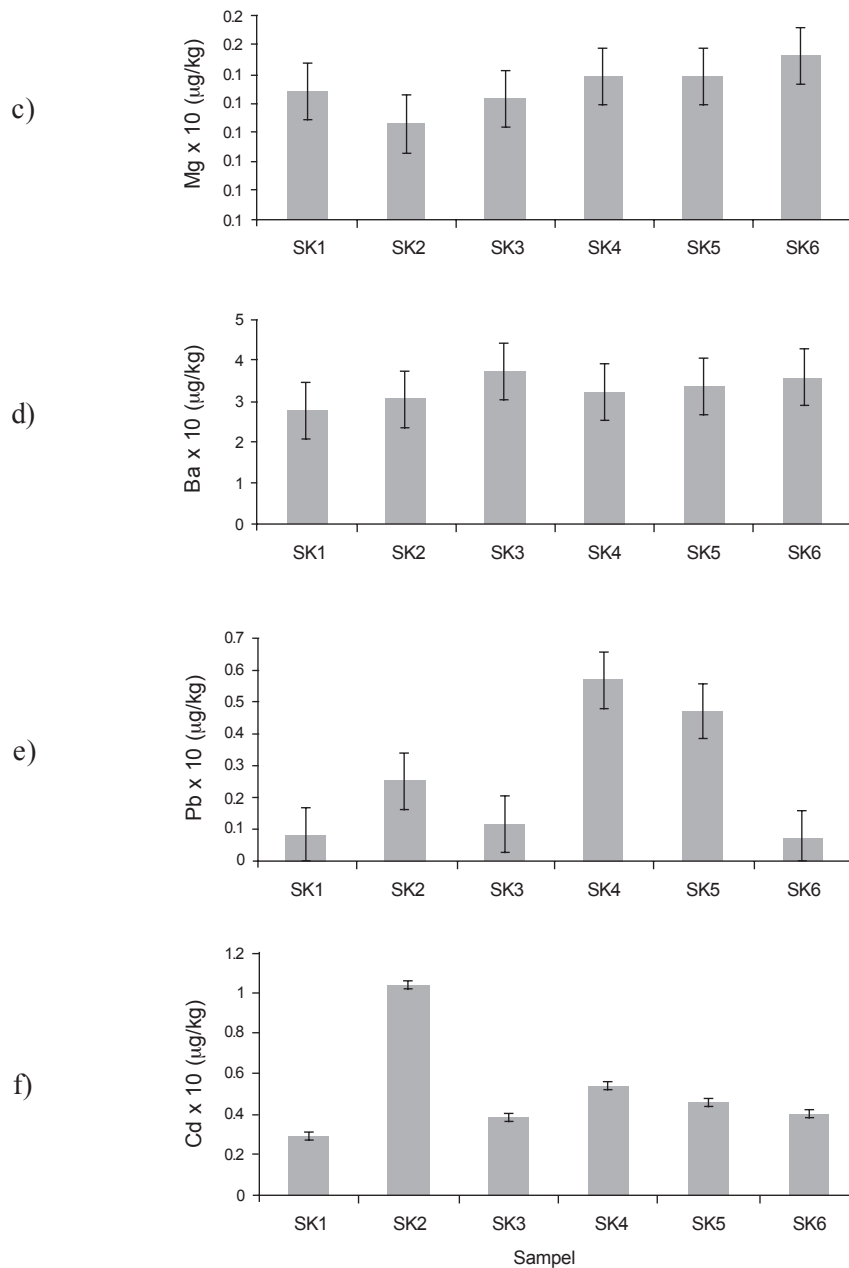
Unsur dalam Otolit, Isi Ikan dan Air Ambien

Variasi kandungan unsur-unsur yang dikaji adalah bergantung kepada metabolisme (Canli & Kalay 1998), tabiat pemakanan (Watanabe et al. 2003), umur, saiz dan panjang ikan (Al-Yousuf et al. 2000). Perbezaan antara Ca dalam otolit dan isi ikan adalah kerana strukturnya, oleh itu agak sukar untuk membandingkan kandungan unsur-unsur tersebut. Otolit adalah CaCO_3 arogonitik manakala isi ikan pula adalah protein (Lall 1995). Kehadiran Ca di dalam isi ikan mungkin dipengaruhi oleh tulang ikan. Manakala, kandungan Ca dalam air ambien pula mungkin dipengaruhi oleh sumber air laut. Ini berkemungkinan berkaitrapat dengan kandungan CaCO_3 dalam kitar karbonat dalam kulit kerang dan batu karang dalam lautan. Kandungan Pb dan Cd pula lebih kepada input antropogenik dari daratan seperti sisa buangan kilang (Garg et al. 2009).

Kandungan Sr, Ba, Cd dan Pb dalam isi ikan pula boleh membahayakan kesihatan manusia sekiranya diambil dalam jumlah yang berlebihan. Oleh sebab itu, isi ikan lebih sesuai digunakan sebagai penunjuk tahap selamat ikan siakap berbanding otolit kerana otolit tidak dimakan oleh manusia. Tambahan pula, air ambien lebih mempengaruhi otolit berbanding diet. Kandungan unsur dalam isi ikan mengikut urutan adalah $\text{Mg} > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Pb} > \text{Ca} > \text{Pb}$. Ini menunjukkan ia sangat berbeza dengan otolit iaitu $\text{Ca} > \text{Sr} > \text{Mg} > \text{Ba} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Urutan kepekatan unsur dalam air ambien pula adalah $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Sr} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Ba}$, yang mana ia lebih menyerupai corak yang ditunjukkan oleh otolit. Pengambilan $\text{Sr} > \text{Mg} > \text{Ba}$ dalam otolit ikan siakap juga menyerupai dengan ikan tembakul di pantai barat Semenanjung Malaysia (Afiza Suriani 2006). Kandungan Pb (0.012 ± 0.004 mg/kg berat basah) dan Cd (0.23 ± 0.25 mg/kg berat basah) ikan siakap juga adalah jauh lebih rendah dari sotong (Laurenco et al. 2009) dan ikan di



PENYELIDIKAN PANTAI TIMUR JOHOR: MERSING WARISAN TERPELIHARA



RAJAH 3: Kepekatan Ca, Sr, Mg, Ba, Pb dan Cd (n = 6) dalam Isi Ikan Siakap

Larut Matang (Rahimah et al. 2008). Walau bagaimanapun, kandungan unsur-unsur yang dikaji dalam air ambien relevan untuk dikaji untuk menentukan pengaruh air laut pada ikan siakap.

Kesimpulan

Unsur Sr, Mg, Ba, Ca, Pb dan Cd dalam air ambien lebih berkait rapat dengan otolith berbanding dengan isi ikan. Isi ikan mungkin lebih dipengaruhi oleh pemakanan berbanding dengan air ambien. Kepekatan Ba, Pb dan Cd dalam air ambien juga adalah selamat kerana berada di bawah paras INQWS. Perbezaan antara otolith dan isi ikan juga disebabkan oleh struktur yang berbeza yang mana isi adalah organik manakala otolith pula inorganik. Merujuk kepada nilai piawai rujukan dan tahap selamat yang dikeluarkan oleh U.S EPA (2005) dan JECFA (2003), kandungan Sr, Ba, Pb dan Cd dalam isi ikan didapati di bawah tahap yang dibenarkan. Dengan itu, ikan siakap di kawasan kajian adalah selamat dimakan. Untuk taburan unsur-unsur dalam otolith adalah $\text{Ca} > \text{Sr} > \text{Mg} > \text{Ba} > \text{Pb} > \text{Cd}$ manakala bagi isi ikan adalah $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Secara keseluruhannya, ia boleh disimpulkan bahawa kandungan unsur-unsur yang diukur dalam air ambien merupakan latarbelakang kepada kajian di antara otolith dan isi ikan.

Penghargaan

Kami mengucapkan ribuan terima kasih kepada UKM, semua pelajar dan kakitangan EKOMAR yang banyak membantu dalam memperoleh sampel dan analisis sampel.

Rujukan

- Afiza Suriani S. 2006. Variability of Ca, Sr, Ba and Mg in otolith of giant mudskipper, *Periophthalmodon schlosseri*. Thesis M. Sc. Universiti Kebangsaan Malaysia. Unpublished.
- Al-Yousuf, M.H., El-Shahawi, M. S. & Al-Ghais, S. M. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *Sci. Tot. Environ.* **256**: 87.
- Bath, G. E., Thorrold, S. R., Jones, C. M., Campana, S. E., McLaren, J. W. & Lam, J. W. H. 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim. Cosmochim. Acta* **64**: 1705-1714.
- Belitz, H. D., Grosch, W. & Schieberle, P. 2004. Food chemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Borelli, G., Mayer-Gostan, N., De Pontual, H., Boeuf, G. & Payan, P. 2001. Biochemical relationship between endolymph and otolith matrix in the trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Turbot (*Psetta maxima*). *Calcif. Tissue Int.* **69**: 356-364.
- Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **188**: 263-297.
- Campana, S.E. & Neilson, J.D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish Aqua. Sci.* **42**: 1014-1032.
- Canli, M. & Kalay, M. 1998. Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondostoma regium* from Seythan River, Turkey. *Turk. J. Zool.* **22**: 149-157.
- de Vries, M. C., Gillanders B. M. & Elsdon T. S. 2005. Facilitation of barium uptake into fish otoliths: influence of strontium concentration and salinity. *Geochim. Cosmochim. Acta* **69**: 4061-4072.

- Demirak, A., Yilmaz, F., Levent Tuna A. & Ozdemir, N. 2006. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere* **63**: 1451-1458.
- Dieuga, G. & Penni, K. 1989. Biological chemistry, 512p. Mir, Moscow.
- Elsdon, T.S. & Gillanders, B.M. 2004. Fish otolith chemistry influenced by exposure to multiple environmental variables. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **313**: 269-284.
- Farrell, J. & Campana, S. E. 1996. Regulation of calcium and strontium deposition on the otoliths of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Comp. Biochem. Physiol.* **115A** (2): 103-109.
- Garg, S. Gupta, R. K. & Jain, K. L. 2009. J. Sublethal effects of heavy metals on biochemical composition and their recovery in Indian major carps. *Hazardous Mats.* **163**: 1369-1384.
- Gauldie, R. W., West, I.F. & Coote, G.E. 1995. Evaluating otolith age estimates for *Holothertus atlanticus* by comparing patterns of checks, cycle in microincrement width, and cycles in strontium and calcium composition. *Bull. Mar. Sci.* **56**: 76-102.
- Hamer, P. A., Jenkins, G. P. & Coutin, P. 2006. Barium variation in *Pagrus auratus* (Sparidae) otoliths: A potential indicator of migration between an embayment and ocean waters in south-eastern Australia. *Estuar. Coast. Shelf S.* **68**(3-4): 686-702.
- Issaro, N., Abi Ghanem, C. & Bermond, A. 2009. Fractionation studies of mercury in soils and sediments : A review of the chemical reagents used for mercury extraction. *Anal. Chim. Acta* **631**: 1-12.
- JECFA, 2003. Summary and conclusions of the 61st meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). JECFA/61/SC. Rome, Italy.
- Lall, S. P. 1995. Macro and trace elements in fish and shellfish. In A. Ruiter (Ed), Fish and fishery product. Composition, nutritive properties and stability 187-213p. Wallingford: Cab International.
- Laurenco, H. M., Anacleto, P., Afonsi, C., Martins, M.F., Carvalho, M. L. & Lino, A. R. 2009. Elemental composition of cephalopods from Portugese continental waters. *Food chem.* **113**(4): 1146-1153.
- Leakey, C. D.B., Attrill, M. J. & Fitzsimons, M. F. 2009. Multi-element otolith chemistry of juvenile sole (*Solea solea*), whiting (*Merlangius merlangus*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) in the Thames Estuary and adjacent coastal regions. *J. Sea Res.* (In Press).
- Miller, B. M., Clough, A. M., Batson, J. H. & Vachet, R. W. 2006. Transition metal binding to cod otolith proteins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **329**: 135-143.
- Milton, D. A. & Chenery, S. R. 2001. Sources and uptakes of trace metals in otoliths of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **264**: 47-65.
- Oehlenschlager, J. 1997. Marine fish – A source for essential elements? In J. B. Luten, T. Borresen, dan Oehlenschlager (Eds.) Seafood from producer to consumer **38**: 641-652. Amsterdam: Elsevier.
- Pilson, M. E. Q. 1998. *An Introduction to the Chemistry of the Sea*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Rahimah, A., Mohd Jamil, M. & Wang, C. W. 2008. Heavy metal studies in water, fish, cockles and prawns tissues obtained from Matang Mangrove Forest, Perak. Symposium Kimia Analisis Malaysia Ke-21, Kota Kinabalu Sabah.
- Secor, D. H. & Rooker, J. R. 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fish. Res.* **46**: 359-371.
- Tzeng, W. N. & Tsai, Y. C. 1994. Changes in otolith microchemistry of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, during its migration from the ocean to the river of Taiwan. *J. Fish. Biol.* **45**: 671-1683.

KEPEKATAN UNSUR MAKRO DAN SURIH DALAM OTOLIT, ISI IKAN SIAKAP
DAN AIR LAUT DI SEDILI KECIL

- Uluozlu, D. O., Tuzen, M., Mendil, D. & Soylak, M. 2007. Trace metal content in nine species of fish from the Black Sea and Aegean Seas, Turkey. *Food Chem.* **104**: 835-840.
- U. S. EPA, 1999. Agensi Pelindungan Alam Sekitar Amerika Syarikat. National Recommended Water Quality Criteria Correction Office of Water, EPA 822-Z-99-001, 25 p.
- U.S. EPA, 2005. Agensi Pelindungan Alam Sekitar Amerika Syarikat. Risk-Based Concentration Table, April, 2005. U.S. EPA, Region 3, Philadelphia, PA. <<http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm>>.
- Vicente-Martorell, J. J., Galindo-Riano, M., Garcis-Vargas, M. & Granado-Castro, M. D. 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. *J. Hazards. Mats.* **162**: 823-836.
- Watanabe, K. H., Desimone, F. W., Thigarajayah, A., Hrtley, W.R. & Hildrich, A. E. 2003. Fish tissue quality in the lowr Mississippi River and health risks from fish consumption. *Sci. Total. Environ.* **302** (1-3): 109-126.
- Wilson, R. W. & Taylor, E. W. 1993. The physiological responses of fresh water rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*, during acutely lethal copper exposure. *J. Comp. Physiol.* **163B**: 38-47.