

## DISTRIBUSI RADIONUKLIDA CS-134 PADA IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) YANG HIDUP DI AIR TERCEMAR CS-134

<sup>1\*</sup>Sylvia I.Purba, <sup>2</sup>Indah Rachmatiah Siti Salami, <sup>3</sup>Poppy Intan Tjahaya

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10 Bandung  
<sup>1\*</sup> sylviapurba@yahoo.com

**Abstrak:** Kontaminasi Cs-134 pada sistem perairan tawar akibat kasus kecelakaan nuklir dapat menimbulkan dampak radiologi jangka panjang karena radiocesium dapat masuk ke dalam rantai makanan. Cs-134 dalam tubuh manusia dapat menjadi sumber radiasi interna apabila manusia mengkonsumsi bahan makanan yang terkontaminasi Cs-134. Distribusi radionuklida Cs-134 pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) telah diteliti dengan cara memelihara ikan dalam air yang dikontaminasi Cs-134 dengan konsentrasi 9,87 Bq/ml. Pengamatan dilakukan setiap 5 hari sekali dengan cara mengambil 3 ekor ikan pada masing-masing bak untuk dipreparasi menjadi daging, tulang dan organ dalam. Kemudian dilakukan pengukuran berat setiap sampel ikan yang telah dipreparasi. Selanjutnya, setiap sampel air dan ikan yang telah dipreparasi diukur aktivitasnya dengan menggunakan spektrometer gamma yang dilengkapi detektor NaI (TI). Nilai konsentrasi Cs-134 dalam sampel ikan nila diperoleh dari perbandingan aktivitas Cs-134 pada sampel ikan terhadap berat sampel ikan. Sedangkan, nilai konsentrasi Cs-134 dalam air didapat dari perbandingan aktivitas Cs-134 dalam air dengan volume sampel air. Dari hasil penelitian selama 60 hari diketahui bahwa konsentrasi dari Cs-134 pada organ dalam dan daging memiliki pola yang sama, yaitu organ dalam > daging dengan nilai tertinggi masing-masing yaitu 202 1279.46Bq/g dan 1005.65Bq/g pada hari ke 55; sedangkan konsentrasi tertinggi pada tulang sebesar 387,14Bq/g pada hari ke 50.

**Kata kunci:** Distribusi, ikan nila, Cs-134, spektrometer gamma

### 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan *medium project* dari *United Nation Long-Range World Population Projections*, populasi penduduk dunia akan semakin bertambah. Salah satu efek dari pertumbuhan penduduk dunia adalah penyusutan dengan cepat sumber daya alam *non-renewable* terutama bahan bakar fosil. Konsep kebijakan energi mix nasional, dengan memasukan opsi energi nuklir terdapat dalam cetak biru energi nasional pada departemen energi dan sumber daya mineral Indonesia.

Pada operasi normal diharapkan tidak ada radionuklida yang terlepas ke lingkungan. Akan tetapi pada kasus kecelakaan nuklir, fasilitas nuklir akan melepaskan radionuklida hasil fisi atau hasil aktivasi ke lingkungan. Cs-137 adalah salah satu radionuklida utama yang dilepaskan ke lingkungan. Apabila terjadi lepasan radionuklida ke komponen lingkungan, biasanya melalui udara yang kemudian terdeposisi ke tanah dan air. **Tabel 1** memperlihatkan bahwa radionuklida di lingkungan dapat masuk ke dalam tubuh manusia baik secara langsung melalui inhalasi dan secara tidak langsung melalui rantai makanan. Radionuklida yang terdeposisi di tanah akan diserap oleh tanaman yang kemudian dikonsumsi manusia, sedangkan yang terlepas ke perairan dapat masuk ke tubuh manusia melalui air minum atau melalui bahan makanan yang berasal dari perairan tersebut, misalnya ikan.

**Tabel 1**

Kontribusi Radionuklida Cs pada Dosis Efektif Kolektif dalam Tahun Pertama setelah Kecelakaan Chernobyl

Kondisi	Long-lived $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ (%)
Irradiasi eksternal	20
Penelanan	50-60
Pernapasan	1-2
Total	50-80

Sumber : WHO, 1989

Teknologi nuklir merupakan teknologi yang relatif aman. Tetapi apabila terjadi lepasan radionuklida ke lingkungan, maka dampaknya dapat memapari daerah yang luas dan menimbulkan efek radiologi jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan perhatian lebih untuk menghindari bencana tersebut. Selain itu, penelitian untuk mengetahui dampak radiologi perlu dilakukan, salah satunya dengan meneliti distribusi radionuklida dalam tubuh makhluk hidup yang dikonsumsi manusia sehingga dapat diperkirakan besarnya radionuklida yang masuk ke dalam tubuh manusia yang mengkonsumsi bahan makanan yang habitat hidupnya terkontaminasi radionuklida tertentu.

Ikan nila merupakan jenis ikan konsumsi air tawar dengan tubuh memanjang dan ramping dengan sisik berukuran besar. Panjang ikan nila dapat mencapai 30 cm dan berat  $\pm$  300 gram untuk ikan nila dewasa. Klasifikasi ikan nila berdasar taksonomi digolongkan sebagai berikut (Nagl, S.; H. Tichy; W.E. Mayer; I.E. Samonte; B.J. McAndrew & J. Klein 2001):

Phylum	: Chordata
Kelas	: Actinopterygii
Ordo	: Perciformes
Famili	: Cichlidae
Genus	: Oreochromis
Species	: <i>O. niloticus</i>

Ikan nila termasuk ikan yang sering dikonsumsi oleh manusia. Apabila ikan nila hidup dalam air yang terkontaminasi radiocesium dikonsumsi oleh manusia, maka akan menjadi sumber radiasi interna dalam tubuh manusia.

Pada penelitian ini digunakan radiocesium Cs-134 untuk tujuan efisiensi waktu dalam pengelolaan limbah, mengingat umur paruh Cs-134 adalah paling pendek dibandingkan radiocesium yang lain. Oleh karena itu, diharapkan hasil penelitian ini dapat juga menggambarkan radiocesium yang lain apabila masuk ke dalam rantai makanan. Selain Cs-137, radiocesium yang ditemukan pada kasus kecelakaan nuklir adalah Cs-135 dan Cs-134, tetapi jumlahnya tidak signifikan Cs-137 seperti dijelaskan di **Tabel 2**.

**Tabel 2**

Estimasi Radionuklida yang terlepas pada Kecelakaan Chernobyl

Radionuklida	Waktu paruh radioaktif (tahun)	Aktivitas yang dilepaskan (TBq)
$^{134}\text{Cs}$	2.065	5.40E+04
$^{137}\text{Cs}$	30.07	8.50E+04

Sumber : Hu, Weng dan Wang, 20008

Isotop-isotop cesium memiliki sifat kimia yang sama yaitu lebih reaktif daripada logam alkali yang lebih rendah. Cesium lebih reaktif terhadap oksigen dan halogen, dan kurang reaktif terhadap N, C dan H. Garam cesium dengan anion sederhana sangat mudah larut dan

higroskopis tetapi garam cesium dengan anion kompleks kurang larut dalam air. Radiocesium memiliki sifat mirip dengan rubidium. Selain itu secara kimiawi radiocesium memiliki karakteristik seperti kalium, karena itu lebih mudah menyebar pada biosfer. Pada manusia, radiocesium ditemukan pada jaringan otot dimana waktu paruh efektifnya sekitar 3 bulan (Aarkrog, 1994). Perbedaan yang ada antara isotop cesium adalah pada sifat fisika yang tercantum pada **Tabel 3**.

**Tabel 3**

Sifat fisika beberapa isotop cesium

Isotop	Umur paruh	Jenis radiasi yang dipancarkan	Energi (KeV)	
			$\beta$	$\gamma$
$^{134}_{55}\text{Cs}$	2,1 tahun	$\beta$ dan $\gamma$	210,01	604,3; 795,8
$^{135}_{55}\text{Cs}$	2,3 juta tahun	$\beta$	563	-
$^{137}_{55}\text{Cs}$	30 tahun	$\beta$ dan $\gamma$	156,80	661,6

Sumber : Human health fact sheet, August 2003

Penelitian ini bertujuan mengetahui distribusi radionuklida Cs-134 pada daging, tulang dan organ dalam dari ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Cs-134 digunakan karena waktu paruhnya lebih pendek daripada Cs-137, sehingga tidak membuang waktu dalam pengolahan limbahnya.

## 2. METODOLOGI

### Pengumpulan data

Penelitian dilakukan di *Green House*, Pusat Teknologi Nuklir, Bahan dan Radiometri, BATAN Jl. Taman Sari No. 71 Bandung dari tanggal 15 Mei sampai 31 Juli 2009. Penelitian dilakukan dengan mengacu pada "Panduan Umum Pengukuran Faktor Transfer" yang disusun oleh Fujimoto, dengan beberapa modifikasi sesuai kondisi laboratorium tempat penelitian ini dilakukan. Di dalam penelitian ini digunakan dua buah bak yang berisi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan berat 120-170 gram yang berasal dari Waduk Cirata, Jawa Barat, dengan volume air di masing-masing bak kurang lebih 500 liter. Air yang digunakan dalam penelitian adalah air sumur yang bersumber dari sumur artesis di kawasan PTNBR BATAN. Fungsi bak pertama adalah untuk penelitian dan bak kedua sebagai kontrol. Bak dilengkapi dengan pompa berkapasitas maksimal 35 L/menit untuk mensirkulasikan air dan aerator untuk meningkatkan jumlah udara terlarut di dalam air. Selain untuk sirkulasi, pompa juga menimbulkan terjunan hidrolis dengan ketinggian  $\pm 10$  cm yang berfungsi untuk aerasi. *Green House* juga dilengkapi dengan dua buah lampu TL 18 Watt yang dihidupkan pada malam hari sebagai penghangat, alat pengukur temperatur dan kelembaban *Green House*.

Menurut literatur, ikan nila dapat hidup pada air yang berkualitas jelek, keruh, kotor dan miskin  $\text{O}_2$  (Amri & Khairuman, 2003), sehingga tidak diperlukan filter pada bak. Makanan ikan yang diberikan berupa pellet ikan komersial. Ikan diberi makan dua kali sehari.

Setelah masa adaptasi selama dua minggu, pada tanggal 28 Mei 2009, bak penelitian diisi dengan 60 ekor ikan nila dan bak kontrol diisi dengan 47 ekor ikan. Pada bak penelitian ditambahkan  $\text{CsNO}_3$  dengan aktivitas sebesar 24 mRad sebanyak 4,16 ml, sehingga konsentrasi Cs-134 pada hari ke-0 penelitian adalah sebesar 9,87 Bq/ml.

Pengamatan dilakukan setiap 5 hari sekali dalam jangka waktu 60 hari dengan cara mengambil sampel ikan sebanyak 3 ekor pada masing-masing bak. Ikan kemudian dibedah dan dipisahkan bagian-bagian tubuhnya menjadi daging, tulang, dan isi rongga perut. Pada penelitian ini, termasuk tulang adalah kepala dan tulang. Bagian-bagian ini diletakkan pada aluminium foil yang telah diketahui beratnya, kemudian aluminium foil berisi sampel ditimbang, selanjutnya dikeringkan dengan cara pengovenan selama 4 jam pada suhu  $125^\circ\text{C}$  lalu digerus sehingga berbentuk serbuk.

Setiap kali sampling ikan dilakukan, juga dilakukan sampling air. Sampling air dilakukan pada air permukaan kolam dan air dasar kolam. Sampling pada permukaan disebut sebagai sampling air atas dan sampling pada dasar kolam disebut sebagai air bawah. Masing-masing sampling air sebanyak 100ml.

Pengukuran aktivitas dilakukan terhadap masing-masing bagian ikan nila yaitu daging, tulang dan organ dalam. Hal itu dilakukan untuk mengetahui pola peningkatan konsentrasi di masing-masing bagian tersebut.

Setiap bagian sampel dimasukkan ke dalam aluminium foil tersendiri yang telah diketahui beratnya. Untuk tiap sampel ikan utuh dibutuhkan tiga aluminium foil untuk daging, tulang dan organ dalam. Kemudian aluminium foil yang telah diisi tersebut ditimbang, sehingga diketahui berat sampel sebesar berat total aluminium foil berisi sampel dikurangi berat aluminium foil.

Sampel ikan dikeringkan dengan cara pengovenan selama 4 jam pada suhu 125°C lalu digerus sehingga berbentuk serbuk agar memiliki bentuk, ukuran dan sifat yang sama dengan standar yang telah dibuat sehingga nilai efisiensi alat untuk standard bisa diberlakukan terhadap sampel.

Efisiensi alat diketahui dengan cara mencacah sampel di dalam vial plastik yang memiliki bentuk, ukuran dan bahan yang sama dengan vial plastik yang digunakan untuk mencacah standar.

### Pengolahan data

Hasil pengukuran menampilkan nilai cacah berbagai tingkatan energi dalam satuan cps (*count per second*). Energi Cs-134 berada pada kisaran 500-890 KeV dengan energi utama 604,9 KeV dan 795 KeV. Untuk mengubah satuan tersebut ke Bq, perlu diketahui efisiensi alat. Aktivitas sampel dihitung dengan cara membagi hasil pencacahan sampel dengan efisiensi alat.

Konsentrasi Cs-134 di dalam bagian tubuh ikan diperoleh dengan cara membandingkan antara aktivitas hasil perhitungan dengan berat sampel yang diukur. Konsentrasi Cs-134 di dalam air diketahui dengan cara membagi aktivitas hasil perhitungan dengan volume air.

$$\text{Aktivitas sampel} = \text{Nilai cacah sampel (cps)} \times \frac{\text{aktivitas std (Bq)}}{\text{Nilai cacah std (cps)}} \dots (1)$$

$$\eta_{\text{alat}} = \frac{\text{Nilai Cacah Std (cps)}}{\text{Aktivitas Std (Bq)}} \dots (2)$$

Apabila pencacahan sampel dilakukan pada hari yang berbeda setelah dilakukannya pengambilan sampel, maka perlu dikoreksi menggunakan persamaan (3) dan (4) dengan nilai  $T_{1/2}$  sebesar 748,25 hari sehingga diperoleh aktivitas pada saat sampling ( $A_0$ ).

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \dots (3)$$

Keterangan :

A = Aktivitas pada waktu t

$A_0$  = Aktivitas awal

$\lambda$  = Konstanta peluruhan radioaktif

Waktu paruh (*half life* atau  $T_{1/2}$ ) dari suatu unsur adalah waktu yang diperlukan inti atom unsur untuk meluruh menjadi setengah dari jumlah awal. Secara matematis, waktu paruh dapat dirumuskan sebagai berikut (Martin, 2002)

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \dots (4)$$

Selanjutnya, data-data yang diperoleh disusun sehingga diketahui konsentrasi rata-rata Cs-134 pada daging, tulang dan isi rongga perut ikan dari sampel-sampel yang diambil dari setiap bak. Konsentrasi Cs-134 pada sampel air diperoleh dari rasio aktivitas sampel air dengan

volume air yaitu 100 mL. Berdasarkan nilai rata-rata yang diperoleh tersebut, dibuat grafik konsentrasi Cs-134 terhadap waktu sehingga bisa terlihat pola perubahan konsentrasi cesium di daging, tulang dan organ dalam ikan dan di dalam bak perlakuan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada awal penelitian, jumlah ikan nila pada bak perlakuan sebanyak 60 ekor, lebih banyak daripada bak kontrol yaitu 47 ekor. Hal ini untuk mengantisipasi kemungkinan kurangnya jumlah ikan akibat tingginya tingkat kematian ikan yang diperkirakan akan diakibatkan oleh Cs-134. Pada kenyataannya, selama penelitian jumlah ikan yang mati pada bak perlakuan hanya 3 ekor (5% dari jumlah awal). Sementara, pada bak kontrol sebanyak 5 ekor (10,63% dari jumlah awal). Hal ini menunjukkan bahwa Cs-134 dengan aktivitas awal < dari 10 Bq atau 5 MBq dan konsentrasi 9,87 Bq/ml tidak menimbulkan paparan akut.

Standar yang digunakan memiliki aktivitas 2263,57 Bq/10gr basah. Dari hasil pencacahan diperoleh hasil pencacahan tingkatan energi Cs-134 (500-890KeV). Besar efisiensi alat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{\text{alat}} = \frac{\text{Nilai Cacah Std (cps)}}{\text{Aktivitas Std (Bq)}}$$

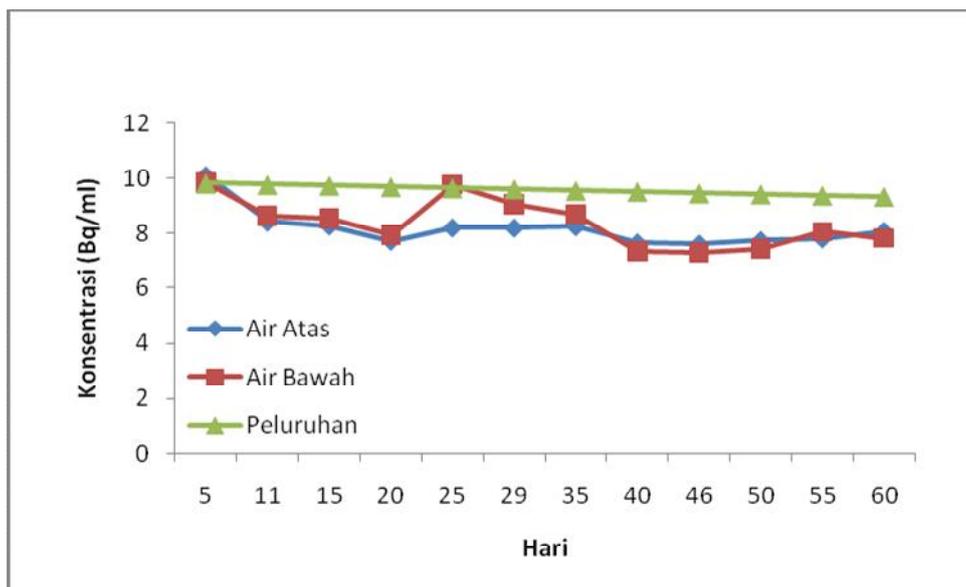
Berdasarkan nilai efisiensi tersebut, aktivitas sampel dapat dihitung dalam satuan Bq, yang selanjutnya diubah menjadi satuan konsentrasi dengan cara membagi aktivitas hasil perhitungan dengan massa sampel ikan atau volume sampel air.

Konsentrasi awal air kolam perlakuan sebesar 9,87 Bq/ml dan rata-rata konsentrasi air terendah terjadi pada hari ke-46 sebesar 7,46 Bq/ml (Tabel 4). Perbedaan antara konsentrasi peluruhan dan konsentrasi air dimungkinkan karena konsentrasi Cs-134 dalam air diserap oleh ikan dan sebagian terikat pada endapan dari sisa makanan dan kotoran ikan. Namun tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara sampel air atas dan sampel air bawah. Hal ini menunjukkan cukup meratanya Cs-134 pada kolam seperti terlihat pada **Gambar 1**

**Tabel 4**

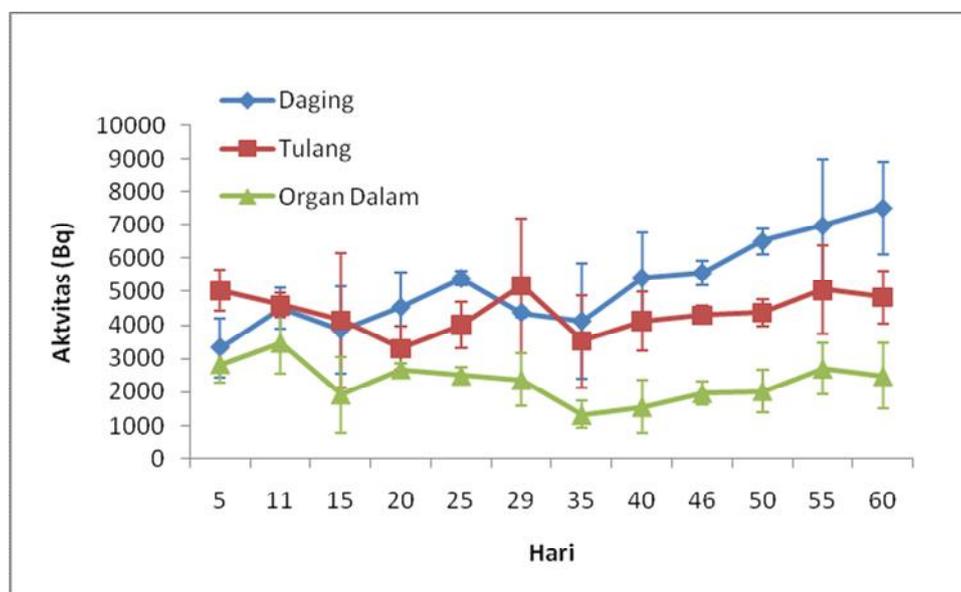
Konsentrasi Cs-134 dalam air bak perlakuan selama penelitian

Waktu (hari)	Konsentrasi Air Atas(Bq/ml)	Konsentrasi Air Bawah(Bq/ml)	Rata-Rata Konsentrasi Air (Bq/ml)
5	10.10835	9.864436	9.986394
11	8.424746	8.657241	8.540993
15	8.280604	8.563914	8.422259
20	7.723173	7.964575	7.843874
25	8.206985	9.790002	8.998494
29	8.202908	9.068623	8.635766
35	8.25789	8.691841	8.474865
40	7.654456	7.343072	7.498764
46	7.612039	7.30238	7.45721
50	7.740517	7.437542	7.58903
55	7.810144	8.073617	7.941881
60	8.085426	7.835041	7.960233



**Gambar 1.** Konsentrasi radionuklida Cs-134 dalam air terkontaminasi Cs-134

**Gambar 2** menjelaskan bahwa Pola aktivitas radionuklida Cs-134 pada tulang dan daging tidak terlalu berbeda jauh, dan kedua aktivitas tersebut lebih besar daripada aktivitas pada organ dalam.



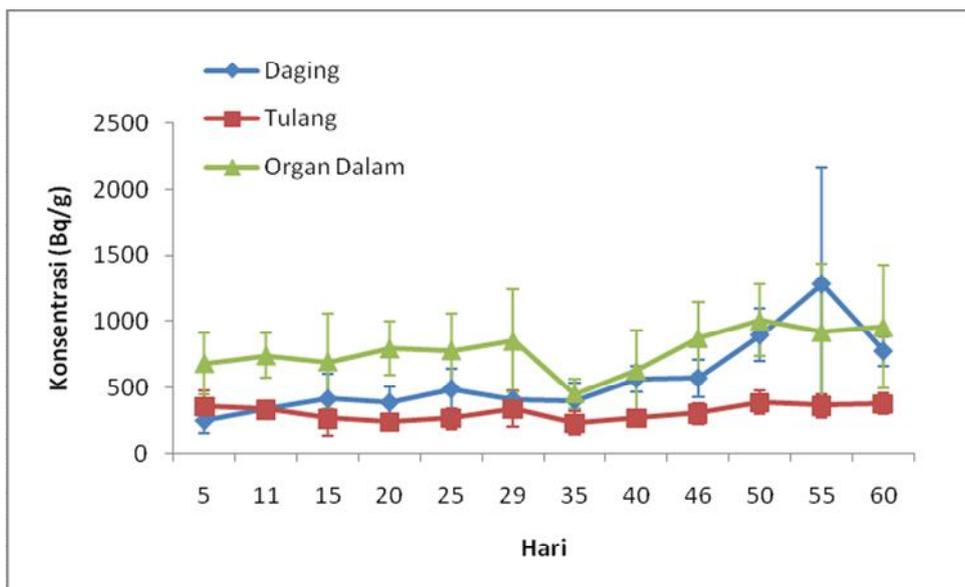
**Gambar 2.** Aktivitas dari radionuklida Cs-134 pada ikan nila selama penelitian

Distribusi konsentrasi Cs-134 dalam sampel ikan memiliki pola yang teratur yaitu organ dalam > daging > tulang. Tingginya konsentrasi Cs-134 pada organ dalam disebabkan organ dalam memiliki massa yang relatif lebih kecil dibandingkan daging dan tulang. Selain itu, organ dalam yang beberapa diantaranya terdiri dari usus dan ginjal masih mengandung air, makanan dan kotoran ikan. Konsentrasi Cs-134 dalam sampel ikan pada hari ke-0 sampai ke-55 pengamatan mengalami kenaikan sebanding dengan penambahan waktu, lalu turun pada hari ke-60. Konsentrasi tertinggi di bagian organ dalam dan daging sampel ikan terjadi pada hari ke-50 penelitian yaitu masing-masing sebesar 1279.46Bq/g dan 1005.65Bq/g. Namun pada tulang terlihat bahwa konsentrasi Cs-134 cukup konstan dan konsentrasi maksimumnya terletak pada hari ke-50 sebesar 387,14Bq/g. Konsentrasi pada daging lebih besar daripada tulang karena daging cenderung menyerap kalium yang memiliki karakteristik yang serupa dengan cesium seperti terlihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 3**.

Kalium adalah mineral yang membantu ginjal agar berfungsi normal. Kalium juga berbentuk elektrolit, sebuah zat yang menghantarkan listrik pada tubuh. Kalium sangat penting bagi fungsi hati dan memainkan peran yang besar pada tulang dan melancarkan kontraksi otot, membuat kalium penting bagi pencernaan normal dan fungsi otot. Hal inilah yang menyebabkan cesium, yang memiliki karakteristik yang serupa dengan kalium banyak terdistribusi pada organ dalam terutama hati dan ginjal.

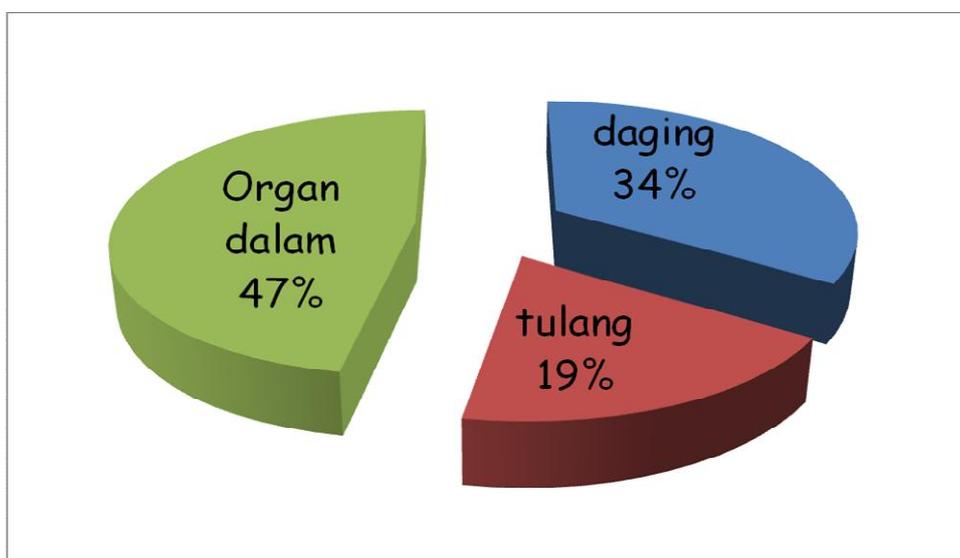
**Tabel 5**  
Konsentrasi Cs-134 pada kolam perlakuan selama penelitian

Waktu (Hari ke-)	Konsentrasi (Bq/gram)			
	Daging	Tulang	Organ dalam	Total
5	252.30	362.33	683.92	1298.55
11	339.14	335.10	741.57	1415.81
15	413.80	267.13	695.19	1376.12
20	387.67	241.54	795.83	1425.05
25	489.03	267.39	781.23	1537.65
29	410.49	339.60	852.29	1602.39
35	401.65	232.80	452.28	1086.73
40	565.89	267.81	629.66	1463.36
46	570.79	305.24	874.61	1750.63
50	895.49	387.14	1005.66	2288.29
55	1279.46	363.17	921.64	2564.26
60	774.57	380.48	958.03	2113.09



**Gambar 3.** Konsentrasi Cs-134 pada ikan selama penelitian.

Distribusi radionuklida pada masing-masing bagian dari tubuh ikan nila fluktuatif dimana organ dalam memiliki konsentrasi terbesar, diikuti oleh daging dan terakhir tulang seperti terlihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Distribusi radionuklida Cs-134 pada ikan nila yang hidup dalam air terkontaminasi Cs-134

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian dilakukan terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang hidup di dalam air dengan memiliki konsentrasi awal Cs-134 sebesar 9,87 Bq/ml. Pada penelitian selama 60 hari didapat bahwa ikan nila mengakumulasi Cs-134 dalam tubuhnya dengan distribusi organ dalam > daging > tulang, masing-masing sebesar 50,17%; 29,65%; dan 20,18%. Selama penelitian,

bioakumulasi Cs-134 dalam tubuh ikan nila cenderung memiliki pola yang teratur yaitu organ dalam > daging dengan nilai tertinggi masing-masing yaitu 1279.46Bq/g dan 1005.65Bq/g pada hari ke 55. Sedangkan konsentrasi tertinggi pada tulang sebesar 387,14Bq/g pada hari ke 50.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aarkrog, A., 1994, Past And Recent Trends In Radioecology, Environment International, Vol. 20, No. 5, hal. 635.
- Amri, K., Khairuman. 2003. Budidaya Ikan Nila secara Intensif. AgroMedia Pustaka. Jakarta.
- Fujimoto, K. 1993. *'General Protocol for Transfer Parameter Measurement'*. IAEA, Viena.
- Hiswara, E., Tjahaya, P.I., Wahyudi, 1996, 'Prosiding presentasi ilmiah keselamatan Radiasi dan lingkungan (ISSN: 0854-4085)', Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN
- Hu, Qin-Hong, Weng, Jian-Qing, Wang, Jin-Sheng, 2008, Sources of anthropogenic radionuclides in the environment: a review, Journal Environmental Radioactivity, No. 1-12, hal. 9.
- Martin, Alan & Samuel A. Harbison. disarikan oleh Poppy Intan Tjahaja. 2002. Materi Kuliah Keselamatan Radiasi. Jurusan Teknik lingkungan, FTSP, ITB. Bandung.
- Prihatman, Kemal. Proyek pengembangan ekonomi masyarakat pedesaan.. 2000. Bappenas. Jakarta.
- Topcuoglu, S. 2000. 'Bioaccumulation of cesium-137 by biota in different aquatic environments', Cekmece Nuclear Research and Training Center, Radiobiology Department, Istanbul Turkey.
- United Nation. 1998. Energi nuklir dan kebutuhan energi masa depan, United Nations, New York. [www.greenspiritstrategies.com/D127.cfm](http://www.greenspiritstrategies.com/D127.cfm), diakses tanggal 29 Mei 2007.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2006. What is radiation. USA. [www.epa.gov/radiation/students/what.htm](http://www.epa.gov/radiation/students/what.htm). 7 Juni 2007.
- WHO, 1989, Health Hazards from Radiocaesium Following the Chernobyl Nuclear Accident: Report on a WHO Working Group, Journal Environmental Radioactivity, Vol. 10, hal. 259.