

VALIDASI MODEL PERPINDAHAN RADIOSESIMUM DARI TANAH ANDOSOL KE RUMPUT GIGIRINTINGAN (*Cynodon dactylon*)

Putu Sukmabuana, Poppy Intan T., Juni Chussetijowati, Eem Rukmini, Rini H.Oetami

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN, Jl. Tamansari 71 Bandung 40132

ABSTRAK

VALIDASI MODEL PERPINDAHAN RADIOSESIMUM DARI TANAH ANDOSOL KE RUMPUT GIGIRINTINGAN (*Cynodon dactylon*). Untuk membuktikan bahwa model perpindahan radiocesium dari tanah ke tanaman juga berlaku untuk kondisi di lapangan, telah dilakukan validasi model perpindahan radiocesium dari tanah andosol ke rumput gigirinting (Cynodon dactylon). Pada penelitian ini, rumput gigirinting ditumbuhkan pada media tanah jenis andosol yang telah dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan aktivitas 2 MBq selama 56 hari. Sebagai kontrol rumput gigirinting juga ditumbuhkan pada tanah andosol yang tidak dikontaminasi. Setiap satu minggu sekali, rumput dan tanah diambil untuk diukur aktivitasnya dengan spektrometer gamma. Data hasil pengukuran aktivitas ^{134}Cs dalam tanah disubstitusikan ke dalam model matematis sehingga diperoleh nilai koefisien laju perpindahan (k_{12}), yaitu sebesar $1,548 \times 10^{-8}$ /hari dan $7,916 \times 10^{-8}$ /hari masing-masing waktu pengamatan 0-35 hari dan lebih dari 35 hari. Selanjutnya nilai k_{12} digunakan untuk menghitung aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman hasil analisis model dibandingkan dengan data yang diperoleh dari penelitian. Keterkaitan antara nilai aktivitas hasil penelitian dan hasil perhitungan dinyatakan sebagai koefisien korelasi yang besarnya 0,800. Koreksi nilai aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman berdasarkan perhitungan dinyatakan sebagai nilai standar deviasi, yaitu sebesar 0,262 untuk $0 \leq t \leq 35$ hari dan 0,141 untuk $35 < t \leq 56$. Walaupun terjadi perbedaan antara model dengan hasil percobaan, tetapi model perpindahan ^{134}Cs dari tanah ke tanaman dapat digunakan untuk menganalisis aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman yang tumbuh pada media tanah terkontaminasi.

Kata kunci : Radiocesium, Cs-134, tanah, rumput, rumput gigirinting

ABSTRACT

MODEL VALIDATION OF RADIOCESIUM TRANSFER FROM ANDOSOL SOIL TO CARPET GRASS (*Cynodon dactylon*). A model validation of radiocesium transfer from andosol soil to carpet grass (Cynodon dactylon) had been done to validate the model toward field experiment data. The carpet grass were grown on the andosol soil contaminated with ^{134}Cs of 2 MBq for about 56 days. As the control other carpet grass were also grown on andosol soil without ^{134}Cs contamination. Every week grass and soil were sampled and then the activities were counted using gamma spectrometer. The data of ^{134}Cs activities on soil were substituted to transfer model equation to obtain coefficient of transfer rate (k_{12}), i.e. $1,548 \times 10^{-8}$ /day and $7,916 \times 10^{-8}$ /day for 0-35 days and after 35 days observation period respectively. The values of k_{12} were used for calculating the activities of ^{134}Cs on grass. The ^{134}Cs activities on grass obtained from model analysis were compared with the activities data obtained from the experiment. Correlation between activities obtained from the experiment and those obtained from model analysis was expressed as correlation coefficient i.e. 0,800. The value of ^{134}Cs on grass obtained from the model analysis can be corrected using standard deviation values, i.e. 0,262 and 0,141 for 0-35 days and after 35 days observation period respectively. Although there is a difference between ^{134}Cs activities on grass obtained from model analysis and experimental data, the model of ^{134}Cs transfer from soil to grass can be used for analysing ^{134}Cs activities on grass grown on radiocesium contaminated soil.

Key words : radiocesium, Cs-134, soil, grass, carpet grass.

I. PENDAHULUAN

Dari beberapa radionuklida hasil belah yang mungkin terlepas ke lingkungan pada saat terjadi kecelakaan nuklir, radiocesium (^{134}Cs , ^{137}Cs) memegang peranan yang cukup penting dalam siklus di alam. Radiocesium ini secara kimia analog dengan kalium yang merupakan unsur penting dalam metabolisme intraseluler. Radiocesium yang terlepas ke udara pada saat kecelakaan akan terdeposisi pada permukaan tanah dan kemudian masuk rantai makanan (tanaman dan hewan) sampai akhirnya masuk ke dalam tubuh manusia. Mudah tidaknya radiocesium diserap tanaman bergantung pada susunan tanah dimana ion berbagai unsur berkumpul. [1-6]

Rumput gigitrintangan (*Cynodon dactylon*) adalah rumput yang dapat tumbuh sepanjang tahun, dan berasal dari Asia dan Afrika, terdistribusi di daerah subtropik, di Indonesia juga banyak ditemui kecuali di pulau Sulawesi dan Papua. Rumput ini memiliki ciri berupa cabang pada tiap buku/ruas mempunyai *rhizoma*, batang berbentuk silinder (bulat) sedikit pipih, untuk yang tua di dalamnya terdapat rongga kecil, mempunyai tinggi 10-40 cm, berpelelepah panjang dan ditumbuhi bulu-bulu halus, daun tersusun dua baris. Lidah sangat pendek, helaian daun bentuk garis, tepi kasar, hijau kebiruan, berambut atau gundul, ukuran daun 2-15 x 0,2-0,7 cm. Bulir 3-9, panjang bulir 5-6 cm, poros bulir berlunas, anak bulir berdiri sendiri, berseling kanan-kiri lunas. Habitat dari rumput ini adalah pada daerah yang cukup mendapat sinar matahari, lebih cocok pada tanah-tanah keras dan mengandung alkalin dan tanah yang bersifat asam [7].



Gambar 1. Rumput gigitrintangan (*Cynodon dactylon*)

Dalam rantai makanan, rumput merupakan produsen yang menempati mata rantai pertama, sehingga apabila terdapat kontaminan dalam tanah, rumput bertindak sebagai pengakumulasi pertama yang kemudian akan meneruskannya ke mahluk hidup lainnya. Demikian pula halnya apabila terdapat radiocesium dalam tanah sebagai akibat adanya kecelakaan, radiocesium akan diserap oleh tanaman rumput, kemudian radiocesium masuk ke dalam tubuh hewan ternak. Dan pada akhirnya bila manusia mengkonsumsi daging hewan ternak tersebut, maka sampailah radiocesium ke tubuh manusia.

Biota, dalam hal ini rumput, mempunyai kemampuan mengakumulasi bahan-bahan kimia tertentu sehingga konsentrasi dalam biota jauh di atas konsentrasi media yang merupakan jalur masuknya bahan kimia tersebut. Kemampuan tanaman mengakumulasi unsur dinyatakan sebagai faktor biokonsentrasi yang pada dasarnya adalah nisbah konsentrasi aktivitas radionuklida pada jaringan suatu komponen lingkungan dengan konsentrasinya dalam medium setelah dicapainya kejenuhan konsentrasi. Faktor biokonsentrasi biasanya dihitung untuk bagian yang dapat dimakan, seperti daging pada hewan atau daun, buah, dan umbi pada tanaman. Faktor biokonsentrasi itu sendiri dapat didefinisikan sebagai perbandingan konsentrasi pada jaringan (A_j) terhadap konsentrasi pada media (A_a), sehingga dapat ditampilkan dengan rumus empiris sebagai berikut,

$$F_b = A_j / A_a \quad (1)$$

dimana,

F_b : faktor biokonsentrasi

A_j : konsentrasi pada jaringan dan

A_a : konsentrasi pada media

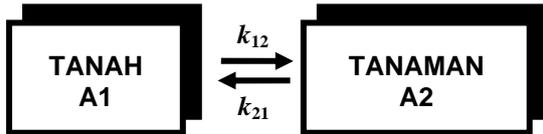
Dampak radiologik adanya lepasan bahan radioaktif di lingkungan biasanya dievaluasi dengan bantuan model matematik. Dalam model ini jalur radionuklida dari titik lepas hingga sampai ke manusia digambarkan sebagai perpindahan antara beberapa komponen lingkungan. Perpindahan radionuklida antar kompartemen biasanya dinyatakan dalam parameter perpindahan.

Melalui model matematik sistem perpindahan dapat diperkirakan akumulasi

radionuklida pada tanaman. Untuk memastikan penerapan model matematik perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman dilakukan percobaan lapangan perpindahan radiocesium dari tanah ke tanaman rumput di sekitar PTNBR, BATAN, Bandung.

2. TEORI

Pada model perpindahan radionuklida tanah-tanaman, tanah dan tanaman dianggap sebagai sub sistem tunggal. Tanah merupakan sub-sistem sentral dan tanaman merupakan sub-sistem penerima, seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Pada model ini diambil pendekatan bahwa pada saat $t = 0$ tidak terdapat radionuklida dalam tanaman, jadi radionuklida seluruhnya berada pada sub-sistem sentral. Secara matematika perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman dan sebaliknya dirumuskan oleh Yasuda [8] sebagai berikut :



Gambar 2. Model kompartemen tanah-tanaman

$$\frac{dQ_1}{dt} = k_{21}Q_2 - (k_{12} + \lambda)Q_1 \quad (2)$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{k_{12}}{Y} Q_1 - (k_{21} + \lambda)C \quad (3)$$

di mana,

- Q_1 : konsentrasi radionuklida dalam tanah (MBq / satuan berat)
- Q_2 : konsentrasi radionuklida dalam tanaman (MBq / satuan berat)
- C : konsentrasi radionuklida dalam tanaman (MBq / g satuan berat kering)
- Y : produksi tanaman
- λ : konstanta peluruhan (1/hari)
- k_{12} : koefisien laju perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman (1/hari)
- k_{21} : koefisien laju perpindahan radionuklida dari tanaman ke tanah (1/hari)

Menurut Muharini [9] tidak ada bukti perpindahan radionuklida dari bagian tanaman ke tanah, sehingga nilai k_{21} sama dengan nol.

Persamaan (2) dan (3) menjadi:

$$\frac{dQ_1}{dt} = -(k_{12} + \lambda)Q_1 \quad (4)$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{k_{12}}{Y} Q_1 - \lambda C \quad (5)$$

Dengan mengalikan konsentrasi radionuklida di tanah (Q_1) dengan berat tanah dan mengalikan konsentrasi radionuklida di tanaman (C) dengan berat kering tanaman diperoleh aktivitas radionuklida di dalam tanaman:

$$\frac{dA_1}{dt} = -(k_{12} + \lambda)A_1 \quad (6)$$

$$\frac{dA_2}{dt} = k_{12}A_1 - \lambda A_2 \quad (7)$$

di mana,

A_1 = aktivitas radionuklida dalam tanah (MBq)

A_2 = aktivitas radionuklida dalam tanaman (MBq)

Persamaan diferensial di atas dapat diselesaikan dengan cara analitik dan diperoleh,

$$A_1 = A_{1(0)} e^{-(k_{12} + \lambda)t} \quad (8)$$

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-\lambda t} - e^{-(k_{12} + \lambda)t}) \quad (9)$$

3. TATA KERJA

3.1. Percobaan

Rumput gigirintangan ditanam pada medium tanah yang dicemari dengan ^{134}Cs . Tanah yang digunakan adalah tanah yang ada di halaman PTNBR, BATAN, Bandung dengan karakteristik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1. Tanah sebanyak 20 kg dimasukkan ke dalam bak kayu dengan ukuran $1 \times 1 \times 0,30 \text{ m}^3$ yang dialasi plastik. Tanah diatur sedemikian sehingga ketinggiannya mencapai kira-kira 10 cm dari tepi atas bak kayu.

Sebanyak lebih kurang 1 kg tanah ditambah dengan larutan $^{134}\text{CsCl}$ dengan aktivitas 2M Bq diaduk sampai homogen. Tanah yang telah dicemari tersebut kemudian disebar

ke tanah dalam bak kayu, dan diaduk sampai homogen. Homogenitas diuji dengan cara mengambil lima cuplikan tanah, masing-masing sebanyak 25 g, pada tempat yang berbeda secara acak, kemudian diukur aktivitas ^{134}Cs menggunakan spektrometer gamma.

Tabel 1. Karakteristik tanah di halaman PTNBR, BATAN Bandung [3]

No	Parameter	Nilai
1	Sifat kimia	
	pH	6,5 – 7,5
	Kandungan bahan organik	2,21 g/cm ³
2	Kandungan air	27,34 %
	Sifat fisika	
	Porositas	0,714
	Berat volume	0,760 g/ cm ³
3	kering	
	Berat jenis	2,390 g/ cm ³
3	Tekstur tanah	Liat berlempung

Rumput gilirintangan sebanyak 30 individu dengan ukuran yang relatif seragam ditanam pada tanah yang telah dicemari, dan dipelihara selama 60 hari. Setiap tujuh hari sekali tanah dan rumput gilirintangan diambil sebanyak tiga individu, kemudian diproses untuk pengukuran dengan gamma spektrometer. Sebagai kontrol ditanam pula 30 individu rumput gilirintangan pada tanah yang tidak dicemari dengan ^{134}Cs dengan cara yang sama seperti pada rumput gilirintangan yang diberi perlakuan. Seperti rumput gilirintangan yang ditanam pada media yang dicemari, rumput gilirintangan kontrol juga diambil sampelnya setiap tujuh hari sekali.

Sampel rumput gilirintangan dibersihkan dari tanah yang melekat pada akarnya dengan cara menguncang rumput sehingga tanah yang melekat pada permukaan akar maupun daun jatuh. Kemudian rumput dicuci di air mengalir hingga bersih, secara visual tidak terlihat adanya partikel tanah yang melekat. Rumput dikeringkan dengan lampu infra merah selama lebih kurang 24 jam sampai diperoleh berat konstan. Cuplikan rumput yang telah dikeringkan kemudian dicacah dengan spektrometer Gamma selama 180 detik.

Bersamaan dengan pengambilan sampel rumput, dilakukan pula pengambilan sampel tanah sebanyak 25g. Sampel tanah dikeringkan kemudian dicacah dengan spektrometer gamma selama 180 detik.

3.2. Validasi model

Dari percobaan lapangan diperoleh data aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dan tanaman. Data tersebut disubstitusikan ke dalam model persamaan perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman, yaitu persamaan 4 hingga persamaan 9.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dan tanaman diperlihatkan pada Tabel 2. Adanya penyerapan ^{134}Cs dari tanah ke tanaman terdeteksi pada hari ke 7. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa aktivitas ^{134}Cs dalam tanah menurun seiring dengan kenaikan aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman rumput. Aktivitas ^{134}Cs tertinggi terdeteksi pada hari ke 35 yang mencapai 1,166 Bq.

Tabel 2. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dan rumput gilirintangan hasil penelitian.

Waktu (hari)	Aktivitas ^{134}Cs	
	Tanah (10 ⁶ Bq)	Rumput (Bq)
0	2,000	0,000
7	1,950	0,227
14	1,941	0,616
21	1,915	0,695
28	1,906	0,704
35	1,898	1,166
42	1,886	0,740
49	1,879	0,743
56	1,865	0,708

Pada Tabel 2 memperlihatkan data kenaikan aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman seiring dengan berjalannya waktu sampai hari ke 35. Selanjutnya dapat dilihat bahwa tidak terjadi lagi kenaikan, dan aktivitas ^{134}Cs cenderung menurun dari hari ke 36 sampai hari ke 56. Penyerapan ^{134}Cs dari tanah terdeteksi pada tanaman pada hari ke 7, pada hari ke 35 telah terjadi kejenuhan dalam penyerapan ^{134}Cs , sehingga tidak terlihat adanya peningkatan akumulasi ^{134}Cs dalam tanaman.

Aktivitas ^{134}Cs dalam tanah yang diperoleh dari hasil pengukuran sampel tanah dengan spektrometer gamma dibandingkan dengan aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dari hasil perhitungan yang mengasumsikan penurunan

aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dengan berjalannya waktu sebagai akibat dari peluruhan fisis dan penyerapan oleh tanaman (persamaan 10).

$$A_1 = A_{1(0)} e^{-\lambda t} - A_2 \quad (10)$$

di mana,

- A_1 = aktivitas ^{134}Cs dalam tanah pada waktu t
- $A_{1(0)}$ = aktivitas awal ^{134}Cs dalam tanah
- λ = konstanta peluruhan = $9,255 \times 10^{-4}$ / hari
- A_2 = aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman

Terjadi perbedaan aktivitas ^{134}Cs hasil pengukuran dengan hasil perhitungan seperti dapat dilihat pada Tabel 3 yang kemudian datanya diplotkan dalam Gambar 3. Aktivitas ^{134}Cs hasil pengukuran lebih rendah sekitar 1,67-2,32 % dibandingkan dengan hasil perhitungan. Ada beberapa hal yang diduga menjadi penyebab perbedaan tersebut, diantaranya adalah hilangnya ^{134}Cs akibat proses pencucian pada waktu penyiraman tanaman.

Laju penyerapan ^{134}Cs dari tanah ke tanaman (k_{12}) ditentukan berdasarkan hubungan antara A_1 dengan $A_{1(0)}$ seperti pada persamaan (8) dan (9). $A_{1(0)}$ adalah aktivitas awal ^{134}Cs dalam tanah sedang A_1 adalah aktivitas ^{134}Cs dalam tanah setelah t hari.

Berdasarkan hasil percobaan, nilai k_{12} ditentukan melalui dua tahap. Tahap pertama, k_{12} ditentukan dengan menggunakan kurva garis lurus antara $\ln(A_{1(0)}/A_1)$ versus t . Nilai k_{12} merupakan slope dari kurva garis lurus tersebut yang dirumuskan Birkes, D. [10] sebagai berikut (persamaan 11),

$$k_{12} = \frac{\sum_{i=0}^t \left[\left(\ln \frac{A_{1(0)}}{A_1} \right)_i - \left(\ln \frac{A_{1(0)}}{A_1} \right)_{rata-rata} \right] \times [t - t_{rata}]}{\sum_{i=0}^t [t - t_{rata-rata}]^2} \quad (11)$$

Nilai k_{12} tahap pertama berlaku untuk aktivitas ^{134}Cs dalam rumput yang mengalami kenaikan sebagai fungsi waktu, yaitu dari hari ke 0 sampai hari ke 35 (lihat Tabel 2).

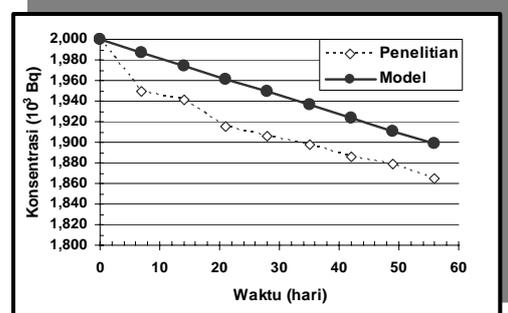
Tahap kedua, nilai k_{12} ditentukan dengan cara substitusi nilai $A_{1(0)}$ dan A_1 ke persamaan (8). Nilai k_{12} adalah nilai rata-rata dari setiap hasil perhitungan yang dirumuskan sebagai berikut,

$$k_{12} = \frac{\ln \frac{A_{1(0)}}{A_1}}{t} - \lambda \quad (12)$$

Tabel 3. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanah hasil pengukuran dan hasil perhitungan

Waktu (hari)	Aktivitas ^{134}Cs dalam tanah		Perbedaan (%)
	Hasil penelitian	Hasil perhitungan	
0	2,000	2,000	0,000
7	1,950	1,987	1,850
14	1,941	1,947	1,674
21	1,915	1,961	2,320
28	1,906	1,949	2,182
35	1,898	1,936	1,999
42	1,886	1,924	1,977
49	1,879	1,911	1,676
56	1,865	1,899	1,792

Nilai k_{12} tahap kedua berlaku untuk aktivitas ^{134}Cs dalam rumput setelah hari ke 35, yang pada saat itu tidak terjadi kenaikan aktivitas lagi (rumput telah mengalami kejenuhan dalam menyerap ^{134}Cs). Dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh nilai k_{12} ^{134}Cs dari tanah ke rumput, yaitu sebesar $1,54836 \times 10^{-8}$ /hari untuk $0 \leq t \leq 35$ hari dan $7,91620 \times 10^{-9}$ / hari untuk $35 < t \leq 56$ hari.



Gambar 3. Penurunan aktivitas ^{134}Cs dalam tanah berdasarkan hasil penelitian dan hasil perhitungan.

Penelitian serupa pernah dilakukan pada Rumput Belulang (*Eleusin indica*) dan rumput Gajah (*Pennisetum polystachyon*), seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.

Terlihat adanya perbedaan nilai koefisien laju perpindahan ^{134}Cs dari tanah ke beberapa jenis rumput tersebut. Perbedaan itu mungkin terjadi karena masing-masing rumput secara fisiologi tidak sama, sehingga penyerapan unsur-unsur kimia dari tanah oleh tanaman juga tidak sama.

Validasi model dilakukan untuk membandingkan akumulasi ^{134}Cs dalam tanaman yang diperoleh berdasarkan perhitungan dengan hasil penelitian. Pada validasi model dilakukan substitusi nilai K_{12} yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan aktivitas awal ^{134}Cs dalam tanah untuk menghitung aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Koefisien Laju Perpindahan ^{134}Cs dari Tanah ke Beberapa Jenis Rumput

Nama Rumput	Koefisien Laju Perpindahan Cesium (per hari)	Waktu Penanaman (hari)
Gigirintangan (<i>Cynodon dactylon</i>)	$1,55 \times 10^{-8}$	$0 < t \leq 35$
	$7,92 \times 10^{-9}$	$35 < t \leq 56$
Belulang [12] (<i>Eleusin indica</i>)	$4,45 \times 10^{-8}$	$0 < t < 42$
	$2,29 \times 10^{-8}$	$42 < t < 56$
Gajah [13] (<i>Pennisetum polystachyon</i>)	$2,58 \times 10^{-7}$	$0 < t < 28$
	$1,32 \times 10^{-7}$	$28 < t < 56$

Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman dapat dihitung berdasarkan model matematik, seperti yang dirumuskan pada persamaan 9. Contoh perhitungan aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman pada hari ke 7, sebagai berikut,

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-\lambda t} - e^{-(k_{12} + \lambda) t})$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2.000.000(e^{-(9,25527E-4) \times 7} - e^{-(1,54836E-8 + 9,25527E-4) \times 7}) \\ &= 2.000.000 (0,993542322 - 0,88585732) \\ &= 0,2154 \text{ Bq} \end{aligned}$$

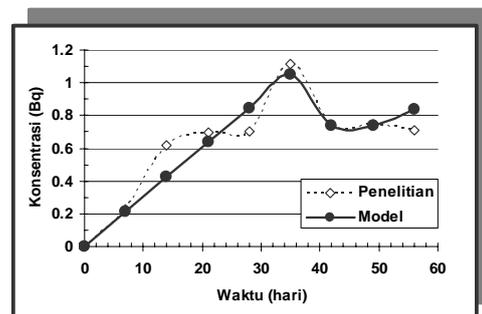
Dengan cara seperti di atas dilakukan penghitungan aktivitas ^{134}Cs dalam rumput untuk setiap kali pengambilan sampel. Hasilnya dibandingkan dengan hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Dapat dilihat adanya perbedaan data hasil penelitian dengan hasil perhitungan menggunakan model. Kurva aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman yang diperoleh dari hasil analisis model memperlihatkan bentuk garis lurus yang artinya mempunyai

hubungan linier dengan waktu pemaparan pada saat awal sampai terjadinya akumulasi yang maksimum. Sedangkan kurva aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman yang diperoleh dari data penelitian menunjukkan adanya fluktuasi. Hal ini dapat dipahami karena pada model tidak diperhitungkan adanya faktor fisiologis tanaman yang relatif rumit.

Tabel 5. Perbandingan antara aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman dari data hasil penelitian dan data perhitungan dari model matematis.

Waktu	Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman	
	Hasil penelitian	Hasil perhitungan
0	0,000	0,000
7	0,227	0,215
14	0,616	0,428
21	0,695	0,638
28	0,704	0,845
35	1,166	1,049
42	0,740	0,740
49	0,743	0,741
56	0,708	0,841



Gambar 4. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman yang merupakan data hasil penelitian dan data perhitungan dari model matematik.

Untuk melihat keterkaitan hasil antara penelitian dan model ditentukan koefisien korelasi antara data yang diperoleh berdasarkan model dengan hasil penelitian [11], dengan persamaan berikut :

$$r = \frac{n \sum_{i=0}^n A_{(2,penelitian)_i} A_{(2,model)_i} - \sum_{i=0}^n A_{(2,penelitian)_i} \sum_{i=0}^n A_{(2,model)_i}}{\left\{ \left(n \sum_{i=0}^n A_{(2,penelitian)_i}^2 - \left(\sum_{i=0}^n A_{(2,penelitian)_i} \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=0}^n A_{(2,model)_i}^2 - \left(\sum_{i=0}^n A_{(2,model)_i} \right)^2 \right) \right\}^{1/2}} \quad (13)$$

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (13), diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 0,800, artinya 80 % dari data yang diperoleh dari model sama dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian. Penelitian serupa pernah dilakukan pada Rumput Belulang (*Eleusine indica*) dan rumput Gajah (*Pennisetum polystachyon*), masing-masing nilai koefisien korelasinya sebesar 0,841 dan 0,840. [12,13] Bila dibandingkan dengan nilai koefisien korelasi pada rumput gajah dan rumput belulang, maka nilai koefisien korelasi rumput gigitintangan ada sedikit perbedaan tapi tidak terlalu besar, hanya sekitar 0,04 atau 4 %.

Penyimpangan hasil perhitungan model dapat dikoreksi dengan menghitung simpangan baku model terhadap hasil penelitian [11], dengan menggunakan rumus:

$$SD = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (A_{2\text{model}(i)} - A_{2\text{penelitian}(i)})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (14)$$

Diperoleh nilai simpangan baku model sebesar 0,2621 untuk $0 < t < 35$ hari dan 0,1415 untuk $35 < t < 56$. Dengan memasukkan faktor koreksi yang berupa simpangan baku maka model perpindahan ^{134}Cs dari tanah ke rumput gigitintangan menjadi :

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-\lambda t} - e^{-(k_{12} + \lambda) t}) \pm SD$$

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-(9,25527E-4)t} - e^{-(9,25543E-4)t}) \pm 0,2621, \text{ untuk } 0 \leq t \leq 35 \quad (15)$$

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-(9,25527E-4)t} - e^{-(9,25535E-4)t}) \pm 0,1415, \text{ untuk } 35 < t \leq 56 \quad (16)$$

5. KESIMPULAN

Percobaan lapangan perpindahan ^{134}Cs dari tanah andosol ke tanaman dapat dikatakan berhasil baik, karena penurunan aktivitas ^{134}Cs dalam tanah sebanding dengan banyaknya ^{134}Cs yang meluruh dan yang diserap oleh tanaman (hasil perhitungan). Perbedaan antara data lapangan dan hasil perhitungan sebesar 1,67-2,32 %.

Model perpindahan ^{134}Cs dari tanah Andosol ke tanaman rumput telah dibandingkan dengan data hasil penelitian. Berdasarkan penurunan konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah sebagai fungsi waktu akibat proses peluruhan fisik dan penyerapan oleh

rumput, telah ditentukan nilai koefisien laju perpindahan (k_{12}) ^{134}Cs dari tanah ke tanaman. Diperoleh dua buah nilai k_{12} masing-masing untuk periode waktu awal sampai 35 hari, yang pada saat itu terjadi peningkatan konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman, dan untuk periode waktu 35 hari sampai 56 hari yang pada saat itu tidak terlihat adanya kenaikan konsentrasi. Besarnya nilai k_{12} adalah $1,55 \times 10^{-8}$ /hari untuk $0 \leq t \leq 35$ hari dan $7,92 \times 10^{-9}$ /hari untuk $35 < t \leq 56$ hari.

Dari hasil validasi model perpindahan ^{134}Cs dari tanah Andosol ke tanaman rumput gigitintangan diketahui bahwa terjadi perbedaan antara hasil perhitungan dari model dengan hasil penelitian. Walaupun demikian korelasi antara model dengan hasil penelitian relatif baik dengan diperolehnya nilai koefisien korelasi sebesar 0,8. Penyimpangan ini dapat dikoreksi dengan cara menambahkan faktor koreksi yang berupa simpangan baku. Nilai simpangan baku yang diperoleh adalah sebesar 0,2621 untuk $0 \leq t \leq 35$ hari dan 0,1415 untuk $35 < t \leq 56$ hari.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. MALCOLM WILLIAMS, DAVID W. WOHLERS, MARIO CITRA, GARY L. DIAMOND, STEPHEN G. SWARTS, Toxicological Profil for Cesium, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic and Substances and Disease Registry, April 2004.
2. VANDENHOVE, H., et.al., Effect of K and bentonite additions on Cs-transfer to ryegrass, Journal of Environmental Radioactivity 81 (2005).
3. RAHMAN, M.M., G. VOIGT, Radiocaesium soil-to-plant transfer in tropical environments, Journal of Environmental Radioactivity 71 (2004).
4. FORTUNATI, P., et.al., Foliar uptake of ^{134}Cs and ^{85}Sr in strawberry as function by leaf age. Journal of Environmental Radioactivity 71 (2004).
5. HAKANSON, L., J. A. FERNANDEZ, A mechanistic sub-model predicting the influence of potassium on radiocesium uptake in aquatic biota, Journal of Environmental Radioactivity 54 (2001).
6. KNATKO, V.A., et.al., Soil-to-potato transfer of Belarus: regression analysis

- of the transfer factor againsts ^{137}Cs deposition and soil characteristics, *Journal of Environmental Radioactivity* 48 (2000).
7. **SURYANI, M., A.J.G.H., KOSTERMANS, G., TJITROSOEPOMO,** Weeds Of Rice in Indonesia, Balai Pustaka, Jakarta, 1980.
 8. **YASUDA. H., et.al.,** Transfers model in soil-plant system used for environmental impact assessment, *Journal of Science and Nuclear Technology*, 1995.
 9. **MUHARINI, A.,** Model Dinamik Untuk Penyerapan Cs-134 Dalam Tanah oleh Tanaman Paksoi (*Brassica rapa*). Tesis Magister Teknik Lingkungan, ITB, 1998.
 10. **BIRKES, D. and Y., DODGE,** Alternative Method Of Regression, John Wiley and Sons, Inc, New York, USA, 1993.
 11. **WALPOLE,** Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan ITB, Bandung, 1986.
 12. **PUTU SUKMABUANA, POPPY INTAN TJAHAJA, SUHULMAN, RINI HEROE OETAMI,** Model Perpindahan Radiosesium Dari Tanah ke Rumput Belulang (*Eleusin Indica*), Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir, P3TkN-BATAN Bandung, 14-15 Juni 2005, hal. 197 - 205.
 13. **PUTU SUKMABUANA, POPPY INTAN TJAHAJA, ZULFAKHRI, RINI HEROE OETAMI,** Validasi Model Perpindahan Radiosesium Dari Tanah ke Rumput Gajah (*Pennisetum polystachyon*), Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM-BATAN Yogyakarta, 12 Juli 2005, hal. 222-228.