



OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA

Print ISSN: 0125-9830 Online ISSN: 2477-328X

Nomor Akreditasi: 712/AU3/P2MI – LIPI/10/2015

<http://jurnal-oldi.or.id>



Kandungan Merkuri dalam Ikan Konsumsi di Wilayah Bantul dan Yogyakarta

Mercury Content in Commercial Fishes of Bantul Areas and Yogyakarta

Suratno¹, Muhammad Reza Cordova¹, dan Silke Arinda²

¹Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

²FMIPA Kimia, Universitas Gadjah Mada

Email: nanosan80@gmail.com

Submitted 18 Jan 2016. Reviewed 6 September 2016. Accepted 9 November 2016.

Abstrak

Ikan merupakan salah satu sumber energi yang penting bagi tubuh dan memiliki banyak fungsi bagi kesehatan, sehingga banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Namun, ikan memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat. Salah satu jenis logam berat yang berbahaya dan dapat terakumulasi dalam tubuh ikan adalah merkuri karena memiliki toksisitas tinggi pada konsentrasi rendah. Adanya pencemar dari kegiatan antropogenik yang tidak diolah terlebih dahulu membuat ikan berpotensi mengakumulasi logam berat. Penelitian ini mengkaji konsentrasi merkuri dalam ikan air tawar dan ikan air laut yang dikonsumsi oleh masyarakat Bantul dan Yogyakarta. Sampel ikan dikumpulkan pada 29–30 Agustus 2015 dari Pasar Prawirotaman, Supermarket, Tambak di Sungai Code, dan dibeli dari nelayan yang ada di Pantai Depok. Analisis konsentrasi merkuri dalam ikan dilakukan menggunakan mercury analyzer NIC MA-3000. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ikan dengan kebiasaan makan bentivora dan planktivora mengakumulasi merkuri lebih tinggi dibandingkan ikan omnivora dan karnivora. Konsentrasi merkuri dalam ikan yang diteliti tidak melebihi standar ambang batas dari WHO, BPOM-RI, dan Standar Uni Eropa yang ditetapkan. Namun, hal ini perlu diwaspadai karena sifat merkuri yang bioakumulatif, terutama bila ikan yang dikonsumsi mengakumulasi merkuri secara terus-menerus dalam waktu yang lama.

Kata kunci: merkuri, ikan konsumsi, bentivora, planktivora, mercury analyzer, Bantul, Yogyakarta.

Abstract

Fish is an important energy source for the body and has many functions for human health. Hence, the fish are highly favored for consumption by the public. However, the fish has the ability to accumulate heavy metals. One type of dangerous heavy metals and can accumulate in fish is mercury because it has high toxicity at low concentrations. The presence of contaminants from anthropogenic activities that are not processed previously, makes the fish a potential hoarder for heavy metals. This study examined the concentration of mercury in freshwater fish and saltwater fish consumed by the people of Bantul areas and Yogyakarta. Fish samples were collected on 29–30 August 2015 from Prawirotaman Market, supermarket, Embankment on the River Code, and purchased from fishermen in Depok Beach. Analysis of mercury concentrations in fish was done using mercury analyzer NIC MA-3000. The results indicated that the fish with the eating habits of benthivore and planktivore accumulated higher mercury than omnivore and

carnivore fish. The concentration of mercury in the fish examined does not exceed the threshold of the WHO standard, BPOM-RI, and European Union standards. However, the people need to be alert on mercury bioaccumulative properties, especially when consuming the fish having accumulated mercury continuously for a long time.

Keywords: mercury, fish consumption, benthivore, planktivore, mercury analyser, Bantul, Yogyakarta.

Pendahuluan

Ikan merupakan sumber protein, mineral, dan lemak yang penting bagi tubuh manusia. Ikan mengandung senyawa fungsional yang bermanfaat bagi kesehatan (Susanto dan Fahmi 2012), di antaranya Omega-3 yang terdiri dari asam eikosapentaenoat (EPA) dan asam dokosaheksaenoat (DHA) (Soccol dan Oetterer 2003). Selain itu, daging ikan mengandung protein sebanyak 17–22% (Venugopal dan Shahidi 1996). Berbagai penelitian menunjukkan manfaat mengonsumsi ikan, di antaranya meningkatkan kecerdasan dan kesehatan anak dan ibu hamil, meningkatkan kekebalan tubuh, menjaga kekuatan tulang, anti inflamasi, mencegah diabetes, peradangan sendi, kanker, dan menurunkan risiko penyakit jantung (Venugopal dan Shahidi 1996; Rosell et al. 2009; Patel et al. 2010; Szymanski et al. 2010; Larsen et al. 2011).

Pencemaran yang terjadi dari kegiatan antropogenik mengakibatkan ikan mengakumulasi bahan pencemar berbahaya seperti logam berat. Penelitian akumulasi logam berat dalam ikan dilakukan oleh Mulyono (2000), Neff (2002), Dahlia (2009), Johari (2009), Yulaipi dan Aunurohim (2013), dan Budiati et al. (2014). Akumulasi logam berat tersebut akan membahayakan manusia yang mengonsumsinya. Salah satu jenis logam berat yang berbahaya dan dapat terakumulasi dalam ikan adalah merkuri karena memiliki toksisitas tinggi pada konsentrasi rendah (Porto et al. 2005). Toksisitas merkuri yang tinggi tersebut mengakibatkan hanya bakteri anaerobik saja yang dapat melakukan mobilisasi terhadap logam ini. Hal ini disebabkan proses reduksi Hg(II) menjadi Hg(0) terjadi pada kondisi anoksik (Neff 2002; Rothenberg et al. 2008). Merkuri yang masuk ke dalam tubuh suatu organisme akan diakumulasi dalam jaringan tubuh organisme tersebut (Neff 2002).

Akumulasi merkuri dalam tubuh ikan menjadi isu umum yang terkait dengan kesehatan, sehingga banyak lembaga melakukan kajian konsentrasi maksimum merkuri yang masih dapat ditolerir oleh tubuh manusia. Ambang batas

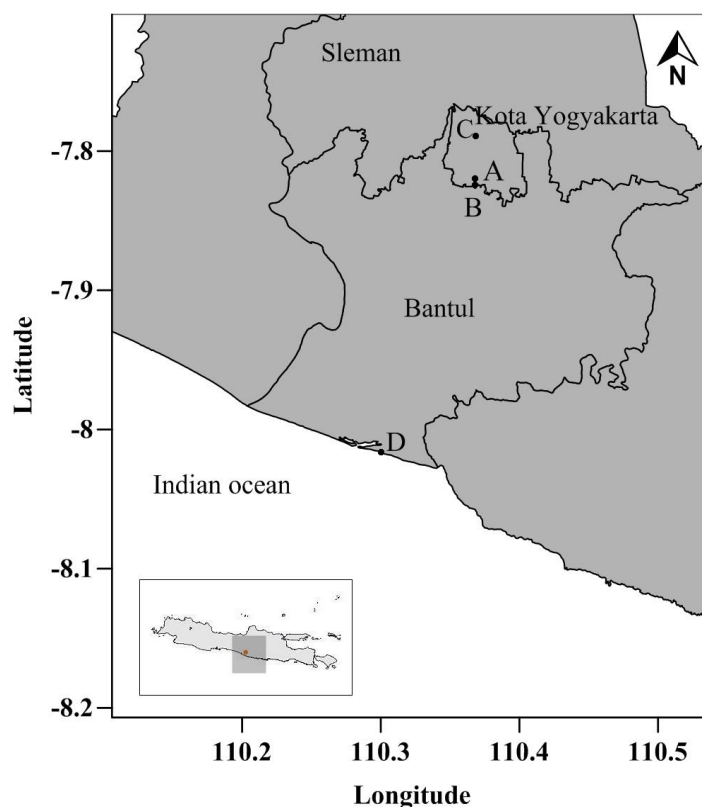
konsentrasi merkuri dalam ikan yang diizinkan oleh Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM-RI 2009) sebesar 0,5 µg/g. Konsentrasi maksimum merkuri dalam produk makanan ikan menurut standar Uni Eropa EC No. 466/2001 adalah 0,5 µg/g berat basah. *World Health Organization* (WHO) membuat ketentuan konsentrasi total merkuri yang dapat ditoleransi tubuh manusia adalah 0,005 µg/g per minggu, sedangkan konsentrasi maksimum metil merkuri yang dapat ditoleransi tubuh manusia adalah 0,0015 µg/g per minggu (WHO 2004). Ambang batas konsentrasi merkuri dalam ikan yang ditentukan oleh WHO (2004) adalah 0,3 µg/g.

Dengan tingkat toksisitas yang tinggi, kajian terus-menerus terhadap konsentrasi merkuri dalam ikan, terutama ikan yang dikonsumsi oleh manusia perlu dilakukan. Informasi mengenai akumulasi merkuri dalam ikan yang dikonsumsi masyarakat belum banyak dilaporkan. Namun, Isyuniarto et al. (1995) yang melakukan pengukuran konsentrasi merkuri pada ikan dan makroalga yang diambil dari pantai Krakal Gunung Kidul melaporkan bahwa konsentrasi merkuri dalam ikan dan makroalga tersebut masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan oleh WHO (2004). Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi merkuri dalam ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat di wilayah Bantul dan Yogyakarta.

Metodologi

Pengumpulan dan Penyiapan Sampel

Sampel ikan dikumpulkan pada tanggal 29–30 Agustus 2015 dari Pasar Prawirotaman (A), supermarket Superindo (B), keramba apung di Sungai Code (C), dan dibeli dari nelayan yang ada di Pantai Depok (D) (Gambar 1). Sampel dibekukan dan dimasukkan ke dalam *styrofoam box* yang berisi es dan ditutup rapat agar terhindar dari udara luar (modifikasi dari NEG/ECP Committee 2001). Kemudian, sampel dibawa ke Laboratorium Oseanografi Kimia, Pusat Peneli-



Gambar 1. Lokasi pengumpulan sampel. A. Pasar Prawirotaman, B. Supermarket Superindo, C. Keramba Apung di Sungai Code, D. Pantai Depok.

Figure 1. Sampling locations. A. Prawirotaman market, B. Superindo supermarket, C. Floating fish cages in the River Code, D. Depok beach.

tian Oseanografi LIPI untuk dianalisis.

Sampel ikan dihilangkan sisiknya, lalu diambil daging di bagian punggung dan ekor (NEG/ECP Committee 2001) sebanyak 2–5 g. Masing-masing sampel dibagi tiga supaya analisis dilakukan dengan tiga kali ulangan. Sampel kemudian dipanaskan di dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam untuk mendapatkan matriks merkuri stabil (SNI NO 01-2354.6-2006). Selanjutnya, sampel dihaluskan dengan menggunakan mortar hingga berbentuk serbuk dan disimpan dalam desikator hingga analisis merkuri dilakukan.

Analisis Merkuri

Sampel ikan yang dianalisis berbentuk serbuk dan diambil sebanyak 20–50 mg. Konsentrasi merkuri dianalisis menggunakan *mercury analyzer* NIC MA-3000 (Nippon Instrument Corporation, Jepang) yang dapat menentukan jumlah merkuri dalam matriks padatan, cairan, dan gas. *Mercury analyzer* mengukur konsentrasi merkuri dalam sampel dari absorbansi sampel. Prinsip utama *mercury analyzer* adalah dekomposisi termal, amalgasi, dan serapan atom sesuai dengan USEPA 7473

dan ASTM D-6722-01. Penentuan konsentrasi merkuri dalam sampel diawali dengan pembuatan kurva kalibrasi. Larutan baku merkuri 0,1 mg/L dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam cawan sampel sebanyak 0, 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 μ L, sehingga diperoleh kurva kalibrasi rendah dan tinggi. Berdasarkan kurva kalibrasi tersebut diperoleh persamaan regresi linier yang digunakan untuk menghitung konsentrasi merkuri dari hasil absorbansi sampel. Konsentrasi merkuri dalam sampel ditampilkan dalam μ g merkuri per kg berat kering sampel.

Analisis Data

Analisis data secara deskriptif untuk konsentrasi merkuri rata-rata dan standar deviasinya dilakukan sebelum uji nonparametrik, yakni uji beda nyata dengan Kruskal-Wallis yang dilanjutkan dengan uji lanjut *post hoc* Mann-Whitney-u-test pada IBM SPSS versi 19. Uji statistik nonparametrik tidak memerlukan asumsi mengenai sebaran data populasi (Djarwanto 1991). Uji nonparametrik dilakukan untuk mengetahui perbedaan konsentrasi merkuri dalam berbagai ikan dengan kebiasaan makan yang berbeda (bentiivora, planktivora, karnivora, dan

omnivora). Uji Kruskal-Wallis adalah uji nonparametrik berbasis peringkat yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan nyata secara statistik antara dua atau lebih kelompok variabel independen pada variabel dependen. Uji Mann-Whitney-u-test adalah uji nonparametrik yang digunakan untuk mengetahui perbedaan median dua kelompok bebas apabila skala data variabel terikatnya adalah ordinal atau interval/rasio yang tidak terdistribusi normal. Hasil analisis kedua tes tersebut yang dinyatakan dengan *p value* mengindikasikan perbedaan nyata secara statistik bila nilainya kurang dari 0,05.

Hasil

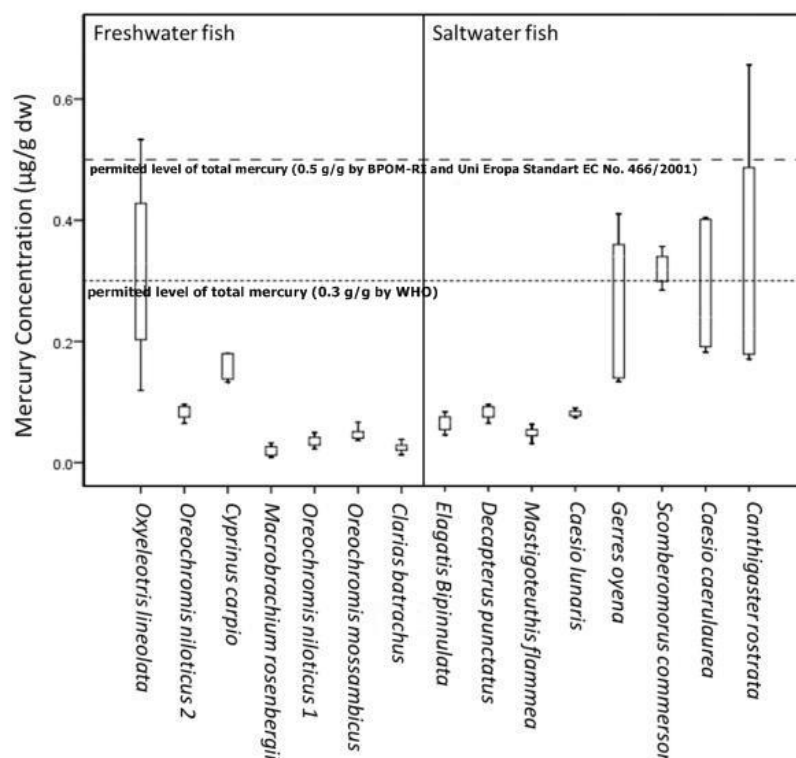
Karakteristik sampel ikan yang diteliti diperlihatkan dalam Tabel 1. Secara umum, hasil analisis menunjukkan konsentrasi merkuri dalam

ikan air laut lebih tinggi dibandingkan dengan ikan air tawar (Gambar 2).

Urutan konsentrasi merkuri dalam ikan air laut dari yang paling tinggi ke yang paling rendah secara berturut-turut ditemukan dalam ikan Jerukan, ikan Tenggiri, ikan Kapasan, ikan Kapuran, ikan Kembung, ikan Surung, ikan Salem, dan cumi-cumi (Gambar 2). Ikan air tawar memiliki konsentrasi merkuri yang sangat rendah, kecuali ikan Gabus dan ikan Mas yang memiliki konsentrasi merkuri yang tinggi secara signifikan. Urutan ikan air tawar dengan konsentrasi merkuri dari yang tertinggi ke yang terendah yaitu ikan Gabus, ikan Mas, ikan Nila besar, ikan Mujair, ikan Nila kecil, ikan Lele, dan Udang Galah (Gambar 2). Konsentrasi merkuri dalam ikan Gabus yaitu $0,315 \pm 0,15 \mu\text{g/g}$, dalam ikan Tenggiri $0,317 \pm 0,15 \mu\text{g/g}$, dan dalam ikan Jerukan $0,323 \pm 0,21 \mu\text{g/g}$. Berdasarkan analisis lanjutan, konsentrasi merkuri antara ikan air laut dan ikan air tawar tidak menunjukkan perbedaan signifikan ($p > 0,05$).

Tabel 1. Karakteristik sampel ikan.
Table 1. Fish sample characteristics.

Local name	Scientific name	n	Weight (g)	Length (cm)	Fish type	Feeding habit
Gabus	<i>Oxyeleotris lineolata</i>	5	148.6 ± 43.1	25.1 ± 2.5	Freshwater	Carnivore
Nila	<i>Oreochromis niloticus</i>	5	140.7 ± 14.1	19.7 ± 1.3	Freshwater	Omnivore
Mas	<i>Cyprinus carpio</i>	5	134.6 ± 17.7	21.3 ± 0.7	Freshwater	Omnivore
Udang Galah	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	5	11.4 ± 2.2	12.2 ± 0.6	Freshwater	Omnivore
Baby Nila	<i>Oreochromis niloticus</i>	5	7.7 ± 0.9	8.7 ± 0.7	Freshwater	Omnivore
Mujair	<i>Oreochromis mossambicus</i>	5	123.9 ± 32.4	18.0 ± 2.0	Freshwater	Omnivore
Lele	<i>Clarias batrachus</i>	5	66.3 ± 13.9	20.0 ± 2.1	Freshwater	Omnivore
Salem	<i>Elagatis Bipinnulata</i>	5	157.1 ± 16.6	25.0 ± 0.4	Saltwater	Carnivore
Kembung	<i>Decapterus punctatus</i>	5	90.3 ± 6.0	19.3 ± 0.8	Saltwater	Carnivore
Cumi-Cumi	<i>Mastigoteuthis flammea</i>	5	53.5 ± 8.2	20.7 ± 0.5	Saltwater	Carnivore
Surung	<i>Caesio lunaris</i>	3	116.7 ± 7.4	21.4 ± 0.8	Saltwater	Carnivore
Tenggiri	<i>Scomberomorus commerson</i>	2	194.7 ± 19.0	30.2 ± 1.4	Saltwater	Carnivore
Jerukan	<i>Canthigaster rostrata</i>	3	78.3 ± 18.1	19.0 ± 1.1	Saltwater	Carnivore
Kapuran	<i>Gerres sp.</i>	2	91.3 ± 18.9	18.1 ± 1.6	Saltwater	Benthivore
Kapasan	<i>Caesio caerulaurea</i>	3	87.8 ± 2.9	19.4 ± 0.3	Saltwater	Planktivore



Gambar 2. Konsentrasi merkuri dalam sampel ikan.

Figure 2. Mercury concentration in fish samples.

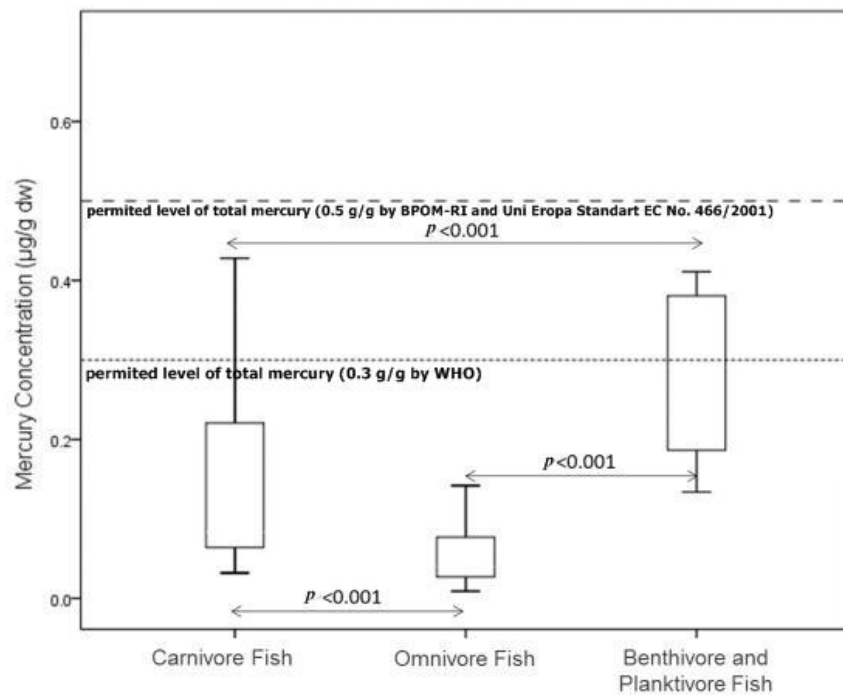
Pembahasan

Konsentrasi Merkuri Berdasarkan Habitat Ikan

Perairan laut sangat rentan terhadap pencemaran oleh logam-logam berbahaya yang dihasilkan dari kegiatan antropogenik (Clarkson 1990), seperti limbah industri dan pertanian. Laut juga merupakan tempat pembuangan akhir atau akumulasi limbah-limbah, baik yang dibuang melalui sungai seperti limbah rumah tangga dan industri-industri kecil, maupun polutan yang jatuh dari atmosfer (Graneya et al. 2004). Limbah yang mengandung polutan tersebut kemudian masuk ke dalam ekosistem perairan pantai dan laut, sebagian larut dalam air, sebagian tenggelam ke dasar dan terkonsentrasi di dalam sedimen, dan sebagian lagi masuk ke dalam jaringan tubuh organisme laut melalui rantai makanan. Ikan air tawar yang dibudidayakan dalam tambak atau sungai juga berpotensi mengalami kontaminasi logam berat dari limbah-limbah yang dibuang ke sungai tersebut. Kontaminasi logam berat yang terus-menerus berlangsung dalam perairan tempat hidup ikan dalam konsentrasi kecil dapat mengakibatkan akumulasi pada tubuh ikan.

Konsentrasi Merkuri Berdasarkan Kebiasaan Makan

Secara umum, kebiasaan makan ikan dapat dibagi menjadi tiga, yakni (1) bentivora dan planktivora, (2) karnivora, dan (3) omnivora. Sebagian besar ikan dalam penelitian ini memiliki kebiasaan makan karnivora, yaitu sebanyak 7 spesies (46,7%) kebiasaan makan omnivora sebanyak 6 spesies (40%), serta bentivora dan planktivora sebanyak 2 spesies (13,3%). Hajeb et al. (2009) menyatakan klasifikasi kebiasaan makan akan menunjukkan data dasar akumulasi merkuri dalam ikan selain terkait dengan panjang, berat, dan umur ikan. Pada penelitian ini, ikan bentivora dan planktivora mengakumulasi merkuri paling banyak, yaitu rata-rata $0,28 \pm 0,11$ µg/g. Konsentrasi merkuri yang terakumulasi dalam ikan karnivora rata-rata $0,16 \pm 0,14$ µg/g. Ikan dengan kebiasaan makan omnivora mengakumulasi merkuri dengan rata-rata $0,06 \pm 0,04$ µg/g. Pada uji beda nyata, seluruh konsentrasi merkuri dalam ikan dengan kebiasaan makan berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata (Gambar 3). Konsentrasi merkuri yang lebih tinggi dalam ikan bentivora dan planktivora tersebut sesuai dengan penelitian Ashraf et al. (2012) dan Mohan et al. (2012), yang menyatakan ikan dengan pola makan bentivora dan plankti-



Gambar 3. Perbandingan konsentrasi merkuri dalam sampel ikan.
Figure 3. Comparison of mercury concentration in fish samples.

vora mengakumulasi pencemar, khususnya logam berat, lebih tinggi dibandingkan ikan karnivora dan omnivora. Sebaliknya, penelitian Chi et al. (2007) melaporkan hasil yang berbeda, yaitu ikan karnivora mengakumulasi logam berat lebih banyak akibat biomagnifikasi. Akumulasi logam berat dalam biota laut dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah panjang, berat, umur (Hajeb et al. 2009), serta kecepatan metabolisme (Louma dan Rainbow 2008). Faktor eksternal yang berperan adalah kebiasaan makan (Velusamy et al. 2014).

Proses akumulasi merkuri dalam ikan menurut Heath (1987), sebagian besar disebabkan oleh biotransfer dari makanan. Sebanyak 70% merkuri yang terakumulasi dalam jaringan berasal dari makanan dan hanya 10% yang terakumulasi melalui insang. Dalam penelitian ini, ikan bentivora memiliki kebiasaan mencari makan di sedimen yang sebelumnya telah mengakumulasi merkuri dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Selanjutnya, merkuri yang diserap terikat dengan protein *thionein* dan membentuk gugus kompleks protein-logam dengan nama *metallothionein* yang disintesis dalam hati (Filipic et al. 2006).

Metallothionein merupakan polipeptida yang memiliki banyak elektron bebas dari atom S (gugus thiol, -SH) yang berfungsi sebagai peptida pengikat logam (*metal binding peptides*) (Filipic et al. 2006). Pengikatan logam berat dalam *metallothionein* diyakini sebagai mekanisme pertahanan untuk melindungi protein-protein

penting dalam proses metabolisme tubuh dari pengaruh logam berat (Legras et al. 2000). Jika kecepatan masuk logam berat ke dalam sel melebihi kecepatan sintesis *metallothionein*, maka kemampuan hati untuk melakukan detoksifikasi akan menurun, sehingga logam berat yang berlebihan di dalam tubuh ikan akan didistribusikan ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah.

Transpor merkuri di dalam jaringan tubuh ikan dilakukan oleh darah dalam bentuk terikat dengan protein hemoglobin dalam sel darah merah ikan. Hati (hepar) memiliki fungsi detoksifikasi yang dapat mengikat polutan, ditandai dengan *metallothionein* yang tinggi (Siscar et al. 2014). Jika pengikatan polutan dalam hati telah melebihi batas, polutan seperti merkuri akan diakumulasi di dalam otot/daging ikan (Legras et al. 2000). Setelah terikat pada jaringan, merkuri sukar dilepaskan kembali karena telah berikatan dengan gugus sulfidril (Paasivirta 2000). Logam berat yang telah berikatan dengan gugus sulfidril akan mengakibatkan gangguan pada struktur protein dan enzim. Hal ini terjadi karena ion logam berat akan menggantikan ion logam esensial, sehingga aktivitas enzim akan terganggu (Volesky 1990; Ahalya et al. 2004). Ahalya et al. (2004) juga menyatakan bahwa gangguan aktivitas enzim akibat logam berat akan mengganggu metabolisme pada tingkat sel dan membuat sel menjadi lisis dan rusak.

Status Keamanan Pangan

Status keamanan pangan produk perikanan yang dikonsumsi oleh masyarakat Yogyakarta dan Bantul diketahui dengan membandingkan konsentrasi merkuri hasil penelitian ini dengan standar Standar Uni Eropa EC No. 466/2001, WHO (2004) dan BPOM-RI (2009). Hasilnya secara umum, ikan yang dikonsumsi di kawasan ini masih dalam batasan aman, walaupun terdapat akumulasi merkuri dalam tiga spesies ikan (Gabus yaitu $0,32 \pm 0,15 \mu\text{g/g}$, Tenggiri $0,32 \pm 0,15 \mu\text{g/g}$, dan Jerukan $0,32 \pm 0,21 \mu\text{g/g}$) yang lebih tinggi daripada ambang batas yang ditentukan oleh WHO (2004) sebesar $0,3 \mu\text{g/g}$, namun masih di bawah ambang batas yang ditentukan standar Uni Eropa EC No. 466/2001 dan BPOM-RI (2009) untuk produk perikanan sebesar $0,5 \mu\text{g/g}$. Konsentrasi merkuri dalam ikan yang diteliti tidak melebihi standar yang ditetapkan. Namun, hal ini perlu diwaspadai karena sifat merkuri yang bioakumulatif, terutama bila masyarakat mengonsumsi ikan yang mengakumulasi merkuri secara terus-menerus dalam waktu yang lama. Informasi dari Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia (KKP-RI 2004) menyatakan bahwa konsumsi ikan rata-rata oleh masyarakat Indonesia adalah 35 kg per kapita per tahun atau lebih kurang setara dengan 671 gram per kapita per minggu. Keadaan ini tentu menjadi perhatian kita semua untuk mengupayakan ikan yang sehat.

Kesimpulan

Ikan yang memiliki kebiasaan makan yang berbeda mengakumulasi merkuri dalam jumlah yang berbeda pula. Ikan dengan kebiasaan makan bentivora dan planktivora mengakumulasi merkuri lebih banyak dibandingkan ikan omnivora dan karnivora. Konsentrasi merkuri dalam ikan yang diteliti tidak melebihi standar ambang batas yang ditetapkan. Namun, hal ini perlu diwaspadai karena sifat merkuri yang bioakumulatif, terutama bila ikan yang dikonsumsi telah mengakumulasi merkuri secara terus-menerus dalam waktu yang lama.

Persantunan

Penelitian ini didanai oleh Riset Agenda COREMAP Pusat Penelitian Oseanografi LIPI tahun 2015. Ucapan terima kasih kami sampaikan

kepada Selvia Oktaviyani, S.Pi atas bantuan identifikasi ikan. Tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Eston Matondang, A.Md atas bantuan dalam preparasi sampel di laboratorium.

Daftar Pustaka

- Ahalya, N., T. V. Ramachandra, dan R. D. Kanamadi. 2004. Biosorption of Heavy Metals.. Research Journal of Chemistry and Environment 7(4):71–79.
- Ashraf, M. A., M. J. Maah, dan I. Yusoff. 2012. Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish Species Collected from Former Tin Mining Catchment. International Journal of Environmental Research 6(1):209–18.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM-RI). 2009. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor Hk.00.06.1.52.4011 Tentang Penetapan Batas Maksimum Cemaran Mikroba dan Kimia dalam Makanan. 34 pp.
- Budiati, S. R., N. K. Dewi, dan T. A. Pribadi. 2014. Akumulasi Kandungan Logam Berat Chromium (Cr) pada Ikan Betok (*Anabas Testudineus*) yang Terpapar Limbah Cair Tekstil di Sungai Langsur Sukoharjo. Unnes Journal of Life Science 3(1):18–23.
- Chi, Q. Q., Z. Z. Guang Wei, dan A. Langdon. 2007. Bioaccumulation of Heavy Metals in Fishes from Taihu Lake, China. Journal of Environmental Science 9:1500–1504. [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60244-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60244-7).
- Clarkson, T. W. 1990. Human health risks from methylmercury in fish. Environmental Toxicology and Chemistry 9:957–961.
- Dahlia, H. 2009. Studi Keterkaitan Beban Limbah terhadap Kualitas Perairan (Studi Kasus Kamal Muara). Tesis. Sekolah Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Djarwanto. 1991. Statistik Non Parametrik. Edisi 2. Yogyakarta: BPFE. 113 pp.
- Filipic, M., T. Fatur, dan M. Vudrag. 2006. Molecular mechanisms of cadmium induced mutagenicity. Human and Experimental Toxicology 25:67–77.
- Graneya, J. R., J. T. Dvonchb, dan G. J. Keeler. 2004. Use of multi-element tracers to source apportion mercury in South Florida aerosols. Atmospheric Environment 38:1715–1726. doi: 10.1016/j.atmosenv.2003.12.018.

- Hajeb, P., S. Jinap, A. Ismail, A. B. Fatimah, B. Jamilah, dan M. A. Rahim. 2009. Assessment of mercury level in commonly consumed marine fishes in Malaysia. *Food Control* 20:79–84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.02.012>.
- Heath, A. G. 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Press Inc. Boca Raton. 145 pp.
- Isyuniarto, F. L., G. S. Iswani, dan C. Supriyanto. 1995. Penetapan Total Ultra Kelumit Merkuri (Hg) Menggunakan Detektor Elemental Merkuri Tipe 3200. In: *Komisi Pembina Tenaga Peneliti PPNY Batan (Eds). Prosiding dan Presentasi Ilmiah. PPNY BATAN Yogyakarta, 25–27 April 1995. p.13–17.*
- Johari, H. S. 2009. Analisis Pencemaran Logam Berat Cu, Cd, dan Pb di Perairan Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta (Studi Kasus Pulau Panggang dan Pulau Pramuka). Tesis. Sekolah Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Kementerian Kelautan Perikanan Republik Indonesia (KKP-RI). 2014. *Statistik Perikanan Indonesia 2014*. 256 pp.
- Larsen, R., K. E. Eilersten, dan E. O. Elvevoll. 2011. Health benefits of marine foods and ingredients. *Biotechnology Advances* 29:508–518. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.017>.
- Lasut, M. T. 2009. Proses Bioakumulasi dan Biotransfer Merkuri (Hg) pada Organisme Perairan di dalam Wadah Terkontrol. *Jurnal Matematika dan Sains* 14(3):89–95.
- Legras, S., C. Mouneyrac, J. C. Amiard, C. Amiard-Triquet, dan P. S. Rainbow. 2000. Changes in metallothionein concentrations in response to variation in natural factors (salinity, sex, weight) and metal contamination in crabs from a metal-rich estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 246: 259–279.
- Louma, S. N., dan P. S. Rainbow. 2008. *Metal contamination in aquatic environment: Science and Lateral Management*. Cambridge University Press.
- Mulyono, D. 2000. Teluk Jakarta dan Kualitas Hasil Perikanan. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan* 20(2):117–123.
- Mohan, M., M. Deepa, E. V. Ramasamy, dan A. P. Thomas. 2012. Accumulation of Mercury and Other Heavy Metals in Edible Fishes of Cochin Backwaters, Southwest India. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(7):4233–45. doi:10.1007/s10661-011-2258-5.
- Neff, J. M. 2002. *Bioaccumulation in Marine Organisms. Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water*. Elsevier Ltd. Amsterdam. 472 pp.
- New England & Eastern Canada Province Committee (NEG/ECP Committee). 2001. *Fish Tissue Sampling and Analysis Practices in New England & Eastern Canada in the New England States and Eastern Canadian Provinces. A report of the NEG/ECP Committee on the Environment, Mercury Task Force, Fish Tissue Workgroup, August, 2001. Committee on the Environment and the Mercury Task Force of the Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers. Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers.*
- Paasivirta, J. 2000. *Chemical Ecotoxicology*. Lewis Publishers: Florida. 232 pp.
- Patel, J. V., I. Tracey, E. A. Hughes, dan G. Y. Lip. 2010. Omega-3 polyunsaturated acids and cardiovascular disease: Notable ethnic differences or unfulfilled promise? *Journal Thromb Haemost* 8:2095–2104. doi: 10.1111/j.1538-7836.2010.03956.x.
- Porto, J. I. R., C. S. O. Araujo, dan E. Feldberga. 2005. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species. *Environmental Research* 97:287–292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2004.04.006>.
- Rosell, M., A. M. Wesley, K. Rydin, L. Klareskog, dan L. Alfredsson. 2009. Dietary fish and fish oil and the risk of rheumatoid arthritis. *Epidemiology* 20:896–901. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181b5f0ce.
- Rothenberg, S. E., R. F. Ambrose, dan J. A. Jay. 2008. Mercury Cycling in Surface Water, Pore Water and Sediments of Mugu Lagoon, CA, USA. *Environmental Pollution* 154(1):32–45. doi:10.1016/j.envpol.2007.12.013.
- Siscar, R., S. Koenig, A. Torreblanca, dan M. Solé. 2014. The Role of Metallothionein and Selenium in Metal Detoxification in the Liver of Deep-Sea Fish from the NW Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment* 466–467:898–905. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.081.
- Socol, M. C. H., dan M. Oetterer. 2003. Seafood as Functional Foods. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46(3):443–454.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132003000300016>.

- Susanto, E., dan A. S. Fahmi. 2012. Senyawa Fungsional dari Ikan: Aplikasinya dalam Pangan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 1(40):95–102.
- Szymanski, K. M., D. C. Wheeler, dan L. A. Mucci. 2010. Fish consumption and prostate cancer risk: a review and metaanalysis. *Am J Clin Nutr* 92:1223–1233.doi: 10.3945/ajcn.2010.29530.
- [Uni Eropa] COMMISSION REGULATION (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Communities*. L77/1–13.
- Velusamy, A. P., P. S. Kumar, A. Ram, dan S. Chinnadurai. 2014. Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai Harbor, India. *Marine Pollution Bulletin* 81:218–224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.049>.
- Venugopal, V., dan F. Shahidi. 1996. Structure and composition of fish muscle. *Food Review International* 12:175–197. doi: 10.1080/87559129609541074.
- Volesky, B. 1990. Biosorption of Heavy Metals. Volesky (Eds). CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida. p.7–44.
- World Health Organization (WHO). 2004. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additive Series: 52. International Programme on Chemical Safety. WHO. Jenewa, Swiss. 64 pp.
- Yulaipi, S., dan Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 2(2):2337–3520.