

APLIKASI TEKNIK AAN DI REAKTOR RSG-GAS PADA PENENTUAN UNSUR ESENSIAL DAN TOKSIK DI DALAM IKAN DAN PAKAN IKAN

Saeful Yusuf
Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15340
Email: saeful@batan.go.id

Diterima editor 15 Januari 2014
Disetujui untuk publikasi 27 Februari 2014

ABSTRAK

APLIKASI TEKNIK AAN DI REAKTOR RSG-GAS PADA PENENTUAN UNSUR ESENSIAL DAN TOKSIK DI DALAM IKAN DAN PAKAN IKAN. Pada makalah ini diuraikan tentang aplikasi teknik AAN (Analisis Aktivasi Neutron) dalam penentuan konsentrasi unsur-unsur esensial dan cemaran yang terkandung di dalam beberapa spesies ikan dan pakan ikan. Unsur-unsur esensial yang terkandung dalam pakan ikan buatan juga dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap ikan. Penentuan unsur menggunakan teknik AAN dengan metode perbandingan dan metode k₀-AAN. Sampel diiradiasi di reaktor RSG-GAS yang memiliki fluks neutron thermal $5 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ pada daya 15 MW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 12 unsur di dalam 11 spesies ikan air laut dan air tawar telah ditentukan yaitu As, Br, Cr, Co, Cs, Fe, Hg, K, Na, Rb, Se and Zn. Konsentrasi cemaran As didalam ikan laut sudah melampaui batas maksimum 1 mg/kg, sedangkan konsentrasi cemaran Hg masih dibawah batas maksimum 0,5 mg/kg, baik untuk ikan laut maupun ikan air tawar. Unsur K dan Na merupakan unsur makroesensial sedangkan unsur Cr, Co, Fe, Se and Zn adalah termasuk unsur mikroesensial. Secara umum ditunjukkan bahwa kandungan mineral didalam ikan laut lebih tinggi konsentrasinya dibandingkan ikan air tawar. Br, Cs dan Rb merupakan unsur-unsur non esensial yang teridentifikasi dalam semua ikan yang dianalisis. Penelitian terhadap pakan ikan air tawar menunjukkan bahwa semua unsur yang teridentifikasi juga terdapat di dalam ikan laut dan ikan air tawar. Hal ini menunjukkan bahwa pakan ikan berkontribusi terhadap konsentrasi unsur di dalam ikan air tawar.

Kata kunci : Analisis aktivasi neutron, unsur esensial, unsur cemaran, ikan, pakan ikan

ABSTRACT

APPLICATIONS OF NAA TECHNIQUE AT RSG-GAS REACTOR ON DETERMINATION OF ESSENTIAL AND TOXIC ELEMENTS IN FISH AND FISH FEED. This paper reported on the application of NAA (Neutron Activation Analysis) Technique in the determination of the concentration of the essential and toxic elements in some species of fish and fish feed. Determination of elements using instrumental NAA technique with comparison and k₀-INAA methods. Samples were irradiated in the RSG-GAS which has a thermal neutron flux $\sim 5E +13 \text{ ncm}^{-2}.\text{s}^{-1}$. The results showed that as many as 12 elements in 11 species of fish in the sea water and fresh water has been determined that As, Br, Cr, Co, Cs, Fe, Hg, K, Na, Rb, Se and Zn. For toxic elements, As concentrations in marine fish has exceeded the maximum limit of 1 mg / kg, Hg concentrations were still below the maximum limit of 0.5 mg / kg, both for marine fish and fresh water fish. K and Na elements is the macro esensial element while Cr, Co, Fe, Se and Zn elements are micro esensial elements. The concentration of minerals in marine fish higher concentration than fresh water fish. Br, Cs, and Rb are non-essential elements were identified in all analyze fish. The results also showed that all of the elements identified in the fish feed contained in fish. This suggests that fish feed contributes to the concentration of elements in freshwater fish.

Keywords : Neutron activation analysis, essential element, toxic element, fish, fish feed

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang sangat luas dan memiliki potensi sumber daya perikanan sangat besar, baik ikan hasil tangkapan laut maupun budi daya ikan di darat. Namun demikian konsumsi ikan per kapita Indonesia masih lebih rendah apabila dibandingkan dengan Negara tetangga seperti Malaysia dan Singapura. Pada tahun 2010 konsumsi ikan di Indonesia baru mencapai 30,47 kg/kapita sedangkan Malaysia dan Singapura konsumsi ikan pertahunnya masing-masing mencapai 55,4 kg/kapita dan 37,9 kg/kapita [1]

Ikan sangat bermanfaat bagi tubuh manusia karena merupakan sumber protein sebagai salah satu nutrisi yang sangat diperlukan oleh tubuh terutama untuk perkembangan sel dan menjaga kekebalan tubuh. Selain itu ikan juga mengandung berbagai zat yang sangat bermanfaat bagi kesehatan. Zat gizi yang terdapat pada ikan segar antara lain omega 3, asam amino taurin, Vit A, Vit D, Vit B6, Vit B12 dan berbagai mineral yang dibutuhkan oleh tubuh[2]

Tubuh manusia membutuhkan unsur dalam jumlah makro seperti Ca, P, K, S, Na, Cl dan Mg maupun mikro seperti Fe, I, Cu, Zn, Mn, Se, Cr dan Co. Unsur-unsur atau juga sering disebut mineral, yang diperlukan dalam proses fisiologis untuk membantu kerja enzim atau pembentukan organ disebut mineral esensial [3,4]. Namun demikian ada beberapa unsur di dalam tubuh dalam jumlah kecil yang fungsinya belum diketahui yang disebut unsur non esensial.

Konsentrasi unsur esensial di dalam tubuh ikan dipengaruhi oleh makanan ikan yang tersedia, lingkungan air dan sedimen tempat ikan tersebut hidup. Konsentrasi unsur esensial dari berbagai macam ikan terutama di Indonesia belum banyak dipublikasikan. Pemetaan konsentrasi gizi terutama unsur esensial dari berbagai ikan, baik ikan yang berasal dari laut maupun ikan air tawar hasil budidaya perlu dilakukan karena sangat bermanfaat bagi rencana pemenuhan asupan gizi makanan sehari-hari. Selain mengandung unsur esensial yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh, di dalam ikan kemungkinan terdapat pula unsur yang digolongkan sebagai logam berat antara lain arsen (As), cadmium (Cd), merkuri (Hg), timah (Sn) dan timbal (Pb). Logam berat adalah unsur kimiawi metalik dan metaloida yang memiliki bobot atom dan bobot jenis yang tinggi, yang dapat bersifat racun bagi makhluk hidup^[5]. Keadaan ini umumnya disebabkan karena perairan telah tercemar oleh logam berat baik yang berasal dari kegiatan manusia maupun dari sumber alam dimana ikan tersebut hidup. Karena adanya konsentrasi logam berat di dalam ikan sangat berbahaya maka kegiatan monitoring untuk memantau kualitas ikan perlu dilakukan secara berkala sehingga dampak negatif logam toksik terhadap kesehatan manusia yang mengkonsumsi ikan dapat diminimalisir.

Untuk menentukan konsentrasi unsur esensial dan unsur toksik atau cemaran di dalam pangan seperti ikan diperlukan teknik analisis yang sangat sensitif karena konsentrasi unsur-unsur tersebut relatif kecil yaitu dalam orde satu per sejuta (mg/kg) bahkan kurang. Teknik yang mempunyai sensitifitas dan akurasi yang sangat baik diantaranya adalah *Inductively Couple Mass Spectrometry* (ICM-MS) dan analisis aktivasi neutron (AAN). Ruiz-de-Cenzano dkk., telah menentukan profil mineral yang terdapat di dalam ikan fanga dari Vietnam menggunakan teknik ICP-MS [6]. Teknik AAN telah digunakan pada penentuan unsur-unsur di dalam beberapa sampel yang berbeda antara lain: 3 jenis ikan tawar dan 3 jenis ikan laut[7], produk pangan tempe[8], bahan biologi [9], rambut[10] dan bahan makanan[11].

Pada makalah ini akan diuraikan tentang aplikasi teknik nuklir AAN dalam penentuan konsentrasi unsur-unsur esensial dan cemaran yang terkandung di dalam 6 jenis ikan laut dan 6 jenis ikan air tawar pada lokasi sampling yang berbeda dibandingkan penelitian sebelumnya[7]. Selain itu unsur-unsur yang terkandung dalam pakan ikan buatan juga dianalisis untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap ikan air tawar. Dengan mengetahui konsentrasi unsur-unsur esensial di dalam berbagai macam ikan, diharapkan dapat bermanfaat dalam merencanakan asupan gizi tubuh sehari-hari. Sedangkan pengetahuan tentang konsentrasi unsur cemaran yang berupa logam berat di dalam ikan menjadi indikator dalam monitoring keselamatan pangan. Penentuan unsur esensial di

dalam tubuh dan pakan ikan menggunakan teknik AANI (Analisis Aktivasi Neutron Instrumental) dengan metode perbandingan dan metode k0-AANI. Secara sederhana dapat dijelaskan bahwa metode k0-AANI adalah metode analisis unsur AAN instrumental yang tidak memerlukan bahan standar sebagai pembanding. Pada metode ini diperlukan beberapa parameter pencacahan dan parameter reaktor seperti fluks neutron, faktor f (rasio fluks neutron termal terhadap epitermal) dan alpha. Parameter-parameter tersebut sifatnya tetap selama tidak ada perubahan sistem pencacahan dan kondisi reaktor.

METODA PERCOBAAN

Sampling

Ikan laut yang dijadikan sampel berasal dari hasil tangkapan nelayan dan diperoleh dari tempat pelelangan ikan di Tanjung Pasir Tangerang. Sedangkan ikan air tawar diperoleh dari pasar Serpong yang berasal dari budidaya ikan tawar di daerah Sukabumi Jawa Barat. Sampling dilakukan pada bulan Juli 2013.

Preparasi Sampel

Sampel ikan dipotong-potong bagian dagingnya, dibersihkan dengan air bebas mineral dan digiling dengan blender yang memiliki mata pisau terbuat dari titanium. Sampel ikan yang telah halus ditimbang lalu dikeringkan dengan metode pengeringan beku menggunakan *alat freeze dryer* dari Snijder Scientific pada temperatur sekitar -60°C selama 72 jam. Sampel ikan yang telah kering ditimbang kembali untuk mengetahui kadar airnya, selanjutnya ditumbuk sampai halus menggunakan agate mortar sehingga diperoleh sampel bubuk yang homogen. Kadar air ditentukan secara gravimetri. Sebanyak 50-100 mg sampel ikan yang telah halus ditimbang dan dimasukkan ke dalam *vial polietilene*, ditutup dan direkat menggunakan batang gelas panas. Seperti sampel ikan, sebanyak 50 mg SRM 1566b Oyster Tissue dan bahan standar ditimbang dan dimasukkan ke dalam vial polietilen, Sebelum diiradiasi, *vial polietilen* yang berisi sampel, standar, bahan control (*standard reference material* SRM 1566b Oyster Tissue) dan pemantau fluks neutron dimasukkan ke dalam kapsul rabbit dan sedemikian hingga tersusun dalam layer yang sama.

Irradiasi

Sampel ikan, bahan kontrol SRM 1566b Oyster Tissue dan pemantau fluks diaktivasi pada fasilitas iradiasi system Rabbit reaktor RSG-GAS yang memiliki fluks neutron termal sekitar $5 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ pada daya 15 MW. Paduan Al-0,1% Au dari IRMM digunakan sebagai pemantau fluks. Lama iradiasi (Ti) adalah 15 menit dan 3 jam, disesuaikan dengan umur paruh dari unsur yang akan dianalisis.

Pencacahan

Sampel dan standar yang telah diaktivasi, diluruhkan terlebih dahulu masing-masing selama (Td) 2 hari dan 7 hari sebelum dicacah selama (Tc) 2000 detik dan 7200 s. Pada Tabel-1 ditunjukkan skema waktu iradiasi, waktu peluruhan dan waktu pencacahan untuk masing-masing unsur. Pencacahan dilakukan dengan spektrometri sinar gamma Canberra dengan detektor HPGe yang memiliki efisiensi 25% dan resolusi 1,8 keV pada energi 1173,24 keV. Hasil pencacahan dianalisis menggunakan perangkat lunak Genie 2000 dari Canberra. Konsentrasi unsur di dalam ikan dihitung dengan metode perbandingan seperti yang dilakukan oleh Saeful dkk[12] dan metode k0-AANI menggunakan perangkat lunak Hyperlab dan k0-AANI IAEA[13].

Tabel 1. Skema waktu iradiasi, peluruhan dan pencacahan untuk masing-masing unsur

Waktu iradiasi (T _i)	Waktu peluruhan (T _d)	Waktu cacah (T _c)	Elemen	Fluks neutron
15 menit	2 hari	2000 s	Na, K, As, Br	~5 x 10 ¹³ n.cm ⁻² .s ⁻¹
3 jam	7 hari	7200 s	Cr, Co, Cs, Fe, Hg, Rb, Se, Zn	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengontrol hasil pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini nilainya valid, maka dilakukan uji statistik terhadap hasil SRM 1566b Oyster Tissue dari NIST. Uji statistik yang digunakan adalah bias relatif, rasio dan skor U_{test}. Perhitungan statistik yang digunakan ditunjukkan pada persamaan (1), (2) dan (3)[12]. Pada Tabel 2 ditunjukkan skor U_{test} dan statusnya.

$$\text{Bias relatif} = \frac{\text{nilai}_{\text{hasil}} - \text{nilai}_{\text{sertifikat}}}{\text{nilai}_{\text{sertifikat}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Rasio} = \frac{\text{nilai}_{\text{hasil}}}{\text{nilai}_{\text{sertifikat}}} \quad (2)$$

$$U_{\text{test}} = \frac{|\text{nilai}_{\text{sertifikat}} - \text{nilai}_{\text{hasil}}|}{\sqrt{\text{unc}_{\text{sertifikat}}^2 + \text{unc}_{\text{hasil}}^2}} \quad (3)$$

Tabel 2. Skor U_{test} dan statusnya[12]

No	Skor U _{test}	Status hasil terhadap sertifikat
1	U < 1,64	Hasil yang dilaporkan tidak beda nyata dari nilai sertifikat
2	1,95 > U > 1,64	Hasil yang dilaporkan kemungkinan tidak beda nyata dengan nilai sertifikat
3	2,58 > U > 1,95	Tidak jelas beda nyata antara hasil yang dilaporkan dengan nilai sertifikat
4	3,29 > U > 2,58	Hasil yang dilaporkan kemungkinan beda nyata dari nilai sertifikat
5	U > 3,29	Hasil yang dilaporkan beda nyata dari nilai sertifikat

Tabel 3. Hasil uji statistik SRM 1566b Oyster Tissue

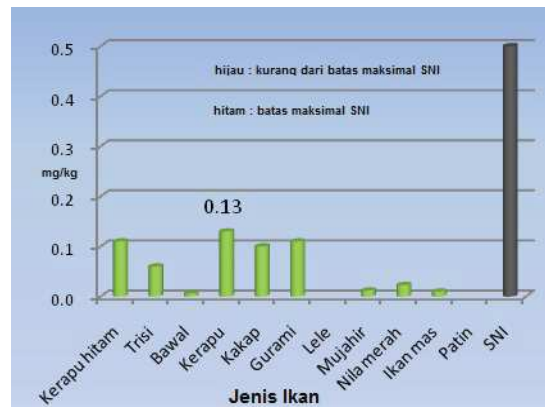
No	Unsur	Nilai SRM [mg/kg]	Hasil Pengukuran [mg/kg]	Bias relatif [%]	Rasio	Skor U _{test}
1	As	7,65 ± 0,65	7,18 ± 0,53	-6,1	0,94	0,56
2	Co	0,371 ± 0,009	0,367 ± 0,015	-1,	0,99	0,23
3	Fe	205,8 ± 6,8	218,1 ± 9,7	6,0	1,06	1,04
4	Hg	0,0371 ± 0,0013	0,039 ± 0,001	5,1	1,05	1,16
5	K	6520 ± 90	6222 ± 382	-4,6	0,95	0,76
6	Rb	3,262 ± 0,145	3,420 ± 0,260	4,8	1,05	0,53
7	Se	2,06 ± 0,15	2,14 ± 0,11	3,9	1,04	0,43
8	Zn	1424 ± 46	1465 ± 70	2,9	1,03	0,49

Pada Tabel 3 ditunjukkan hasil uji statistik SRM 1566b Oyster Tissue yang meliputi perhitungan bias relatif, rasio dan skor U_{test}. Bias relatif untuk 8 buah unsur yang dianalisis yaitu As, Co, Fe, Hg, K, Rb, Se dan Zn nilainya berkisar antara -6,1 % sampai dengan 6%, makin kecil nilai bias relatif (mendekati nol) maka makin dekat pula nilai hasil pengukuran terhadap nilai sertifikat seperti hasil untuk unsur Co dengan bias relatif -1,1%. Rasio hasil terhadap sertifikat berkisar antara 0,94 sampai dengan 1,06. Hasil paling akurat apabila rasio yang diperoleh mendekati 1 dalam hal ini

unsur Co yaitu 0,99. Namun demikian hasil perhitungan statistik skor U_{test} memberikan angka yang lebih bermakna dibandingkan bias relatif maupun rasio. Tabel-3 menunjukkan bahwa skor U_{test} untuk ke 8 unsur yang dianalisis berkisar antara 0,23-1,16. Apabila hasil perhitungan statistik skor U_{test} untuk ke 8 unsur tersebut dibandingkan terhadap Tabel 2, maka skor U_{test} untuk ke delapan unsur yang diukur memiliki $U_{test} < 1,64$, artinya adalah bahwa hasil yang dilaporkan untuk unsur-unsur As, Co, Fe, Hg, K, Rb, Se dan Zn tidak beda nyata dari nilai sertifikat yang disampaikan oleh NIST untuk SRM 1566b Oyster Tissue. Nilai U_{test} yang paling kecil diperoleh oleh unsur Co yaitu $U_{test} = 0,23$. Dari ketiga uji statistik yaitu bias relatif, rasio dan U_{test} , terdapat korelasi diantara ke tiganya, sebagai contoh pada kasus unsur Co; bias relatif = -1% , rasio = 0,99 dan $U_{test} = 0,23$. Namun demikian perhitungan bias relatif dan rasio tidak selalu memberikan korelasi yang sama dengan skor U_{test} , yang telah memasukkan faktor ketidakpastian. Sebagai contoh adalah pada unsur Hg, memiliki skor U_{test} yang paling besar namun tidak berkorelasi dengan bias relatif dan rasio.



Gambar 1. Konsentrasi unsur toksik As di dalam ikan [mg/kg]



Gambar 2. Konsentrasi unsur toksik Hg di dalam ikan [mg/kg]

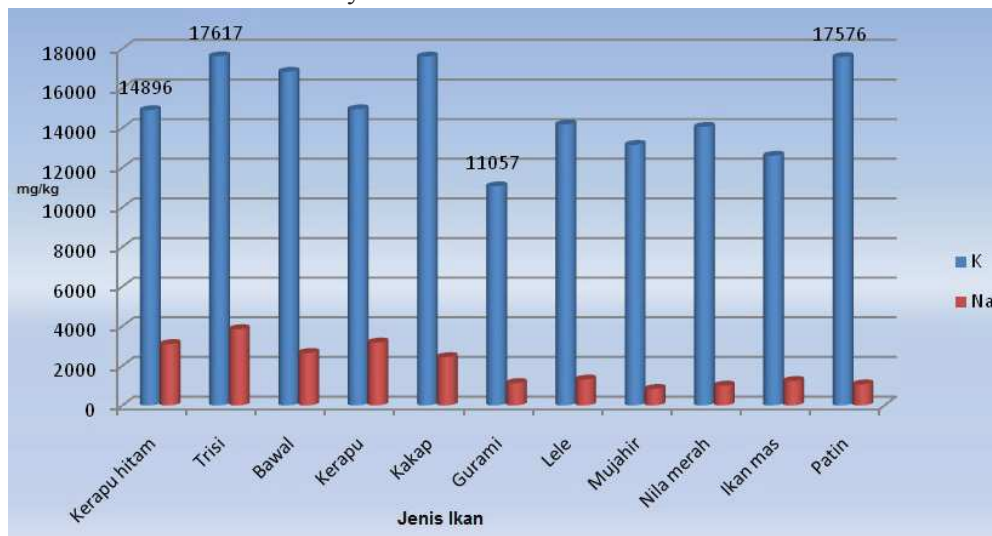
Tabel 4. Batas maksimum cemaran logam berat dalam ikan dan produk olahannya [5]

Unsur	As	Cd	Hg	Pb
Batas maksimum [mg/kg]	1,0	0,1	0,5	0,3

Pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 5 ditunjukkan hasil penentuan konsentrasi unsur yang terkandung di dalam ikan. Penentuan konsentrasi dihitung berdasarkan berat kering ikan. Pada Gambar 1 ditunjukkan hasil penentuan unsur arsen (As) yang terkandung di dalam berbagai ikan laut seperti kerapu hitam, trisi, bawal, kerapu, kakap dan ikan air tawar seperti gurami, lele, mujahir, nila merah, mas dan patin serta nilai batas maksimum yang diperbolehkan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI). Batas maksimum cemaran As di dalam ikan dan hasil olahannya adalah 1,0 mg/kg, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Dari hasil pengukuran As menunjukkan bahwa semua ikan laut yang diukur mengandung cemaran As. Konsentrasi As yang terkandung di dalam ikan laut seperti ikan kerapu hitam, trisi, bawal, kerapu dan kakap sudah melampaui batas maksimum yang diperbolehkan yaitu sebesar 1 mg/kg. Ikan kakap mengandung cemaran As yang paling tinggi, dengan konsentrasi As hampir mencapai 15 kali batas maksimum yang diperbolehkan. Ikan air tawar juga mengandung cemaran As, namun konsentrasinya relatif lebih rendah dari ikan laut. Ikan nila merah mengandung cemaran As 1,92 mg/kg melebihi batas yang diperbolehkan 1 mg/kg. Sedangkan ikan tawar lainnya seperti lele, mujahir, ikan mas dan patin memiliki konsentrasi As dibawah batas maksimum 1,0 mg/kg. Tingginya konsentrasi unsur As dalam beberapa ikan laut yang sering dikonsumsi masyarakat dan melebihi batas maksimal dari SNI perlu diwaspadai. Di dalam SNI 7387:2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan dijelaskan bahwa As merupakan salah satu logam

berat yang paling toksik dan merupakan racun akumulatif. Secara alami arsenik dihasilkan dari letusan gunung berapi yang melepaskan 3000 ton arsen setiap tahun. Akan tetapi aktivitas manusia justru lebih banyak berkontribusi dalam pencemaran lingkungan, sebanyak 80.000 ton As tiap tahun dilepaskan melalui pembakaran bahan bakar fosil dan kegiatan industri [14]. Manusia dapat terpapar As melalui makanan, air dan udara. Konsentrasi As triorganik lebih dari 60 mg/kg dalam makan atau minuman dapat menyebabkan kematian. Konsentrasi As anorganik 0,3 mg/kg - 30 mg/kg dalam makanan atau minuman menyebabkan iritasi perut dan usus disertai dengan gejala mual, muntah dan diare.

Hasil pengukuran konsentrasi merkuri atau air raksa (Hg) di dalam beberapa ikan air laut dan air tawar ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil pengukuran Hg di dalam ikan laut menunjukkan bahwa ikan kerapu memiliki konsentrasi merkuri tertinggi yaitu sebesar 0,13 mg/kg sedangkan ikan bawal memiliki konsentrasi terendah yaitu 0,006 mg/kg. Beberapa ikan tawar yang diuji menunjukkan konsentrasi Hg yang lebih rendah dibandingkan ikan air laut. Ikan gurami memiliki konsentrasi Hg yang tertinggi yaitu 0,11 mg/kg sedangkan ikan air tawar yang lainnya memiliki konsentrasi Hg < 0,11 mg/kg. Menurut hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, konsentrasi Hg di dalam ikan di Indonesia sekitar 1,0 mg/kg[5]. Sedangkan batas maksimum konsentrasi Hg di dalam ikan dan olahannya yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia SNI 7387:2009 adalah sebesar 0,5 mg/kg, kecuali untuk ikan predator seperti cucut, tuna, marlin dan lain-lain yaitu sebesar 1 mg/kg. Hg merupakan salah satu logam berat yang berbahaya. Keracunan Hg dapat menimbulkan gangguan sistem saraf, kerusakan DNA dan kromosom, reaksi alergi dan kerusakan sistem reproduksi[14]. Umumnya Hg ditemukan di alam dalam bentuk merkuri metalik, merkuri sulfida, merkuri klorida dan metil merkuri. Beberapa penggunaan merkuri antara lain bahan termometer, barometer, amalgam gigi dan pigmen cat. Dalam bidang penambangan biasa digunakan untuk memisahkan emas dari batuan.



Gambar 3. Konsentrasi unsur makro esensial K dan Na ikan [mg/kg]

Kalium (K) merupakan unsur makro esensial, paling berlimpah urutan ketiga dalam tubuh manusia. Unsur K sangat bermanfaat untuk kesehatan tubuh, selain bertindak sebagai elektrolit, mineral ini sangat diperlukan untuk menjaga kesehatan jantung, otak, ginjal, jaringan otot, dan organ-organ penting lainnya dari tubuh kita agar selalu dalam kondisi yang prima. Kekurangan konsumsi K dapat menyebabkan gejala seperti kelelahan dan kelemahan otot-otot. Indikasi lain untuk kekurangan kalium termasuk refleks aktif, detak jantung tidak normal, jantung berdebar-debar, anemia dan sakit kepala parah. Namun demikian kelebihan K pun tidak baik bagi tubuh. Sehingga asupan K ke dalam tubuh juga harus diperhatikan dengan baik. Pada Gambar 3 ditunjukkan konsentrasi unsur makro esensial K dan Na yang terkandung di dalam ikan [mg/kg]. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi K di dalam ikan sangat berlimpah dibandingkan unsur-unsur lainnya yang diteliti. Ikan laut

lebih kaya akan mineral K dibanding ikan air tawar, konsentrasi K di dalam ikan laut berada pada kisaran 14896-17617 mg/kg dengan konsentrasi rata-rata 16376 mg/kg. Sedangkan di dalam ikan air tawar konsentrasi rata-rata K mencapai 13766 mg/kg. Gurami memiliki konsentrasi paling rendah diantara ikan air tawar yang diukur yaitu 11057 mg/kg, sedangkan ikan patin memiliki K yang tertinggi dengan konsentrasi 17576 mg/kg. Penelitian yang dilakukan Sharif et.al. menunjukkan bahwa konsentrasi K untuk 10 jenis ikan laut di Banglades berkisar 9320-17923 mg/kg[15]. Pada Tabel 5 ditunjukkan asupan beberapa mineral per hari yang direkomendasikan bagi pria dewasa, untuk unsur K adalah 4700 mg per hari[16]. Dengan memperhatikan konsentrasi K rata-rata dalam ikan laut dan ikan air tawar, maka tanpa memperhitungkan asupan K dari makanan lainnya dapat dihitung jumlah asupan yang memadai untuk memenuhi kebutuhan K yaitu dengan mengkonsumsi 287 g ikan laut atau 341 gram ikan air tawar berat kering per hari.

Tabel 5. Asupan beberapa mineral per hari yang direkomendasikan bagi pria dewasa[16]

Ca [mg/h]	Cr [µg/h]	Cu [µg/h]	Fe [mg/h]	I [µg/h]	K [mg/h]	Mg [mg/h]	Mn [µg/h]	Mo [µg/h]	Na [mg/h]	Se [µg/h]	Zn [mg/h]
1000	35	900	8	150	4700	420	2,3	45	1500	55	11

Seperti unsur K, Na juga termasuk unsur makro esensial yang memiliki fungsi menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh, serta menjaga dan mengatur tekanan osmotik agar cairan tidak keluar dari darah dan masuk ke dalam sel. Natrium juga berperan dalam transmisi suara, kontraksi otot, absorpsi glukosa, dan sebagai alat angkut zat-zat gizi melalui membran sel. Kekurangan Na di dalam tubuh dapat mengakibatkan berbagai penyakit diantaranya : kram otot dan lemas, sering merasa lelah, daya ingat menurun, daya tahan terhadap infeksi menurun, gangguan pada jantung dan ginjal. Akan tetapi mengkonsumsi unsur Na secara berlebihan juga dapat menimbulkan penyakit seperti hipertensi dan gangguan kardiovaskuler. Pada Tabel 5 ditunjukkan asupan per hari yang direkomendasikan untuk unsur Na yaitu 1500 mg/hari. Ikan laut memiliki konsentrasi Na yang relatif lebih tinggi dibandingkan air tawar yaitu 2438-3847 mg/kg dengan konsentrasi rata-rata 3040 mg/kg. Sedangkan dalam ikan air tawar konsentrasi Na rata-rata adalah 1093 mg/kg.

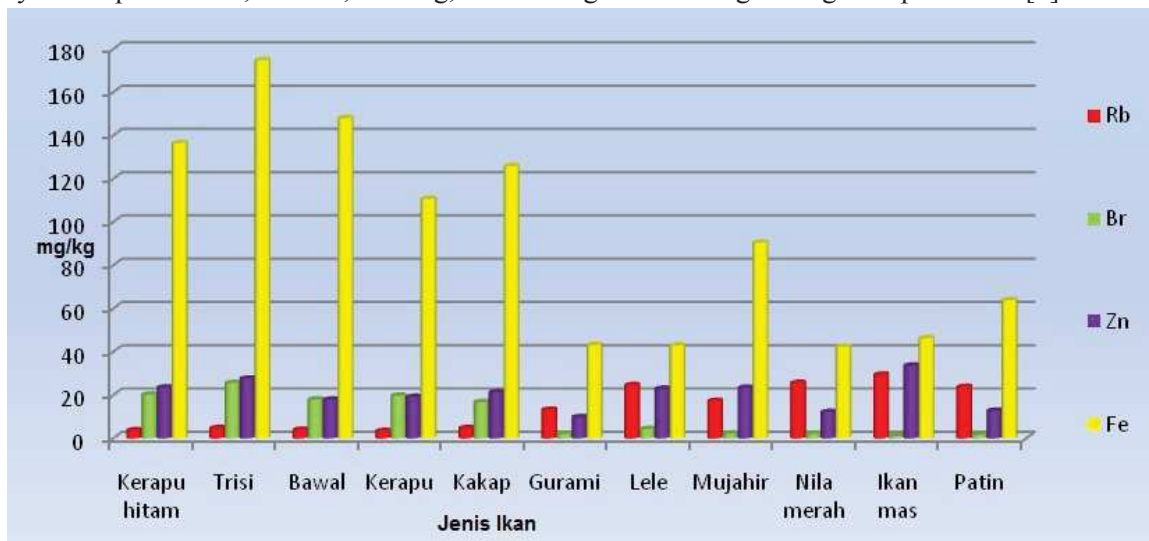
Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengukuran unsur Br, Fe, Rb dan Zn. Unsur Fe dan Zn merupakan unsur mikro esensial. Ikan air laut memiliki konsentrasi Fe yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan ikan air tawar. Konsentrasi Fe rata-rata di dalam ikan air laut mencapai 139 mg/kg jauh diatas ikan air tawar yaitu 55 mg/kg. Sedangkan kebutuhan asupan Fe per hari adalah 8 mg/ hari. Ikan terutama ikan laut adalah makanan yang baik bagi orang yang memerlukan asupan Fe yang tinggi karena kaya akan mineral Fe.

Konsentrasi Zn di dalam ikan hampir merata baik di dalam ikan air laut maupun ikan air tawar. Konsentrasi rata-rata Zn dalam ikan laut adalah 21,8 mg/kg dan ikan air tawar 19,1 mg/kg. Jumlah asupan Zn yang direkomendasikan dalam setiap hari adalah 11 mg, dengan demikian apabila seseorang mengkonsumsi 250 g ikan laut (berat kering) sehari yang setara dengan ~5,45 mg Zn maka separuh kebutuhan Zn (5,5 mg) hampir terpenuhi. Selain unsur esensial, ditemukan pula unsur non esensial Br dan Rb. Konsentrasi rata-rata Br dalam ikan laut dan ikan air tawar rata-rata adalah 20,0 mg/kg dan 2,2 mg/kg. Sedangkan konsentrasi rata-rata Rb ikan laut dan air tawar masing-masing adalah 4,0 dan 22,2 mg/kg.

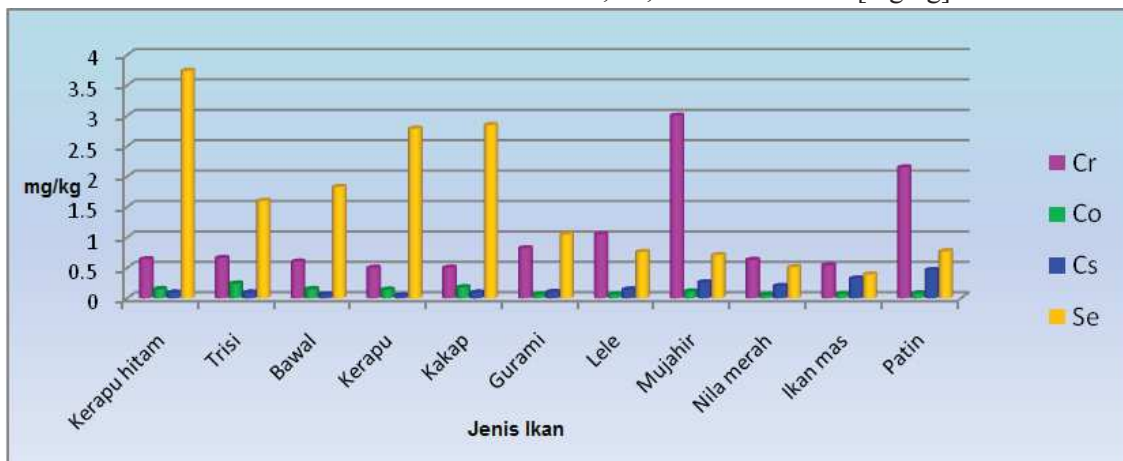
Pada Gambar 5 ditunjukkan konsentrasi unsur esensial Co, Cr dan Se serta unsur non esensial Cs yang terkandung di dalam ikan air laut dan ikan air tawar. Unsur Cr dibutuhkan dalam metabolisme karbohidrat dan lemak. Bersama-sama dengan insulin, kromium berfungsi untuk memudahkan masuknya glukosa ke dalam sel [16]. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi rata-rata Cr dalam ikan air laut dan ikan air tawar masing-masing adalah 0,58 mg/kg dan 1,37 mg/kg, sedangkan asupan per hari yang direkomendasikan adalah 35mg. Dari data tersebut menunjukkan

bahwa mineral Cr di dalam ikan sangat tidak mencukupi untuk asupan sehari-hari sehingga perlu asupan makanan lain yang kaya akan Cr seperti buah apel, pisang jeruk serta sayuran kentang, cabai hijau, bayam dan wortel.

Unsur Se bersama vitamin E berfungsi sebagai antioksidan dalam sistem enzim, selain mencegah terjadinya serangan radikal bebas, unsur Se berfungsi melindungi membran dari kerusakan oksidatif, membantu reaksi oksigen dan hidrogen pada tahap akhir rantai metabolisme, serta membantu sintesis immunoglobulin sebagai kekebalan tubuh. Konsentrasi Se di dalam ikan laut dan ikan air tawar rata-rata masing-masing adalah 2,56 mg/kg dan 0,70 mg/kg. Kebutuhan asupan Se untuk pria dewasa adalah 55 µg per hari, sehingga dengan mengkonsumsi ikan air tawar seberat 100 gram saja (~70 µg Se), maka kebutuhan Se sudah terpenuhi. Selain ikan, buah dan sayuran seperti tomat, brokoli, bawang, kubis dan gandum mengandung cukup unsur Se[3].



Gambar 4. Konsentrasi unsur Br, Fe, Rb dan Zn ikan [mg/kg]



Gambar 5. Konsentrasi unsur Cr, Co, Cs dan Se ikan [mg/kg]

Unsur Co memiliki fungsi untuk membentuk pembuluh darah. Jumlah kebutuhan perhari belum banyak dipublikasikan. Konsentrasi Co rata-rata yang terukur di dalam ikan laut sebesar 0,17 mg/kg sedangkan di dalam ikan air tawar konsentrasinya lebih kecil yaitu 0,07 mg/kg.

Unsur Cs merupakan unsur non esensial, keberadaannya di dalam tubuh belum diketahui fungsinya. Cs teridentifikasi dalam ikan air laut dan air tawar masing-masing sebesar 0,07 mg/kg dan 0,25 mg/kg.

Dari data konsentrasi unsur yang ditentukan menunjukkan bahwa ikan laut memiliki konsentrasi unsur/mineral yang lebih tinggi dibandingkan ikan air tawar. Dari 12 unsur yang ditentukan dalam beberapa ikan, hanya konsentrasi unsur Cr, Cs dan Rb di dalam ikan air tawar yang lebih tinggi dibandingkan di dalam ikan laut. Sedangkan unsur lainnya seperti Na, K, As, Br, Co, Fe, Hg, Se dan Zn, konsentrasi di dalam ikan laut lebih besar dibandingkan dalam ikan air tawar.

Berdasarkan metode gravimetrik maka dapat ditentukan kadar air dari berbagai ikan. Pada Tabel 6 ditunjukkan kadar air dari beberapa ikan laut dan ikan air tawar. Kadar air di dalam ikan cukup besar yaitu berkisar antara 77,68 % - 85,01 %.

Pada Tabel 7 ditunjukkan data konsentrasi 12 unsur yang terkandung dalam pakan ikan air tawar untuk 3 merek pakan ikan yang berbeda. Data tersebut memperlihatkan bahwa pakan ikan mengandung semua unsur yang terkandung di dalam ikan air tawar baik unsur esensial atau non esensial maupun unsur toksik seperti As dan Hg. Hal ini mengindikasikan bahwa pakan ikan memberi sumbangan yang cukup besar pada kandungan mineral di dalam ikan air tawar.

Tabel 6. Kadar air (%) dalam beberapa ikan laut dan air tawar

No	Nama Ikan	Basah [g]	Kering [g]	Kadar air (%)
1	Kerapu hitam/ <i>Lowder black</i>	20,41	3,87	81,04
2	Trisi/ <i>Rubt snapper</i>	19,94	4,45	77,68
3	Bawal/ <i>Silver pomfret</i>	18,64	4,02	78,43
4	<i>Leopard coral troad</i>	25,74	5	80,57
5	Kakap/ Baramundi	21,2	4,61	78,25
6	Gurami/ <i>Gouramy</i>	22,07	4,48	79,70
7	Lele/ <i>Hit cat fish</i>	13,39	2,83	78,86
8	Mujahir/ <i>Tilapia mos ambica</i>	12,14	2,22	81,71
9	Nila merah/ <i>Niletilapia</i>	14,38	3,08	78,58
10	Patin/ <i>Cat fish</i>	19,75	2,96	85,01
11	Ikan mas/ <i>Common carp</i>	15,34	3,23	78,94

Tabel 7. Konsentrasi unsur esensial, non esensial dan unsur toksik di dalam pakan ikan

No	Unsur	Pakan 1	Pakan 2	Pakan 3	Ikan Mas
1	As	0,35 ± 0,07	0,9 ± 0,1	0,35 ± 0,05	< 0,02
2	Br	4,75 ± 0,10	12,26 ± 0,2	3,06 ± 0,07	1,06 ± 0,08
3	Cr	2,69 ± 0,14	1,46 ± 0,14	1,13 ± 0,11	0,54 ± 0,06
4	Co	0,58 ± 0,03	1,93 ± 0,11	0,56 ± 0,03	0,07 ± 0,001
5	Cs	0,11 ± 0,01	<0,01	0,1 ± 0,03	0,32 ± 0,01
6	Fe	579 ± 27	269 ± 17	433 ± 26	46,3 ± 2,8
7	Hg	< 0,17	< 0,14	< 0,13	< 0,01
8	K	9279 ± 163	10493 ± 250	8377 ± 115	12596 ± 191
9	Na	1068 ± 13	3983 ± 44	609 ± 8	1233 ± 16
10	Rb	12,51 ± 0,61	6,01 ± 0,6	15,19 ± 1,02	29,36 ± 0,49
11	Se	0,39 ± 0,12	0,55 ± 0,09	0,38 ± 0,08	0,39 ± 0,12
12	Zn	127 ± 5	46,1 ± 2,7	157,4 ± 6,6	33,5 ± 0,7

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebanyak 12 unsur di dalam 11 spesies ikan air laut dan air tawar telah ditentukan yaitu As, Br, Cr, Co, Cs, Fe, Hg, K, Na, Rb, Se and Zn. Unsur As dan Hg termasuk unsur toksik yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Konsentrasi cemaran As didalam ikan laut sudah melampaui batas maksimum 1 mg/kg, sedangkan konsentrasi cemaran Hg masih di bawah batas maksimum 0,5 mg/kg, baik untuk ikan laut maupun ikan air tawar, seperti dinyatakan dalam SNI 7387:2009. Secara umum ditunjukkan bahwa kandungan mineral didalam ikan laut lebih tinggi konsentrasinya dibandingkan ikan air tawar. Penelitian terhadap pakan ikan air tawar menunjukkan bahwa semua unsur yang teridentifikasi juga terdapat di dalam ikan hal ini menunjukkan bahwa pakan ikan berkontribusi terhadap konsentrasi unsur di dalam ikan air tawar. Teridentifikasinya cemaran As yang sudah melampaui batas maksimum dan cemaran Hg di dalam ikan laut perlu mendapatkan perhatian yang serius.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju atas dukungan yang diberikan baik fasilitas maupun dana penelitian. Ibu Dra. Th. Rina Mulyaningsih MSc, Drs. Sutisna DEA, Siti Suprapti A.Md, Alfian S.ST dan Istanto S.ST atas bantuannya selama melaksanakan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kompas, Konsumsi Ikan Indonesia Masih Rendah. Available from: <http://health.kompas.com/read/2011/08/24/04214829/Konsumsi.Ikan.Indonesia.Masih.Rendah>. Accessed 21 Nopember 2013
2. Wikipedia, Ikan. Available from: <http://id.wikipedia.org/wiki/Ikan>. Accessed 16 Desember 2013
3. Dadan Harjana, Macam-macam Fungsi Mineral Bagi Tubuh. Available from: <http://manfaatnya.sehat.blogspot.com/2013/06/macam-macam-fungsi-mineral-bagi-tubuh.html>. Accessed 15 Nopember 2013
4. Zainal Arifin, Beberapa Unsur Mineral Esensial Mikro Dalam System Biologi Dan Metode Analisisnya, Jurnal Litbang Pertanian. 2008;27(3): 99-105
5. Badan Standar Nasional Indonesia, Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan, SNI 7387: 2009, ICS 67.220.20
6. M. Ruiz-de-Cenzano et al. *Fastdeterminationof fish mineralprofile Applicationto Vietnamese panga fish*, Ecotoxicology and Environmental Safety, 2013;95: 195–201
7. Ana Pantelica, Antoaneta Ene and Iulia I. Georgescu, *Instrumental neutron activation analysis of some fish species from Danube River in Romania*, Microchemical Journal. 2012; 103: 142–147
8. Th. Rina Mulyaningsih, Saeful Yusuf, Kandungan Mineral Dalam Produk Pangan Tempe, Prosiding Seminar Nasional TAN 2012, Bandung 16 Oktober 2012. p.119-129
9. Naidu et al. Determination of macro, *Micro Nutrient And Trace Element Concentrations In Indian Medicinal And Vegetable Leaves Using Instrumental Neutron Activation Analysis. Applied Radiation And Isotopes*, 1999; 50: 947-953
10. Pasquale Avino, *Instrumental Neutron Activation Analysis And Statistical Approach For Determining Baseline Values Of Essential And Toxic Elements In Hairs Of High School Students*, Ecotoxicology and Environmental Safety. 2013; 92: 206–214

11. Rina Mulyaningsih dkk., Analisis Unsur Toksik Dan Makro-mikro Nutrient Dalam Bahan Makanan Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron, J. Iptek Nuklir Ganendra. 2010; 13(1) : 46-55
12. Saeful Yusuf, Iman Kuntoro dan Th. Rina Mulyaningsih, Penentuan Unsur Kelumit Dalam Cuplikan Lingkungan Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron, Prosiding AMTEq 2009, Tangerang, 27-28 Juli 2009, p.158-168
13. Th. Rina Mulyaningsih, Kandungan unsur Fe Dan Zn Dalam Produk Pertanian Dan Perikanan Dengan Metode k0-AANI, J. Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. 2009: 10(2); 71-80
14. Moch Haikal, Website Bahan Ajar Pencemaran Lingkungan Jurusan Biologi FMIPA UM: Pokok Bahasan 11.2. Available from: <http://mhaikal.16mb.com/pokok-bahasan-11/pokok-bahasan-11-2>. Accessed 27 Nopember 2013
15. Sharif et al., *Trace element concentrations in ten species of fresh water fish of Bangladesh*, The Science of the Total Environment, 138 (1993) 117-126
16. Food and Nutrition Board-Institute of Medicine-National Academies, Dietary Reference Intakes (DRIs. Available from: http://www.iom.edu/Activities/Nutrition/SummaryDRIs/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs/New%20Material/2_%20RDA%20and%20AI%20Values_Vitamin%20and%20Elements.pdf. Accessed 12 November 2013