
AKUMULASI DAN DISTRIBUSI ^{60}Co DALAM IKAN MAS (*Cyprinus carpio*) PADA SISTEM KOMPARTEMEN AIR-IKAN

Poppy Intan Tjahaja, Putu Sukmabuana, Eko Susanto

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri - BATAN
Jl. Tamansari 71 Bandung, 40132
E-mail: poppy@batan.go.id

Diterima: 16-11-2011

Diterima dalam bentuk revisi: 20-07-2012

Disetujui: 31-07-2012

ABSTRAK

AKUMULASI DAN DISTRIBUSI ^{60}Co DALAM IKAN MAS (*Cyprinus carpio*) PADA SISTEM KOMPARTEMEN AIR-IKAN. Dalam kajian keselamatan nuklir, data mengenai parameter perpindahan radionuklida pada berbagai kompartemen lingkungan sangat diperlukan untuk memperkirakan dosis radiasi interna yang diterima masyarakat melalui jalur lingkungan - bahan pangan – manusia. Data parameter perpindahan telah dipublikasikan oleh *International Atomic Energy Agency* dalam *Technical Report Series 472* untuk lingkungan beriklim sedang (*temperate zone*). Dalam rangka melengkapi data IAEA untuk wilayah tropis maka pada penelitian ini dipelajari akumulasi dan distribusi radionuklida ^{60}Co pada ikan air tawar *Cyprinus carpio* (ikan mas) secara percobaan laboratorium untuk menentukan parameter perpindahan ^{60}Co dari air ke ikan. Ikan mas dipelihara dalam 500 L air yang mengandung ^{60}Co dengan konsentrasi sekitar 30 Bq.mL⁻¹. Radionuklida ^{60}Co yang diserap dan diakumulasi oleh ikan, serta ^{60}Co yang tertinggal di air diukur menggunakan spektrometer gamma. Hasil penelitian memperlihatkan ^{60}Co terdistribusi di seluruh bagian tubuh ikan dengan nilai rasio konsentrasi (*CR*) sebesar 3,08 mL.g⁻¹; 1,55 mL.g⁻¹; 1,14 mL.g⁻¹ masing-masing untuk organ dalam, tulang dan daging. Nilai *CR* ^{60}Co dari air ke ikan dapat digunakan dalam prakiraan dosis radiasi interna yang diterima manusia melalui jalur air - ikan - manusia, sekaligus dapat melengkapi data parameter perpindahan IAEA untuk wilayah tropis.

Kata kunci : radionuklida cobalt, ^{60}Co , rasio konsentrasi, air, ikan

ABSTRACT

THE ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF ^{60}Co IN CARP (*Cyprinus carpio*) IN WATER-FISH COMPARTMENT SYSTEM. In relation with nuclear safety assessment, the parameter of radionuclide transfer in the environment is significantly needed for internal doses estimation received by public through environment – food product – human pathways. International Atomic Energy Agency (IAEA) has published the transfer parameter data for temperate zone in Technical Report Series 472. In order to complete the IAEA data, especially for tropical region, the accumulation and distribution of ^{60}Co in carp (*Cyprinus carpio*) was experimentally studied based on the water-fish compartment system. The carp were cultured in 500L water containing ^{60}Co of about 30 Bq.mL⁻¹ in a water tank. The ^{60}Co concentration in fish and water were measured using gamma spectrometer. The ^{60}Co was accumulated and distributed in the fish tissues with the concentration ratio (*CR*) of 3.08 mL.g⁻¹, 1.55 mL.g⁻¹, and 1.14 mL.g⁻¹ for internal organs, bones, and muscle, respectively. The *CR* of ^{60}Co in the fish will be useful in internal radiation dose estimation to human through water-fish-human pathway, and will also complete the IAEA transfer parameter data for tropical region.

Keywords: cobalt radionuclide, ^{60}Co , concentration ratio, water, fish

1. PENDAHULUAN

Pada saat terjadi kecelakaan reaktor nuklir, tidak menutup kemungkinan lepasnya sejumlah radionuklida hasil fisi dan aktivasi ke lingkungan yang nantinya dapat membahayakan masyarakat baik karena radiasi eksterna maupun interna. Kecelakaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Tokyo Electric Power Co (Tepco), Fukushima Dai-ichi, Jepang belum lama ini merupakan contoh kasus kecelakaan PLTN yang dapat diambil sebagai pelajaran (*lesson learned*), berkaitan dengan dampak radiologi yang ditimbulkan. Pada kecelakaan PLTN Tepco sejumlah produk fisi, yaitu ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{131}I , terdeteksi di lingkungan dan tidak lama setelah itu terdeteksi juga di dalam produk pangan hasil pertanian dan perikanan (1-3). Radionuklida hasil aktivasi, yaitu ^{60}Co , terdeteksi juga di dalam genangan air di gedung turbin PLTN Tepco, Fukushima Dai-ichi (4), yang apabila terlepas ke lingkungan dapat menimbulkan kontaminasi lingkungan dan bahan pangan. Untuk menghindari paparan radiasi interna yang dapat diterima oleh manusia akibat mengkonsumsi bahan pangan yang tercemar radionuklida, pemerintah Jepang segera mengeluarkan larangan untuk mengkonsumsi beberapa jenis sayuran dan ikan yang diproduksi di wilayah Fukushima dan sekitarnya (3).

Belajar dari kasus Fukushima, rencana pembangunan PLTN pertama di Indonesia selanjutnya diikuti dengan kajian keselamatan yang lengkap. Dalam kaitannya dengan kajian keselamatan nuklir, data mengenai parameter perpindahan radionuklida pada berbagai kompartemen lingkungan sangat diperlukan untuk memperkirakan dosis radiasi interna

yang mungkin diterima masyarakat melalui jalur lingkungan - bahan pangan - manusia. *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dalam *Technical Report Series* (TRS) 472 (5) telah melaporkan nilai parameter perpindahan berbagai radionuklida di berbagai kompartemen lingkungan. Namun tidak diketahui apakah data-data yang dilaporkan IAEA direkomendasikan untuk dapat diaplikasikan di Indonesia atau negara-negara lain, karena nilai parameter perpindahan bersifat sangat spesifik untuk kondisi lingkungan tertentu. Hal ini berkaitan dengan pengambilan keputusan dalam mencegah terjadinya paparan radiasi interna ke masyarakat.

Data perpindahan beberapa radionuklida produk fisi, yaitu ^{134}Cs dan ^{85}Sr , yang spesifik iklim tropis Indonesia pada jalur air - ikan telah dipublikasikan (6-9). Namun demikian, masih diperlukan data untuk radionuklida lainnya mengingat konsumsi ikan merupakan jalur kritis paparan radiasi interna sejumlah radionuklida kepada manusia (10). Pada penelitian ini dipelajari akumulasi dan distribusi radionuklida ^{60}Co dalam ikan air tawar *Cyprinus carpio* (ikan mas) pada kondisi *steady state* secara percobaan dalam *green house*. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, ikan mas merupakan jenis ikan yang relatif banyak dikonsumsi penduduk Indonesia dengan tingkat konsumsi $1,5 \text{ kg.tahun}^{-1}.\text{jiwa}^{-1}$ dari keseluruhan konsumsi ikan sebesar $30 \text{ kg.tahun}^{-1}.\text{jiwa}^{-1}$ (11).

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai parameter perpindahan radionuklida ^{60}Co dari air ke ikan untuk

prakiraan dosis radiasi interna masyarakat melalui jalur air - ikan – manusia dan untuk melengkapi data IAEA mengenai parameter transfer radionuklida di lingkungan, khususnya untuk wilayah tropis.

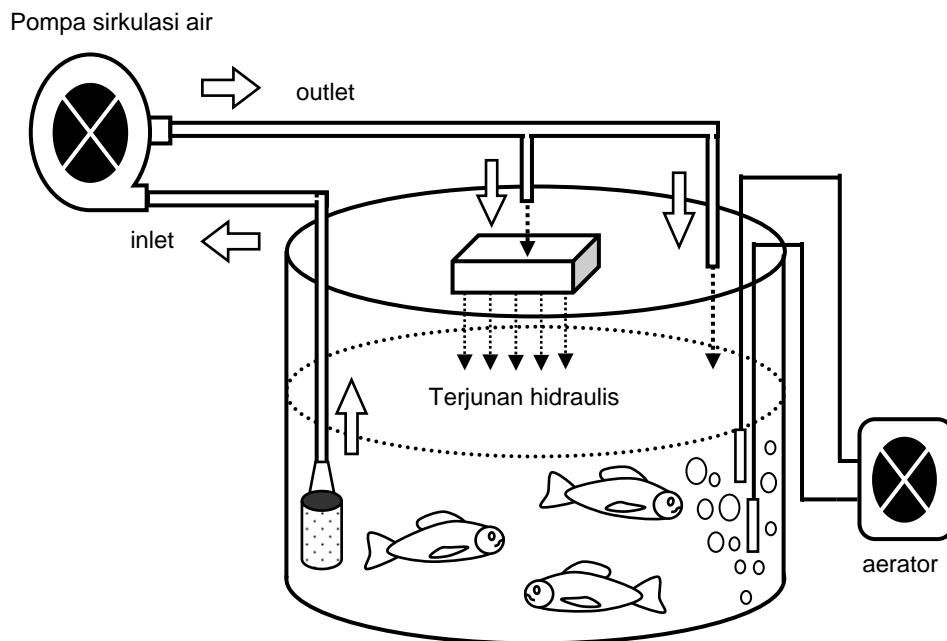
2. TATA KERJA

2.1. Percobaan

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen mengacu pada model sistem dua kompartemen air-ikan (12). Sebagai kompartemen pertama adalah air yang dicemari dengan ^{60}Co dengan konsentrasi sekitar 30 Bq.mL^{-1} , dan sebagai kompartemen ke dua adalah ikan mas. Pada penelitian ini digunakan 100 ekor ikan mas dengan ukuran $103,28 \pm 15,02 \text{ g}$ yang diperoleh dari kolam

pembudidayaan ikan mas di Cianjur, Jawa Barat. Ikan mas diaklimatisasi selama 2 minggu dalam bak percobaan yang terbuat dari serat gelas dengan kapasitas 800 L sampai ikan mampu beradaptasi. Selama aklimatisasi ikan diberi pelet pakan ikan komersial dua kali sehari.

Sistem kompartemen air berupa bak yang dilengkapi dengan pompa sirkulasi dengan laju alir 35 L.menit^{-1} , terjunan hidraulik, dan dua buah aerator untuk suplai oksigen ke air (Gambar 1). Karakter fisika dan kimia air yang digunakan dianalisis di laboratorium air Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.



Gambar 1. Sistem kompartemen air-ikan.

Kontaminasi air dilakukan dengan menambahkan ^{60}Co dengan aktivitas 0,75 MBq/mL sebanyak 20 mL ke dalam 500 L air dalam bak yang mempunyai spesifikasi sama dengan bak yang digunakan untuk aklimatisasi. Setelah penambahan ^{60}Co , air disirkulasi selama 2 jam untuk memperoleh konsentrasi ^{60}Co yang homogen dalam air. Keseragaman konsentrasi diperiksa dengan cara mengambil sampel air sebanyak 100 mL di tiga titik pada bak air, kemudian konsentrasi ^{60}Co diukur dengan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe dan *Multichannel Analyzer* (MCA). Sebanyak 50 ekor ikan yang telah diaklimatisasi dan mampu beradaptasi kemudian dipindahkan ke dalam bak eksperimen. Sebagai kontrol dilakukan juga pemeliharaan ikan sebanyak 50 ekor pada sistem serupa, dengan kompartemen pertama adalah air tanpa ^{60}Co .

Ikan mas dipelihara dalam air yang telah dikontaminasi ^{60}Co dan air tanpa ^{60}Co selama 60 hari. Seperti halnya pada saat aklimatisasi, ikan diberi pakan pelet komersial dua kali sehari. pH air dijaga tetap netral (pH 7) dan volume air dipertahankan tetap 500L untuk mencegah pemekatan konsentrasi ^{60}Co akibat penguapan air. Setiap 5 hari tiga ekor ikan diambil dan dipreparasi untuk pengukuran kandungan ^{60}Co . Sampel air sebanyak 100 mL juga diambil bersamaan waktunya dengan pengambilan ikan.

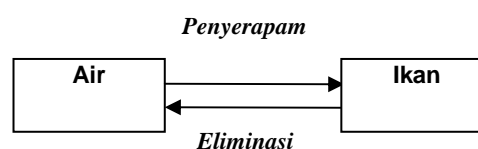
Ikan dicuci dengan air mengalir, dibedah dan dipisahkan menjadi tiga bagian yaitu daging, tulang, dan organ dalam menggunakan gunting bedah dan pinset. Sampel bagian tubuh ikan ditimbang dengan

neraca teknis Metler Toledo dengan ketelitian 0,01 g. Sampel bagian tubuh ikan didestruksi dengan HCl 1,8 M dalam vial plastik berkapasitas 200 mL hingga volume sampel menjadi 100 mL. Aktivitas ^{60}Co dalam air dan ikan diukur dengan detektor HPGe yang dilengkapi dengan MCA selama 600 detik. Dengan ukuran dan geometri sampel yang disesuaikan dengan material acuan serta waktu pengukuran selama 600 detik dihasilkan kesalahan relatif maksimum sebesar 10%.

2.2. Penentuan Nilai Rasio Konsentrasi (CR)

Parameter perpindahan yang dihitung pada penelitian ini adalah rasio konsentrasi (CR) dan laju perpindahan ^{60}Co dari air ke ikan (u). Rasio konsentrasi dihitung dengan cara membandingkan konsentrasi ^{60}Co dalam jaringan tubuh ikan (C_{ikan} ; Bq.g⁻¹ basah) terhadap konsentrasi dalam air (C_{air} ; Bq.mL⁻¹) menggunakan persamaan [1] (5, 13) berdasar pada model kompartemen air-ikan seperti diperlihatkan Gambar 2. Perubahan konsentrasi ^{60}Co dalam jaringan tubuh ikan sebagai fungsi waktu (dCt/dt) dapat dirumuskan melalui persamaan [2] (10).

$$CR = C_{ikan} / C_{air} \quad [1]$$



Gambar. 2. Model kompartemen air – ikan (8).

$$dC_{(t)}/dt = u[C_{eq}-C_{(t)}] - kC_{(t)} \quad [2]$$

dimana $C_{(t)}$ dan C_{eq} adalah konsentrasi radionuklida pada jaringan ikan pada waktu t dan pada saat kondisi *steady state* tercapai ($Bq.g^{-1}$ basah). Besaran u ($hari^{-1}$) dan k ($hari^{-1}$) mengekspresikan laju perpindahan dan eliminasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

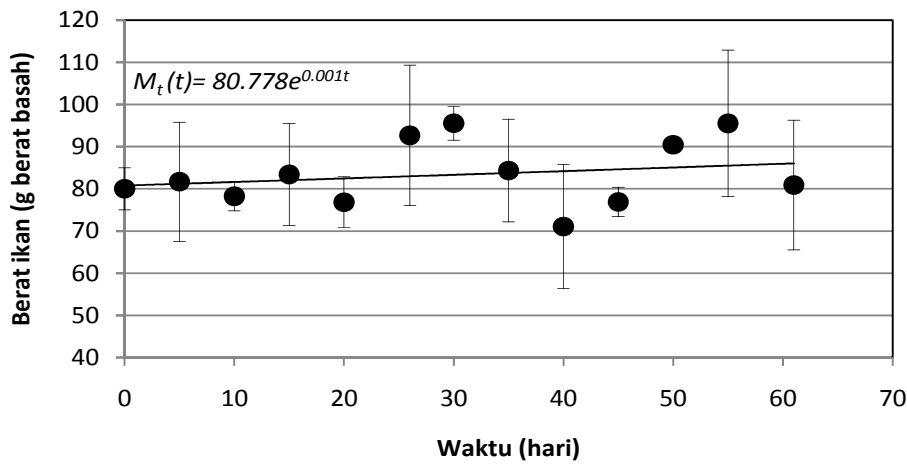
Selama penelitian berlangsung kondisi air seperti pH, volume dan suhu diobservasi dan dijaga untuk memberikan kondisi yang baik bagi pertumbuhan ikan. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa suhu air berkisar antara 20 – 33° C dan pH berfluktuasi antara 6 dan 7. Parameter air lainnya dianalisis di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan ITB, sebelum

digunakan untuk percobaan. Karakteristik air yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 1. Dari data pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa karakteristik air yang digunakan masih di bawah baku mutu air untuk budidaya ikan air tawar, kecuali untuk parameter BOD (*biological oxygen demand*). Nilai DO (*dissolved oxygen*) lebih besar dari nilai baku mutu menandakan bahwa kondisi air cukup baik, karena oksigen terlarut cukup tersedia untuk kebutuhan ikan. Dengan kondisi air seperti pada Tabel 1, ikan dapat tumbuh baik yang diindikasikan dengan terjadinya peningkatan berat badan ikan rata-rata selama penelitian berlangsung, dan pada ikan betina dijumpai adanya telur. Grafik pertumbuhan ikan diperlihatkan pada Gambar 3.

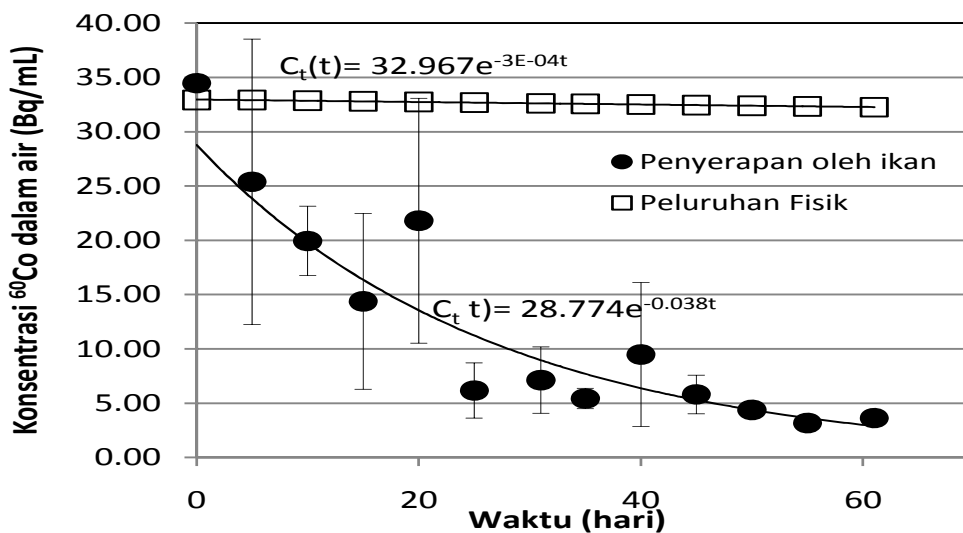
Tabel 1. Karakteristik air untuk memelihara ikan mas

No.	Parameter	Hasil analisis ($mg.L^{-1}$)	Baku mutu* ($mg.L^{-1}$)
1	TDS (<i>Total dissolved solid</i>)	336	1000
2	DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	4,9	3
3	BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	24	6
4	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	41,67	50
5	Kalium (K)	29,62	-
6	Kalsium (Ca)	35,35	-
7	Strontium	1,38	-
8	Nitrat (NO_3-N)	11,31	20
9	Nitrit (NO_2-N)	0,023	0,06
10	Amonia (NH_3-N)	0,188	-

* Nilai baku mutu mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 (PP 82 tahun 2001) untuk kualitas air kelas 3, yaitu untuk pemeliharaan ikan air tawar.



Gambar 3. Berat basah ikan selama penelitian (61 hari).



Gambar 4. Konsentrasi ^{60}Co dalam air sebagai fungsi waktu.

3.1 Analisis Air

Sampel air sebanyak 100 mL diambil setiap 5 atau 6 hari sekali masing-masing dari bagian permukaan dan bagian bawah bak pemeliharaan ikan, kemudian aktivitas radionuklida ^{60}Co diukur. Pada sampel air dari bak kontrol tidak terdeteksi adanya radionuklida ^{60}Co . Konsentrasi radionuklida ^{60}Co pada sampel air dari bak yang dikontaminasi diperlihatkan pada Gambar 4.

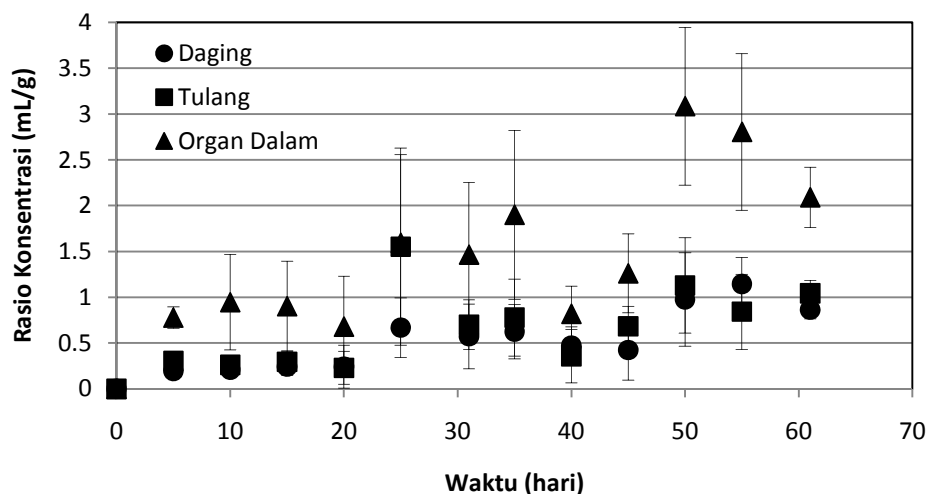
Konsentrasi ^{60}Co dalam air menurun selama waktu penelitian (61 hari) sebagai akibat adanya penyerapan dan akumulasi ^{60}Co oleh ikan mas, selain akibat dari peluruhan ^{60}Co dengan koefisien peluruhan $5,21 \times 10^{-4}$ hari $^{-1}$. Kontribusi peluruhan ^{60}Co hanya 2,12% dari keseluruhan penurunan konsentrasi ^{60}Co dalam air (89,44%) pada akhir penelitian.

3.2 Analisis Sampel Ikan

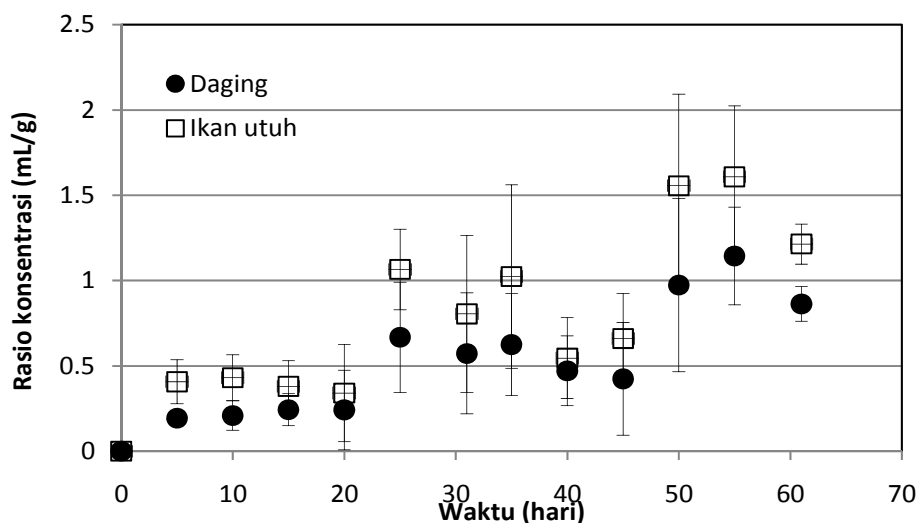
Sama halnya dengan sampel air, sampel ikan diambil setiap 5 hari. Sampel bagian tubuh ikan yang telah dipreparasi diukur menggunakan spektrometer gamma untuk mengetahui konsentrasi ^{60}Co . Akumulasi ^{60}Co dalam tubuh ikan dinyatakan sebagai *CR*. Distribusi akumulasi ^{60}Co dalam tubuh ikan diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6 berupa plot *CR* yang berfluktuasi terhadap waktu, namun terlihat kecenderungan peningkatan nilai *CR* seiring dengan waktu. Nilai *CR* tampak menurun pada pengamatan hari ke 40 dan ke 45 karena ukuran berat ikan yang diambil sebagai sampel pada waktu itu cukup besar sehingga memperkecil nilai *CR* yang diperoleh. Pada hari ke 50 diasumsikan telah diperoleh *CR* maksimum dan dicapai kondisi *steady state* dimana penyerapan ^{60}Co oleh ikan tidak sebanding lagi dengan pertambahan berat badan ikan.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa akumulasi ^{60}Co banyak terdapat pada bagian organ dalam ikan. Sampel organ dalam ikan terdiri dari insang, organ pencernaan, organ reproduksi dan organ ekskresi. Pada daging yang merupakan bagian tubuh ikan yang dikonsumsi manusia akumulasi ^{60}Co hanya 35% dari akumulasi pada organ dalam.

Nilai *CR* suatu radionuklida pada biota ditentukan berdasarkan nilai maksimumnya. Dari penelitian ini nilai *CR* yang diperoleh untuk radionuklida ^{60}Co pada ikan mas adalah $3,08 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$; $1,55 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$; dan $1,14 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ masing-masing untuk organ dalam, tulang dan daging. Nilai *CR* untuk keseluruhan tubuh ikan dibandingkan dengan daging sebagai bagian yang dikonsumsi diperlihatkan pada Gambar 6, besarnya nilai *CR* untuk seluruh tubuh ikan adalah $1,7 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$.



Gambar 5. Distribusi rasio konsentrasi ^{60}Co dalam bagian tubuh ikan.



Gambar 6. Rasio konsentrasi ^{60}Co dalam tubuh ikan.

Akumulasi radionuklida ^{60}Co dalam seluruh bagian tubuh ikan cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu pemeliharaan sampai hari ke 61. Akumulasi radionuklida ^{60}Co tampak tinggi pada bagian organ dalam dibandingkan dengan pada daging dan tulang. Setiap radionuklida mempunyai organ target tertentu dalam tubuh makhluk hidup. Unsur Co diakumulasi dalam tubuh tanaman dan hewan tetapi diketahui bahwa Co tidak bersifat *biomagnifying* di dalam rantai makanan (14). Oleh karena itu ikan maupun hewan lainnya biasanya tidak mengandung Co dengan konsentrasi yang tinggi. Apabila pada penelitian ini ^{60}Co banyak terdeteksi pada organ dalam kemungkinan disebabkan oleh akumulasi pada jaringan organ-organ atau karena air dan makanan yang mengandung ^{60}Co yang terperangkap dalam tubuh ikan, khususnya pada saluran pencernaan dan insang.

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya diperoleh nilai parameter perpindahan radionuklida ^{134}Cs dan ^{85}Sr

dalam ikan mas dan ikan lele (6-9). Hasilnya, dibandingkan dengan hasil penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 2. Radionuklida ^{134}Cs dan ^{85}Sr lebih banyak diakumulasi oleh ikan daripada ^{60}Co , karena ^{135}Cs dan ^{85}Sr adalah analog unsur K dan Ca (14, 15) yang merupakan unsur yang diperlukan tubuh dalam jumlah besar, sedang unsur Co merupakan unsur mikro yang diperlukan oleh tubuh dalam jumlah kecil.

Apabila dibandingkan dengan hasil yang didaftar oleh IAEA (5) nilai CR yang diperoleh untuk ikan-ikan tropis yang diteliti melalui percobaan laboratorium mempunyai nilai lebih kecil dari nilai minimum yang dipublikasikan IAEA. Penyebab perbedaan ini adalah dari jenis ikan yang berbeda dan kondisi lingkungan yang berbeda. Tiap spesies ikan mempunyai sistem metabolisme yang berbeda dan spesifik sehingga kebutuhan akan unsur juga berbeda, hal ini mengakibatkan kemampuan akumulasi unsur tertentu untuk setiap jenis ikan berbeda.

Tabel 2. Nilai parameter perpindahan beberapa radionuklida dari air ke daging ikan

No.	Radionuklida	Ikan	CR (mL.g ⁻¹)	Keterangan	Acuan
1	Cs	Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	9	Penelitian laboratorium	(2)
		Lele (<i>Clarias sp</i>)	10,58	Penelitian laboratorium	(3)
		Ikan air tawar	$1,4 \times 10^2 - 1,5 \times 10^4$	Penelitian lapangan	(1)
2	Sr	Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	20	Penelitian laboratorium	(4)
		Lele (<i>Clarias sp</i>)	3,842	Penelitian laboratorium	(5)
		Ikan air tawar	$1,4 \times 10^{-1} - 6,9 \times 10^1$	Penelitian lapangan	(1)
3	Co	Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	1,14	Penelitian laboratorium	Penelitian ini
		Ikan air tawar	$9,0 - 5,6 \times 10^2$	Penelitian lapangan	(1)

Tabel 3. Nilai laju perpindahan beberapa radionuklida dari air ke daging ikan

No.	Radionuklida	Ikan	Laju perpindahan (hari ⁻¹)	Keterangan	Acuan
1	^{134}Cs	Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	0,015	Penelitian laboratorium	(6)
		Lele (<i>Clarias sp</i>)	0,019	Penelitian laboratorium	(7)
2	^{85}Sr	Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	0,029	Penelitian laboratorium	(8)
		Lele (<i>Clarias sp</i>)	0,023	Penelitian laboratorium	(9)
3	^{60}Co	Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	0,050	Penelitian laboratorium	Penelitian ini

Laju perpindahan ^{60}Co dari air ke daging ikan (u) dihitung menggunakan persamaan [2] untuk data pengamatan $t=0$ sampai tercapainya konsentrasi kesetimbangan ^{60}Co dalam daging, yaitu $t=20$ hari. Dari hasil perhitungan diperoleh data laju perpindahan ^{60}Co dari air ke daging ikan sebesar $0,05 \text{ hari}^{-1}$, yang artinya dalam satu hari sebesar $0,05$ bagian dari ^{60}Co yang ada di air berpindah ke dalam daging sampai tercapai konsentrasi ^{60}Co yang stabil. Laju perpindahan radionuklida dari air ke ikan dipengaruhi oleh jenis radionuklida,

karakteristik kimia air, serta jenis dan umur ikan (5, 10, 14). Nilai laju perpindahan ^{60}Co dari air ke daging ikan mas relatif lebih tinggi dibandingkan dengan nilai laju perpindahan radionuklida ^{134}Cs dan ^{85}Sr dari air ke ikan mas dan lele (Tabel 3).

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ikan mas dapat menyerap dan mengakumulasi ^{60}Co dari air tempat hidupnya. Radionuklida ^{60}Co terdistribusi ke seluruh tubuh ikan mas dengan akumulasi

tertinggi pada organ dalam. Besarnya nilai CR ^{60}Co dari air ke ikan adalah $3,08 \text{ mL.g}^{-1}$; $1,55 \text{ mL.g}^{-1}$; dan $1,14 \text{ mL.g}^{-1}$ masing-masing untuk organ dalam, tulang, dan daging.

Nilai rasio konsentrasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan dalam memperkirakan dosis radiasi interna yang diterima manusia yang mengkonsumsi ikan mas yang hidup di air tercemar ^{60}Co . Besarnya nilai CR ^{60}Co pada ikan mas yang diperoleh dari penelitian ini jauh lebih kecil dari nilai yang dipublikasikan IAEA dari hasil pengukuran lapangan untuk ikan yang spesifik hidup di wilayah *temperate*. Nilai CR yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data IAEA untuk wilayah tropis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ibu Neneng Nur Aisyah dan Bapak Widanda yang telah banyak memberikan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Ohta T, Mahara Y, Kubota T, Fukutani S, Fujiwara K, Takamiya K, et al. Prediction of groundwater contamination with ^{137}Cs and ^{131}I from the Fukushima nuclear accident in the Kanto district. J Environ Radioact 2012 September;111: 38-41.
2. Kato H, Onda Y, Teramage M. Depth distribution of ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{131}I in soil profile after Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. J Environ Radioact 2012 September;111: 59-64.
3. Hamada N, Ogino H. Food safety regulations : what we learned from the Fukushima nuclear accident. J Environ Radioact 2012 September;111: 83-99.
4. Fukushima II's contaminated water: Cobalt-60, Cesium-134, Cesium-137, Yomiuri Shinbun June 7, 2011.
5. International Atomic Energy Agency. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environment, Technical Reports Series no. 472, Vienna:IAEA; 2010.
6. Chussetijowati J, Tjahaja PI, Sukmabuana P. Penyerapan radiosesium-134 dalam air oleh ikan mas (*Cyprinus carpio*). Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir. Bandung: PTNBR BATAN;2007.
7. Tjahaja PI, Sukmabuana P. Akumulasi dan eliminasi radionuklida Cs pada ikan lele (*Clarias batrachus*). Prosiding Seminar Nasional Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan V, Depok 14 Oktober 2009). Jakarta:PTKMR BATAN-FKM UI;2009.
8. Tjahaja PI, Sukmabuana P, Salami IRS, Muntalif BS. Laboratory experiment on the determination of radiostrontium transfer parameter in water- fish compartment system. J Environ Radioact, 2012 July;109: 60-63.
9. Tjahaja PI, Sukmabuana P, Chussetijowati J, Parameter perpindahan ^{85}Sr dari air ke ikan lele (*Clarias sp*) pada sistem kompartemen air – ikan. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung Juni 2011. Bandung:PTNBR BATAN – UPI;2011.
10. Pinder JE, Hinton TG, Whicker FW, Smith JT. Cesium accumulation by fish following acute input to lakes: a

-
- comparison of experimental and Chernobyl-impacted systems. *J Environ Radioact* 2009;100:456-67.
11. Badan Pusat Statistik Indonesia. Pengeluaran untuk konsumsi penduduk Indonesia 2007. Jakarta: BPS Indonesia; 2008.
12. Maltz J. Compartmental modelling. [Online course Berkeley univ]. [diakses 20 Mei 2009]. Available from: URL: <http://mutilbl.gov/145b2004/comprev2.pdf>.
13. Man CK. and Kwok YH. Uptake of ¹³⁷Cs by fresh water fishes, Department of Applied Physics, The Hongkong Polytechnics University, Hung Hom, Kowloon, Hongkong, 1999.
14. Yankovich TL. Mass balance approach to estimating radionuclide loads and concentrations in edible fish tissues using stable analogues. *J Environ Radioact* 2009;100:795 – 801.
15. Varga B, Lecrec E, Zagyvai P. The role of analogues in radioecology. *J Environ. Radioact* 2009;100:802-5.

