

VALIDASI MODEL PERPINDAHAN RADIOCESIUM DARI TANAH KE RUMPUT GAJAH (*Pennisetum polystachyon*)

Putu Sukmabuana, Poppy Intan Tjahaja, Zulfakhri dan Rini Heroe Oetami

P3TKN – BATAN

ABSTRAK

VALIDASI MODEL PERPINDAHAN RADIOCESIUM DARI TANAH KE RUMPUT GAJAH (*Pennisetum polystachyon*). Telah dilakukan validasi model perpindahan radiocesium dari tanah andosol ke rumput gajah (*Pennisetum polystachyon*) untuk membuktikan bahwa model tersebut berlaku untuk kondisi lapangan. Pada percobaan lapangan, rumput gajah ditumbuhkan pada media tanah jenis andosol yang dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan aktivitas 2 MBq selama 56 hari. Sebagai kontrol rumput gajah juga ditumbuhkan pada tanah andosol yang tidak dikontaminasi dengan ^{134}Cs . Setiap satu minggu sekali rumput, baik yang ditumbuhkan di media terkontaminasi maupun kontrol, diambil sebanyak 3 individu untuk diukur aktivitasnya. Bersamaan dengan pengambilan sampel rumput dilakukan juga pengambilan sampel tanah. Aktivitas rumput dan tanah diukur dengan spektrometer gamma. Data hasil pengukuran aktivitas ^{134}Cs dalam sampel tanah disubstitusikan ke dalam model perpindahan radiocesium dari tanah ke tanaman sehingga diperoleh nilai koefisien laju perpindahan (k_{12}), yaitu sebesar $2,58 \times 10^{-7}$ /hari dan $1,32 \times 10^{-7}$ /hari masing-masing dengan waktu pengamatan 0-28 hari dan lebih dari 28 hari. Nilai k_{12} tersebut digunakan untuk menghitung aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman hasil analisis model dibandingkan dengan data yang diperoleh dari penelitian. Keterkaitan nilai aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman hasil percobaan dan hasil perhitungan dinyatakan sebagai koefisien korelasi yang besarnya 0,84. Koreksi nilai aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman berdasarkan perhitungan dinyatakan sebagai nilai standar deviasi, yaitu sebesar 3,10 untuk $0 \leq t \leq 28$ hari dan 3,19 untuk $28 < t \leq 56$. 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 dengan ^{134}Cs dengan memasukkan nilai standar deviasi.

Kata kunci : radiocesium, Cs-134, tanah, rumput, rumput gajah.

ABSTRACT

MODEL VALIDATION OF RADIOCESIUM TRANSFER FROM SOIL TO MISSION GRASS (*Pennisetum polystachyon*). A model validation of radiocesium transfer from andosol soil to elephant grass (*Pennisetum polystachyon*) had been done to validate the model toward field experiment data. The mission grass were grown on the andosol soil contaminated with ^{134}Cs of 2 MBq for about 56 days. As the control other elephant grass were also grown on andosol soil without ^{134}Cs contamination. Every week both of contaminated and not contaminated grass were sampled for 3 individu respectively. The soil media were also samples. The samples were dried in infra red lamp and then the activities were counted using gamma spectrometer. The data of ^{134}Cs activities on soil and grass were substituted to transfer model equation to obtain coeficeint of transfer rate (k_{12}), i.e $2,58 \times 10^{-7}$ /day and $1,32 \times 10^{-7}$ /day for 0-28 days and after 28 days observation period respectively. The valus of k_{12} were used for calculating the activities of ^{134}Cs on grass. The ^{134}Cs activites on grass obtained from model analysis were compared with the activites data obtained from the experiment. Correlation of ^{134}Cs activites on grass obtained from the experiment with those obtained from model analysis was expressed as correlation coeffisient i.e. 0,84. The value of ^{134}Cs on grass obtained from the model analysis can be corrected using Standard deviation values, i.e. 3,10 and 3,19 for 0-28 days and after 28 days observation period respectively. Although there is a difference between ^{134}Cs activities on grass obtained from model analysis and experiment 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 : radiocaesium, Cs-134, soil, grass, elephant grass.

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 ke dalam rantai makanan (tanaman dan hewan) sampai akhirnya ke dalam tubuh manusia. Oleh karena itu untuk tujuan mengkaji dosis terimaan masyarakat, maka penelitian mengenai *transfer* radiocesium dari tanah ke rumput perlu dilakukan.

Rumput gajah (*Pennisetum polystachyon*) merupakan satu spesies rumput yang banyak tumbuh di lingkungan. Rumput ini berasal dari bagian tropis Afrika dan daerah penyebarannya ke daerah tropis Asia dan Afrika termasuk Indonesia. Rumput gajah dapat hidup sepanjang tahun dan ada hampir disemua tempat di Indonesia. Rumput ini memiliki ciri; berwarna hijau sepanjang tahun, bercabang ramping, berakar serabut, pelepah daunnya bersayap belakang terbalik serta berbatang padat, batang berbentuk silinder (bulat), mempunyai tinggi 50-300 cm, berpelepah panjang dan ditumbuhi bulu-bulu halus. Panjang daun ada yang sepanjang batangnya, ukuran daun 5-45 cm x 5-18 mm. Rumput ini, juga digunakan sebagai makanan ternak karena produksinya cukup tinggi dibandingkan dengan rumput jenis lain. Disamping itu, rumput ini mudah ditanam dan dapat tumbuh dengan baik pada tanah dengan pH netral. [1].



Gambar 1. Rumput gajah (*Pennisetum polystachyon*)

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 nuklir, radiocesium akan diserap oleh tanaman rumput, kemudian radiocesium akan masuk ke dalam tubuh hewan ternak. Pada akhirnya bila manusia mengkonsumsi daging hewan ternak tersebut, maka radiocesium akan samapi 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: perbandingan (*ratio*) antara konsentrasi aktivitas radionuklida pada jaringan suatu komponen lingkungan terhadap konsentrasi aktivitas radionuklida dalam medium setelah dicapai kemantapan (*steady state*) 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 (Bq/gram)

A_a : konsentrasi pada media (Bq/gram).

Dampak radiologik adanya lepasan bahan radioaktif di lingkungan dapat 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.

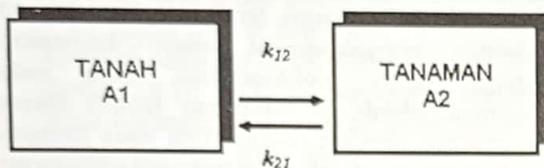
Melalui model matematik sistem perpindahan, dapat diperkirakan akumulasi radionuklida pada tanaman. Untuk memastikan penerapan model matematik perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman dilakukan

percobaan lapangan perpindahan radiocesium dari tanah ke tanaman rumput di sekitar P3TKN/BATAN di Bandung.

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 [2] sebagai berikut :



Gambar 2. Model kompartemen tanah-tanaman.

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

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

dimana,

- 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* [3] tidak ada bukti perpindahan radionuklida dari bagian tanaman ke tanah, sehingga nilai k_{21} sama dengan nol. Persamaan (2) dan (3) menjadi:

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

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

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

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

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

dimana,

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,

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

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

TATA KERJA

Percobaan

Rumput gajah ditanam pada medium tanah yang dicemari dengan ^{134}Cs . Tanah yang digunakan adalah tanah yang ada di halaman P3TKN/BATAN di Bandung dengan karakteristik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1. Tanah dimasukkan ke dalam bak kayu berukuran $1 \times 1 \times 0,30 \text{ m}^3$ yang dialasi plastik. Tanah diatur dengan ketinggian kira-kira 10 cm dari tepi atas bak kayu.

Sebanyak kurang lebih 1 kg tanah ditambah 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.

Rumput gajah 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 gajah diambil sebanyak tiga individu, kemudian diproses untuk pengukuran dengan gamma spektrometer. Sebagai kontrol ditanam pula 30

individu rumput gajah pada tanah yang tidak dicemari dengan ^{134}Cs dengan cara yang sama seperti pada rumput gajah yang diberi perlakuan. Seperti rumput gajah yang ditanam pada media yang dicemari, rumput gajah kontrol juga diambil sampelnya setiap tujuh hari sekali.

Tabel 1. Karakteristik tanah di halaman Puslitbang Teknik Nuklir Bandung [3]

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

Sampel rumput gajah dibersihkan dari tanah yang melekat pada akarnya dengan cara menguncang rumput sehingga tanah yang melekat pada permukaan akar maupun daun jatuh. Kemudian rumput dicuci dengan air mengalir hingga bersih, secara visual tidak terlihat adanya partikel tanah yang melekat. Rumput dikeringkan dengan lampu infra merah selama kurang lebih 24 jam sampai 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 25 g. Sampel tanah dikeringkan kemudian dicacah dengan spektrometer gamma selama 180 detik.

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 (persamaan 4 – 9).

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 28 yang mencapai 14,60 Bq.

Aktivitas ^{134}Cs dalam tanah yang diperoleh dari hasil pengukuran sampel tanah dengan spektrometer gamma dibandingkan dengan aktivitas ^{134}Cs dalam tanah yang merupakan hasil perhitungan yang mengasumsikan penurunan aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dengan berjalannya waktu sebagai akibat dari peluruhan fisis dan penyerapan oleh tanaman (persamaan 10).

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

dimana,

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

Tabel 2. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanah dan rumput gajah.

Waktu (hari)	Aktivitas ^{134}Cs	
	Tanah (10^6 Bq)	Rumput (Bq)
0	2,000	0,000
7	1,908	0,843
14	1,896	6,351
21	1,881	6,815
28	1,874	14,607
35	1,839	9,843
42	1,831	11,929
49	1,817	11,821
56	1,783	11,436

Terjadi perbedaan aktivitas ^{134}Cs di tanah hasil pengukuran dengan hasil perhitungan, seperti dapat dilihat pada Tabel 3, yang kemudian datanya diplot sehingga membentuk Gambar 2. Aktivitas ^{134}Cs hasil pengukuran lebih rendah sekitar 4 – 6% 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.

Data pada Tabel 2 memperlihatkan kenaikan aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman seiring dengan berjalannya waktu sampai hari ke 28. Selanjutnya dapat dilihat bahwa tidak terjadi kenaikan lagi, dan aktivitas ^{134}Cs cenderung menurun dari hari ke 29 sampai hari ke 56. Penyerapan ^{134}Cs dari tanah terdeteksi pada tanaman pada hari ke 7, pada hari ke 28 telah terjadi kejenuhan dalam penyerapan ^{134}Cs , sehingga tidak terlihat adanya peningkatan akumulasi ^{134}Cs dalam tanaman.

Tabel 3. Aktivitas ¹³⁴Cs dalam tanah hasil pengukuran dan hasil perhitungan menggunakan model.

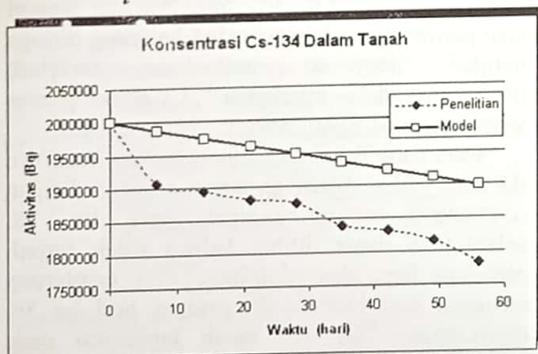
Waktu (hari)	Aktivitas ¹³⁴ Cs dalam tanah		Perbedaan (%)
	Hasil pengukuran	Hasil perhitungan	
0	2,000	2,000	0,000
7	1,908	1,987	3,966
14	1,896	1,974	3,985
21	1,881	1,961	4,091
28	1,874	1,948	3,791
35	1,839	1,936	4,997
42	1,831	1,923	4,810
49	1,817	1,911	4,924
56	1,783	1,899	6,112

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

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

Nilai k_{12} tahap pertama berlaku untuk aktivitas ¹³⁴Cs dalam rumput yang mengalami kenaikan sebagai fungsi waktu, yaitu dari hari ke 0 sampai hari ke 28 (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,

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



Gambar 2. Penurunan aktivitas ¹³⁴Cs dalam tanah berdasarkan hasil pengukuran dan hasil perhitungan.

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 kemiringan dari kurva garis lurus tersebut yang dirumuskan Birkes, D. [4] sebagai berikut,

Nilai k_{12} tahap kedua berlaku untuk aktivitas ¹³⁴Cs dalam rumput setelah hari ke 28, yang pada saat itu tidak terjadi kenaikan aktivitas lagi (rumput telah mengalami kejenuhan dalam menyerap ¹³⁴Cs). Dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh nilai k_{12} ¹³⁴Cs dari tanah ke rumput, yaitu sebesar $2,57724 \times 10^{-7}$ / hari untuk $0 < t < 28$ hari dan $1,31663 \times 10^{-7}$ / hari untuk $28 < t < 42$ hari.

Validasi model

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

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

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

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2.000.000 \left(e^{-(0,000925527) \times 7} - e^{-(2,577724 \cdot 10^{-7} + 0,00092552) \times 7} \right) \\
 &= 2.000.000 (0,993542322 - 0,993540474) \\
 &= 3,5848 Bq
 \end{aligned}$$

Dengan cara di atas dilakukan penghitungan aktivitas ^{134}Cs dalam rumput untuk setiap kali pengambilan sampel. Hasilnya dibandingkan dengan hasil pengukuran dan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

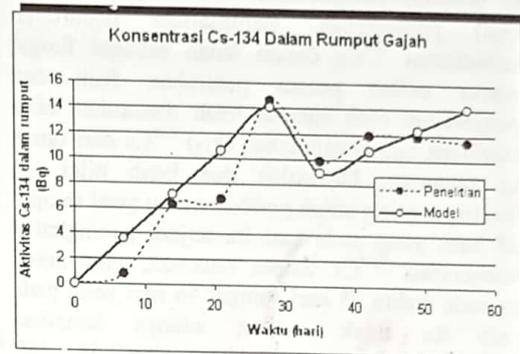
Tabel 4. Perbandingan antara aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman dari data hasil pengukuran dan data perhitungan dari model matematis.

Waktu	Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman	
	Hasil pengukuran	Hasil perhitungan
0	0,000	0,060
7	0,843	3,584
14	6,351	7,123
21	6,815	10,616
28	14,607	14,063
35	9,843	8,923
42	11,929	10,638
49	11,821	12,331
56	11,436	14,001

Dapat dilihat adanya perbedaan data hasil pengukuran 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 pengukuran menunjukkan adanya fluktuasi. Hal ini dapat dipahami karena pada model tidak diperhitungkan adanya faktor fisiologis tanaman yang relatif rumit.

Untuk melihat keterkaitan hasil antara pengukuran dan model ditentukan koefisien korelasi antara data yang diperoleh berdasarkan model dengan hasil pengukuran dengan rumus [5] :



Gambar 3. Aktivitas ^{134}Cs dalam tanaman yang merupakan data hasil pengukuran dan data perhitungan dari model matematis.

$$r = \frac{n \sum_{i=0}^n A_{(2, \text{penelitian})i} A_{(2, \text{model})i} - \sum_{i=0}^n A_{(2, \text{penelitian})i} \sum_{i=0}^n A_{(2, \text{model})i}}{\left\{ \left(n \sum_{i=0}^n A_{(2, \text{penelitian})i}^2 - \left(\sum_{i=0}^n A_{(2, \text{penelitian})i} \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=0}^n A_{(2, \text{model})i}^2 - \left(\sum_{i=0}^n A_{(2, \text{model})i} \right)^2 \right) \right\}^{1/2}} \quad (14)$$

Dari perhitungan diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 0,84, artinya 84% dari data yang diperoleh dari model sama dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran. Penyimpangan dari hasil perhitungan model dapat dikoreksi dengan menghitung simpangan baku model terhadap hasil pengukuran dengan menggunakan rumus [5] :

$$SD = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (A_{2, \text{model}(i)} - A_{2, \text{penelitian}(i)})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (15)$$

Diperoleh nilai simpangan baku model sebesar 3,10 untuk $0 < t < 28$ hari dan 3,19 untuk $28 < t < 56$. Dengan memasukkan faktor koreksi yang berupa simpangan baku maka model perpindahan ^{134}Cs dari tanah ke rumput gajah menjadi :

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

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-(9,25527 \times 10^{-4})t} - e^{-(9,25785 \times 10^{-4})t}) \pm 3,10, \text{ untuk } 0 \leq t \leq 28 \quad (16)$$

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-(9,25527 \times 10^{-4})t} - e^{-(9,25659 \times 10^{-4})t}) \pm 3,19, \text{ untuk } 28 \leq t \leq 56 \quad (17)$$

KESIMPULAN

Percobaan perpindahan ^{134}Cs dari tanah Andosol ke tanaman rumput gajah 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 hasil percobaan dan hasil perhitungan 4 hingga 6 %.

Model perpindahan ^{134}Cs dari tanah Andosol ke tanaman rumput telah dibandingkan dengan hasil pengukuran. 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 28 hari, yang pada saat itu terjadi peningkatan konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman, dan untuk periode waktu 28 hari sampai 56 hari yang pada saat itu tidak terlihat adanya kenaikan konsentrasi. Besarnya nilai k_{12} adalah $2,58 \times 10^{-7}$ /hari untuk $0 < t < 28$ hari dan $1,32 \times 10^{-7}$ /hari untuk $28 < t < 56$ hari.

Dari hasil validasi model perpindahan ^{134}Cs dari tanah Andosol ke tanaman rumput gajah diketahui bahwa terjadi perbedaan antara hasil perhitungan dari model dengan hasil pengukuran. Walaupun demikian korelasi antara model dengan hasil penelitian relatif baik dengan diperolehnya nilai koefisien korelasi sebesar 0,84. Penyimpangan ini dapat dikoreksi dengan cara menambahkan faktor koreksi yang berupa simpangan baku. Nilai simpangan baku yang diperoleh adalah sebesar 3,11 untuk $0 < t < 28$ hari dan 3,19 untuk $28 < t < 56$ hari.

DAFTAR PUSTAKA

1. SURYANI, M., KOSTERMANS, A.J.G.H., TJITROSOEPOMO, G., "Weeds Of Rice in Indonesia", Balai Pustaka, Jakarta, 1980.
2. YASUDA, "Transfers model in soil-plant system used for environmental impact assessment", Journal of Science and Nuclear Technology, 1995
3. MUHARINI, A., "Model Dinamik Untuk Penyerapan Cs-134 Dalam Tanah oleh Tanaman Paksoi (*Brassica rapa*)". Tesis Magister Teknik Lingkungan, ITB, Bandung, 1998.
4. BIRKES, D. and DODGE, Y., "Alternative Method Of Regression", John Wiley and Sons, Inc, New York, USA, 1993.
5. WALPOLE, "Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan ITB", Bandung, 1986.

TANYA JAWAB

Maman Mulyaman

- Berapakah nilai batas ambang kontaminasi Cs pada rumput gajah, dimana daging sapi memakan rumput tersebut masih aman dikonsumsi oleh manusia?
- Kenapa pada periode 28 hari sampai 56 hari tidak terjadi kenaikan konsentrasi Cs?

Putu Sukmabuana

- Sampai saat ini belum ada ketentuan tentang nilai batas ambang konsentrasi Cs pada rumput.
- Pada periode 28 hari dan selanjutnya tidak terjadi kenaikan konsentrasi Cs pada rumput karena telah terjadi kejenuhan dalam akumulasi Cs dalam tanaman.