

PENYERAPAN RADIONUKLIDA Cs DARI TANAH BERAIR KE TANAMAN KANGKUNG (*Ipomoea sp*)

Putu Sukmabuana dan Poppy Intan Tjahaja

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN, Jl. Tamansari no 71, Bandung, 40132
e-mail : sukma23@telkom.net

ABSTRAK

PENYERAPAN RADIONUKLIDA Cs DARI TANAH BERAIR KE TANAMAN KANGKUNG (*Ipomoea sp*). Telah dilakukan penelitian perpindahan radionuklida Cs dari tanah ke tanaman kangkung (*Ipomoea sp*) yang banyak dikonsumsi oleh penduduk. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan nilai faktor transfer yang dapat digunakan untuk pengkajian dosis interna berdasar jalur tanah – tanaman pangan - manusia. Penelitian dilakukan dengan menumbuhkan tanaman kangkung pada media tanah berair yang mengandung ^{134}Cs dengan konsentrasi 80 Bq/g, kemudian diukur banyaknya ^{134}Cs yang diserap oleh bagian tanaman, yaitu akar, batang, dan daun, menggunakan spektrometer gamma. Besarnya kemampuan tanaman dalam menyerap ^{134}Cs dinyatakan sebagai faktor transfer yaitu rasio konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman terhadap konsentrasinya dalam media tanah. Dari penelitian ini diperoleh nilai faktor transfer ^{134}Cs dari tanah ke tanaman sebesar 0,07, untuk bagian akar, batang, dan daun masing-masing 0,34 ; 0,05 ; 0,03 pada hari ke 45. Besarnya nilai faktor transfer kurang dari satu mengindikasikan bahwa kangkung tidak mengakumulasi radionuklida Cs dari lingkungan tempat hidupnya.

Kata kunci : akumulasi, cesium, faktor transfer, kangkung

ABSTRACT

CAESIUM RADIONUCLIDE UPTAKE FROM WET SOIL TO KANGKUNG PLANT (*Ipomoea sp*). Caesium radionuclide transfer from soil to kangkung plant (*Ipomoea sp*) generally consumed by people had been examined to obtain transfer factor value for internal radiation dose assessment via soil-plant-human pathway. The kangkung plants were cultivated on watered soil medium containing ^{134}Cs with concentration of about 80 Bq/g, and the ^{134}Cs uptake by plants, i.e root, stem, and leaves, were measured using gamma spectrometer. The ^{134}Cs plant uptake was expressed as transfer factor, i.e. ratio of plant ^{134}Cs concentration to ^{134}Cs concentration on soil medium. From this research it was obtained transfer factor value of ^{134}C from soil to plant is 0.07, and the transfer factor for root, stem, and leaves are 0.34 ; 0.05 ; 0.03 respectively, after 45 days cultivation. The transfer factor values are less than one, indicate that kangkung plant do not accumulate Cs radionuclide from soil.

Key words : accumulation, caesium, transfer factor, kangkung plant

1. PENDAHULUAN

Pengoperasian reaktor nuklir secara normal diharapkan tidak menimbulkan dampak yang merugikan lingkungan maupun masyarakat sekitar. Walaupun demikian, faktor-faktor keselamatan lingkungan di dalam maupun di

luar kawasan, dan keselamatan pekerja maupun masyarakat sekitar tetap menjadi perhatian. Dalam kasus terjadi kecelakaan, tidak menutup kemungkinan dapat berakibat lepasnya sejumlah radionuklida ke lingkungan. Kecelakaan terburuk dapat mengakibatkan terlepasnya radionuklida hasil fisi ke lingkungan, yang

nantinya dapat membahayakan masyarakat, baik karena radiasi eksterna maupun interna [1].

Untuk tujuan kajian keselamatan nuklir, dalam hal ini untuk memperkirakan dosis interna yang diterima masyarakat berdasar jalur tanah – tanaman pangan – manusia, diperlukan nilai faktor transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan, akan tetapi data yang tersedia saat ini sangat terbatas. Dalam publikasi International Atomic Energy Agency [2] mengenai nilai parameter transfer radionuklida di lingkungan dicantumkan nilai faktor transfer berbagai radionuklida ke tanaman yang dikonsumsi oleh penduduk negara beriklim sedang yang jenis tanamannya berbeda dengan yang ada di Indonesia. Lingkungan dan iklim yang berbeda antara Indonesia yang beriklim tropis dengan negara-negara Eropa yang beriklim sedang mengakibatkan tidak mungkin mengaplikasikan nilai faktor transfer radionuklida berdasar hasil penelitian dari negara-negara beriklim sedang.

Nilai faktor transfer radionuklida di lingkungan untuk wilayah tropis sangat terbatas, oleh karena itu melalui serangkaian penelitian yang telah dan akan dilakukan selanjutnya ingin diperoleh nilai faktor transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan. Pada penelitian sebelumnya telah dipelajari perpindahan radionuklida Cs dari tanah ke tanaman bayam (*Amaranthus sp*) dan telah diperoleh nilai faktor transfer sebesar 2 [3]. Pada penelitian ini akan dipelajari transfer radionuklida Cs dari tanah ke tanaman kangkung yang merupakan jenis sayuran yang umum dikonsumsi oleh penduduk kota Bandung. Berdasar data dari Badan Pusat Statistik kota Bandung, produksi tanaman kangkung pada tahun 2003 mencapai 10621 kuintal / tahun [4] dan jumlah konsumsi sayuran kangkung oleh penduduk kota Bandung adalah sebesar 5,46 kg/orang/tahun [5, 6].

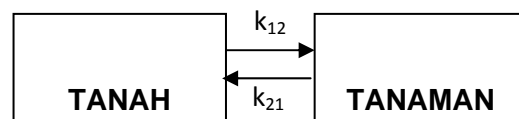
Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh nilai faktor transfer radionuklida ^{134}Cs dari tanah ke tanaman kangkung untuk pengkajian dosis interna yang kemungkinan diterima penduduk berdasar jalur tanah – tanaman pangan – manusia. Lebih jauh lagi diharapkan nilai faktor transfer yang diperoleh dapat melengkapi data nilai faktor transfer radionuklida untuk lingkungan wilayah tropis.

2. TEORI

Kasus kecelakaan nuklir memungkinkan terjadinya lepasan radionuklida ke atmosfer, yang karena proses deposisi kering maupun

basah akan jatuh ke tanah, dan mengakibatkan tanah terkontaminasi oleh radionuklida. Radionuklida dalam tanah melalui rantai makanan dapat masuk ke dalam tubuh manusia.

Jalur radionuklida dari titik lepas hingga sampai ke manusia digambarkan sebagai perpindahan radionuklida antar beberapa kompartemen lingkungan. Perpindahan radionuklida antar kompartemen dinyatakan sebagai parameter transfer (perpindahan) atau faktor perpindahan. Di antara berbagai jalur perpindahan radionuklida antar kompartemen lingkungan, salah satunya adalah perpindahan dari tanah ke tanaman yang mana tanah bertindak sebagai sub sistem sentral dan tanaman sebagai sub sistem penerima (Gambar 1).



Gambar 1. Model kompartemen tanah-tanaman

Pada model ini dilakukan pendekatan bahwa pada saat awal (t_0) tidak ada radionuklida dalam tanaman, jadi seluruh radionuklida terdapat dalam sub-sistem sentral. Secara matematika perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman dirumuskan oleh Yasuda [7] menjadi persamaan (1) dengan asumsi tidak ada perpindahan radionuklida dari tanaman ke tanah, sehingga k_{21} dianggap 0.

$$dC_2/dt = k_{12}C_1 - \lambda C_2 \quad (1)$$

di mana :

- C_1 : konsentrasi radionuklida dalam tanah (MBq/g)
- C_2 : konsentrasi radionuklida dalam tanaman (MBq/g)
- λ : konstanta peluruhan (1/hari)
- k_{12} : koefisien laju perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman (1/hari)

Pada model ini dianggap tidak ada perpindahan radionuklida dari tanaman ke tanah, sehingga nilai k_{21} (koefisien laju perpindahan radionuklida dari tanaman ke tanah) dianggap nol. Perpindahan radionuklida dari satu kompartemen ke kompartemen lingkungan lainnya dinyatakan sebagai faktor transfer, F_t .

$$F_t = C_2 / C_1 \quad (2)$$

dimana :

F_t = faktor pindah = faktor transfer

3. TATAKERJA

Penelitian dilakukan di dalam *Green House* dengan menggunakan bahan-bahan seperti media tanah dari halaman PTNBR yang dicampur pupuk kompos, larutan $^{134}\text{CsNO}_3$ dengan aktivitas 1,68 MBq/mL, bibit tanaman kangkung, aluminium foil, dan kantong plastik. Peralatan yang digunakan adalah bak kayu berukuran 1 X 1 X 0,5 m³ yang dilapisi plastik tebal pada bagian dalamnya untuk wadah media tanah, alat bercocok tanam, neraca analitis dengan ketelitian 0,001 gr, lampu pemanas, gunting, dan spektrometer gamma dengan detektor *high purity germanium* (HPGe) yang dilengkapi dengan *multi chanel analyzer* (MCA).

3.1. Pembibitan

Bibit tanaman kangkung diperoleh dengan cara pembiakan secara vegetatif dari tanaman kangkung yang tersedia di pasaran. Tanaman kangkung dihilangkan daunnya, kemudian batangnya dipotong-potong dengan panjang lebih kurang 10 cm. Potongan batang kemudian ditanam pada media tanah sampai tumbuh akar dan daun, serta sudah mampu beradaptasi dengan baik pada media tanamnya (kira-kira 10 hari).

3.2. Penumbuhan tanaman kangkung pada media pertumbuhan

Media pertumbuhan dipersiapkan untuk media tumbuh tanaman setelah proses pembibitan. Wadah media pertumbuhan berupa 4 buah kotak kayu yang diberi alas plastik tebal (2 kotak untuk tanah yang mengandung Cs dan 2 kotak untuk tanah kontrol) dengan ukuran masing-masing (1 x 1 x 0,5)m³.

Media pertumbuhan berupa tanah halaman PTNBR yang telah ditambah kompos dengan jumlah 120 kg untuk setiap bak. Media tanah dalam 2 bak masing-masing dikontaminasi $^{134}\text{CsNO}_3$ dengan aktivitas 1,68 MBq/mL sebanyak 5,7 mL yang diencerkan sampai volumenya menjadi 100 mL, sehingga konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah menjadi 80 Bq/g. Tanah diaduk agar konsentrasi Cs dalam tanah seragam. Homogenitas ^{134}Cs dalam tanah diperiksa dengan cara mengambil cuplikan tanah pada 5 titik dalam bak kemudian diukur

aktivitasnya menggunakan spektrometer gamma. Apabila perbedaan aktivitas ^{134}Cs pada setiap titik kurang dari 10% maka konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah dianggap sudah homogen.

Media tanah dalam dua bak lainnya berupa tanah halaman PTNBR BATAN yang dicampur dengan kompos dan tidak dikontaminasi dijadikan sebagai kontrol.

Benih tanaman kangkung yang sudah tumbuh daunnya sebanyak 5 helai dipindah dari media pembibitan ke media pertumbuhan dan ditanam dengan jarak antar tanaman 20 cm. Pada penelitian ini digunakan 100 tanaman kangkung, masing-masing 50 tanaman untuk ditanam pada media tanah yang mengandung ^{134}Cs dan 50 tanaman ditanam pada media kontrol, sehingga setiap kotak berisi 25 tanaman kangkung. Media tanam kemudian diberi air hingga ketinggian 2 cm di atas permukaan tanah.

3.3. Pengambilan sampel tanaman, tanah, dan air

Sampel tanaman diambil dari media lanjut dengan selang waktu 5 hari sebanyak 3 individu dari media terkontaminasi dan 3 individu dari media kontrol pada setiap kali sampling [8]. Bersamaan dengan pengambilan sampel tanaman diambil juga masing-masing tiga sampel tanah (kira-kira 30 g) dan air (5 mL) di sekitar akar tiap individu tanaman baik tanaman dengan perlakuan maupun tanaman kontrol.

3.4. Preparasi sampel tanaman

Sampel tanaman dicuci bersih dengan air mengalir, kemudian diukur tingginya. Bagian tanaman dipisahkan menjadi akar, batang, dan daun kemudian ditimbang untuk memperoleh berat basah. Sampel tanah dan tanaman dikeringkan sampai diperoleh berat konstan dengan lampu pemanas (selama 30 jam), ditimbang untuk memperoleh berat kering, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk dicacah dengan spektrometer gamma selama 900 detik.

3.5. Analisis data

Data konsentrasi ^{134}Cs dalam bagian tanaman, air dan tanah kemudian dianalisis untuk memperoleh nilai faktor transfer (F_t). Nilai faktor transfer dihitung berdasarkan rasio konsentrasi radionuklida dalam tanaman terhadap konsentrasi radionuklida dalam tanah (persamaan 2) berdasarkan model kompartemen

tanah-tanaman.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini dianalisis parameter fisika dan kimianya di Laboratorium Balitsa, Lembang. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Karakteristik kimia tanah halaman PTNBR BATAN

No	Parameter	Karakteristik	Satuan
Unsur Makro			
1.	pH	6,6	-
2.	C	5,67	%
3.	N	0,24	%
4.	C/N	24	%
5.	P	79,2	ppm
6.	K	429	ppm
7.	N-NH ₄	5,24	mg/100g
8.	N-NO ₃	50,19	mg/100g
Unsur Makro yang Dapat Dipertukarkan			
9.	Ca	22,13	me/100g
10.	Mg	1,75	me/100g
11.	K	1,38	me/100g
12.	Na	0,37	me/100g
13.	Kapasitas tukar kation (KTK)	27,02	me/100g
Unsur Mikro			
14.	Fe	5,9	ppm
15.	Mn	6,4	ppm
16.	Cu	2,4	ppm
17.	Zn	11,5	ppm
18.	S	35,7	ppm
19.	Al	102,4	ppm
20.	B	0,49	ppm
21.	Bahan Organik	9,75	%
22.	Kadar Air	29,35	%

Tabel 2. Karakteristik fisika tanah halaman PTNBR - BATAN

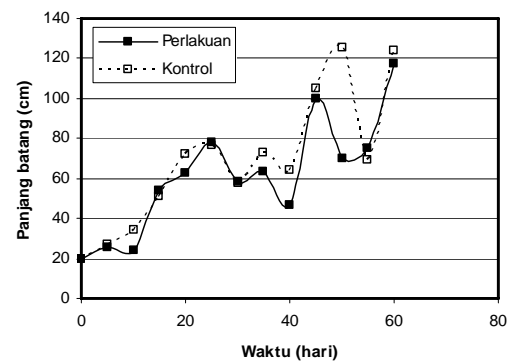
No	Parameter	Karakteristik	Satuan
1.	Porositas	71,4	%
2.	Berat Volume Kering	0,760	gr/cm ³
3.	Kerapatan Jenis Butir	2,205	gr/cm ³
4.	Tekstur Tanah	Tanah Liat Berlempung	-

4.1 Pertumbuhan Tanaman

Data rata-rata pertumbuhan tanaman untuk tanaman yang tumbuh di tanah yang

dikontaminasi dan tanaman yang tumbuh di tanah kontrol dapat dilihat dalam Tabel 3. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan atas tanaman yang tumbuh dalam tanah yang terkontaminasi jika dibandingkan dengan tanah kontrol, maka dilakukan uji t atas panjang batang dan berat tanaman. Pada beberapa tanaman, yaitu tanaman yang diambil sebagai sampel pada hari ke 10, 20, 40, 50, dan 55, terlihat ukuran panjang batang atau berat lebih kecil dibandingkan dengan sampel pada waktu yang terdahulu. Hal ini disebabkan oleh tanaman yang diambil pada waktu yang berbeda adalah tanaman yang berbeda. Setiap tanaman mempunyai sifat individu yang unik, tanaman sampel hari ke 10, 20, 40, 50, dan 55 kebetulan mempunyai laju pertumbuhan rendah dibandingkan dengan tanaman sampel hari sebelumnya.

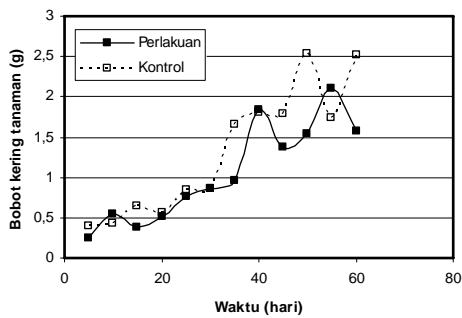
Berdasarkan uji t yang dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% atau tingkat signifikansi 5% diketahui bahwa tidak ada perbedaan yang nyata dalam hal pertumbuhan tanaman kangkung yang tumbuh di tanah yang dikontaminasi dengan ¹³⁴Cs dengan tanaman kontrol. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik pertumbuhan tanaman berupa pertambahan panjang batang dan berat tanaman yang diperlihatkan pada Gambar 2 dan 3. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pola pertambahan panjang batang tanaman kangkung yang ditanam pada media tanah terkontaminasi ¹³⁴Cs dan tanah kontrol dapat dikatakan sama. Demikian pula halnya dengan pola pertambahan bobot tanaman kangkung yang ditanam pada media terkontaminasi dan media kontrol (Gambar 3). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tanaman yang ditanam pada media terkontaminasi ¹³⁴Cs tidak mengalami gangguan pertumbuhan akibat adanya ¹³⁴Cs dalam tanah.



Gambar 2. Pertumbuhan panjang batang tanaman kangkung

Tabel 3. Data rata-rata pertumbuhan tanaman kangkung

Waktu (hari)	Panjang Batang (cm)		Berat Tanaman (g)	
	Perlakuan	Kontrol	Perlakuan	Kontrol
5	25,83 ± 4,25	27,33 ± 1,77	0,25 ± 0,02	0,40 ± 0,06
10	24,17 ± 2,47	34,00 ± 0,71	0,55 ± 0,28	0,43 ± 0,08
15	54,00 ± 6,56	51,33 ± 3,54	0,38 ± 0,09	0,65 ± 0,15
20	63,00 ± 2,65	72,00 ± 1,06	0,52 ± 0,09	0,57 ± 0,08
25	78,33 ± 1,55	76,67 ± 0,71	0,76 ± 0,16	0,85 ± 0,06
30	58,00 ± 9,92	57,33 ± 4,85	0,87 ± 0,21	0,87 ± 0,21
35	63,33 ± 2,89	73,17 ± 3,03	0,96 ± 0,18	1,65 ± 0,35
40	46,67 ± 2,89	64,33 ± 8,84	1,85 ± 0,47	1,81 ± 0,43
45	100,00 ± 0,93	105,17 ± 31,47	1,38 ± 0,21	1,79 ± 0,56
50	70,00 ± 1,79	125,33 ± 44,19	1,54 ± 0,39	2,53 ± 0,62
55	75,00 ± 8,66	69,00 ± 10,61	2,11 ± 0,29	1,74 ± 0,78
60	117,67 ± 6,44	123,83 ± 4,95	1,57 ± 0,12	2,51 ± 0,40



Gambar 3. Pertambahan berat kering tanaman kangkung

4.2 Konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanah

Konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanah diperlihatkan pada Gambar 4. Penurunan konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanah diakibatkan oleh adanya penyerapan Cs pada akar tanaman kangkung selain karena faktor peluruhan Cs dan lepasnya ¹³⁴Cs dari partikel tanah ke air. Konsentrasi ¹³⁴Cs pada tanah semakin menurun dengan semakin lamanya waktu paparan pada tanaman kangkung, kondisi ini sangat bersesuaian dengan semakin meningkatnya aktivitas ¹³⁴Cs pada tanaman kangkung. Pada awal penelitian konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanah adalah sebesar 80 Bq/g dan pada akhir penelitian yaitu setelah 76 hari konsentrasinya menurun menjadi 64,36 Bq/g. Pengurangan konsentrasi ¹³⁴Cs akibat peluruhan radioaktif relatif kecil, yaitu setelah 76 hari konsentrasinya

akan menjadi 74,21 Bq/g. Pada sampel tanah hari ke 45 terlihat konsentrasi ¹³⁴Cs rendah, hal ini berkaitan dengan besarnya penyerapan ¹³⁴Cs oleh tanaman yang ditunjukkan oleh tingginya konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanaman pada saat itu (Tabel 4 dan Gambar 5).

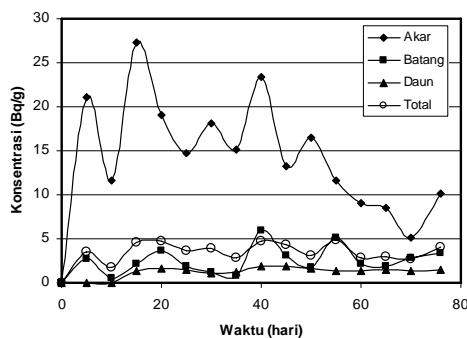
Tabel 4. Distribusi konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanaman kangkung

Waktu (hari)	Konsentrasi (Bq/g)			
	Akar	Batang	Daun	Total
0	0	0	0	0
5	21,09	2,67	0	3,47
10	11,65	0,56	0	1,74
15	27,28	2,19	1,34	4,59
20	19,01	3,69	1,61	4,69
25	14,70	1,87	1,51	3,66
30	18,11	1,26	1,05	3,90
35	15,12	0,87	1,24	2,88
40	23,38	5,95	1,91	4,75
45	13,30	3,06	1,90	4,26
50	16,47	1,78	1,62	3,08
55	11,67	5,10	1,38	4,86
60	9,01	2,10	1,30	2,78
65	8,54	1,91	1,52	3,04
70	5,17	2,87	1,36	2,67
76	10,07	3,35	1,47	4,12

Analisis aktivitas sampel dari bak tanah kontrol menunjukkan tidak adanya aktivitas ¹³⁴Cs yang terdeteksi.

4.3 Konsentrasi ^{134}Cs Pada Sampel Air

Radionuklida ^{134}Cs pada sampel air hanya terdeteksi pada sebagian kecil sampel dengan konsentrasi yang sangat rendah yaitu dalam orde mBq/mL. Pada sampel air terdeteksi rata-rata $15,00 \pm 3,75$ mBq/mL. Konsentrasi ^{134}Cs dalam air sangat kecil dibandingkan dengan konsentrasinya dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh ^{134}Cs terikat kuat pada partikel tanah, sehingga tidak dapat lepas ke dalam air. Pada penelitian ini tanah yang digunakan sebagai media adalah jenis liat berlempung (andosol) yang mampu mengikat ^{134}Cs pada permukaan partikelnya [9].



Gambar 5. Distribusi konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman kangkung

4.4 Konsentrasi ^{134}Cs Pada Sampel Tanaman

Distribusi konsentrasi ^{134}Cs pada tanaman kangkung disajikan pada Tabel 4. Nilai konsentrasi ^{134}Cs dalam sampel tanaman merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengambilan sampel untuk setiap waktu pengamatan. Konsentrasi total merupakan penjumlahan aktivitas ^{134}Cs pada bagian daun, batang, dan akar dibagi dengan berat kering tanaman

Konsentrasi ^{134}Cs dalam bagian tanaman bervariasi sesuai dengan waktu sampling. Pada sampling pertama (hari ke 5) ^{134}Cs terdeteksi pada bagian akar dan batang, sedang pada bagian daun ^{134}Cs baru terdeteksi pada hari ke 15. Ini dapat dipahami karena pada awal sampling baru sedikit ^{134}Cs yang mencapai daun, sehingga tidak terdeteksi oleh alat gamma spektrometer.

Konsentrasi ^{134}Cs pada akar bervariasi menurut waktu sampling (Gambar 5), dengan kecenderungan konsentrasi meningkat sampai pada hari ke 15 yaitu mencapai 27 Bq/g dan terlihat menurun setelah hari ke 15 menjadi

sekitar 10 Bq/g pada akhir penelitian. Akar merupakan organ tanaman yang berfungsi dalam penyerapan unsur-unsur dalam tanah untuk kemudian dialirkan ke batang dan daun. Batang berfungsi menyalurkan unsur-unsur dari akar ke daun dan bagian tanaman lainnya melalui pembuluh *xylem* dan *phloem*. Konsentrasi ^{134}Cs dalam batang berfluktuasi dan apabila dibandingkan dengan akar konsentrasinya jauh lebih rendah yaitu sekitar 5 Bq/g.

Berbeda dengan akar dan batang, dalam daun ^{134}Cs baru terdeteksi pada hari ke 15 dengan konsentrasi sebesar 1,371 Bq/g dan pada hari ke 40 konsentrasinya meningkat mendekati 2 Bq/g. Daun merupakan tempat terjadinya proses fotosintesis dimana pada daun banyak diperlukan K yang mempunyai sifat kimia mirip dengan ^{134}Cs . Akan tetapi dari hasil penelitian ini tidak terlihat konsentrasi ^{134}Cs yang tinggi di daun, bahkan jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang terdeteksi di bagian akar. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya menggunakan tanaman bayam [6] dengan kondisi lingkungan penelitian yang sama diperoleh hasil konsentrasi ^{134}Cs yang lebih tinggi di daun dibandingkan dengan bagian lainnya, sesuai dengan hasil yang diperoleh peneliti lain yang melaporkan tingginya akumulasi Cs pada bagian daun dibandingkan bagian tanaman lainnya [9, 10]. Akumulasi radionuklida Cs pada bagian akar tanaman pernah dilaporkan oleh Negri dan Ban-nai [11,12].

Proses transpirasi pada daun menyebabkan mineral yang diserap ke dalam akar akan bergerak ke bagian atas tanaman. Daun yang terkena sinar matahari akan kehilangan air melalui stomata, kutikula, atau melalui lenti sel yang akan segera diganti oleh molekul air yang ada di bawahnya. Proses naiknya molekul air ini juga membawa berbagai mineral yang larut termasuk ^{134}Cs dari tanah melalui akar menuju bagian tanaman lainnya [9].

Pada batang ^{134}Cs akan didistribusikan melalui *xylem* menuju daun. Air dan larutan lainnya didistribusikan melalui media yang disebut *apoplast* [9]. Pada daun unsur-unsur yang telah cukup atau unsur-unsur yang tidak dibutuhkan lagi oleh daun akan dikembalikan lagi ke batang melalui *floem*. Cesium akan mengalami metabolisme dalam tanaman sama seperti kalium. Oleh karena itu apabila pada daun ^{134}Cs tidak dibutuhkan lagi, ^{134}Cs akan dikembalikan ke batang dan bagian tanaman lainnya. Hal ini dapat menjadi penyebab konsentrasi ^{134}Cs dalam batang dan akar lebih besar dari pada daun.

4.5 Faktor Transfer

Besarnya penyerapan ^{134}Cs dari tanah oleh tanaman dinyatakan sebagai faktor transfer. Faktor transfer didapat dengan membandingkan kandungan ^{134}Cs di dalam tanaman dengan kandungan ^{134}Cs di dalam media (tanah dan air). Besarnya faktor transfer dari medium ke tanaman kangkung pada tiap sampling dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai faktor transfer ^{134}Cs dari tanah ke tanaman kangkung

Waktu (hari)	Faktor Transfer			
	Akar	Batang	Daun	Total
0	0	0	0	0
5	0	0,04	0	0,05
10	0,29	0,01	0	0,02
15	0,16	0,03	0,02	0,07
20	0,41	0,06	0,02	0,07
25	0,29	0,03	0,02	0,05
30	0,21	0,02	0,02	0,06
35	0,26	0,01	0,02	0,04
40	0,22	0,09	0,03	0,07
45	0,34	0,05	0,03	0,07
50	0,23	0,03	0,03	0,05
55	0,26	0,08	0,02	0,07
60	0,17	0,03	0,02	0,04
65	0,13	0,03	0,02	0,05
70	0,13	0,04	0,02	0,04
76	0,08	0,05	0,02	0,06

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa faktor transfer maksimum ^{134}Cs dari medium tanah bercampur air ke tanaman kangkung adalah sebesar 0,07 dengan faktor transfer terbesar pada bagian akar tanaman yaitu hampir 5 kali lipat dari bagian lainnya. Besarnya faktor transfer pada tanaman dipengaruhi oleh karakteristik kimia tanah. Masuknya larutan ke dalam akar adalah melalui fenomena osmosis dan bergerak dari akar ke bagian tanaman yang lain karena adanya perbedaan nilai osmosis antara larutan dengan dinding sel. Proses penyerapan Cs oleh tanaman dapat dijelaskan seperti penyerapan unsur K. Menurut G. Zhu dan E. Smolder [9], unsur Cs masuk ke dalam tanaman melalui membran sel dengan dua mekanisme, sama seperti halnya unsur K, yaitu sistem *K transporter* dan *K channel*. Mekanisme *K transporter* berfungsi pada

penyerapan K dengan konsentrasi rendah (< 0,3mM) dan tidak membedakan antara K dengan Cs, sedang mekanisme *K channel* bekerja pada konsentrasi K lebih besar dari 0,3 mM serta dapat membedakan antara K dan Cs. Pada konsentrasi K sangat tinggi kemungkinan Cs terserap oleh akar tanaman sangat kecil, karena selektivitas unsur sangat tinggi. Dari hasil uji laboratorium Balitsa diketahui bahwa banyaknya K yang dapat dipertukarkan (K yang tersedia bagi tanaman) dalam tanah yang digunakan dalam penelitian adalah sebesar 1,38 me/100 grain. Menurut kriteria yang dikeluarkan oleh Balitsa, kandungan K sebesar 1,38 me/100 grain termasuk dalam kategori sangat tinggi (>1 me/100 grain), sehingga ^{134}Cs yang dapat diserap oleh tanaman menjadi sangat kecil.

Tanaman memiliki perbedaan secara genetik akan kebutuhan nutrisi dan mineral. Variasi secara genetik pada penyerapan radiocesium menyebabkan variasi besarnya faktor transfer [13]. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya menggunakan tanaman bayam yang ditanam pada media tanah yang sama, diperoleh nilai faktor transfer yang relatif tinggi, yaitu mencapai nilai 2 pada daun. Hal ini sesuai dengan pernyataan Smolders, E. [10] yang menyatakan bahwa tanaman dari famili bayam-bayaman (Amaranthaceae) merupakan akumulator Cs. Ban-nai [12] melaporkan beberapa nilai faktor transfer radionuklida Cs untuk beberapa tanaman sayuran, yaitu sebesar 0,13 ; 0,15 ; dan 0,055 masing-masing untuk tanaman *cabage* (kol), *chinese cabbage*, dan *letuce* (slada).

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa tanaman kangkung memiliki kemampuan untuk menyerap ^{134}Cs dari dalam medium tanah bercampur air. Konsentrasi tertinggi radionuklida ^{134}Cs terdapat pada bagian akar tanaman. Radionuklida ^{134}Cs terikat kuat pada partikel tanah liat berlempung yang digunakan dalam penelitian ini sehingga sedikit sekali ^{134}Cs yang terlarut dalam air.

Faktor transfer ^{134}Cs dari medium tanah berair ke tanaman sampai usia panen (pengambilan sampel hari ke 45) relatif kecil, yaitu 0,07. Dapat dikatakan bahwa tanaman kangkung menyerap ^{134}Cs dari media tanah, tetapi tidak mengakumulasinya. Tanaman dikatakan mengakumulasi suatu unsur apabila nilai faktor transfer lebih besar dari 1.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. **GLASTONE, S.** and **JORDAN, W. H.**, "Nuclear Power Reactor and Its Environmental Effects", American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois (1980) 166-173.
2. **IAEA**, "Handbook of Parameter values for The Prediction of Radionuclides Transfer in Temperate Environments" (Technical Report Series No. 364), IAEA, Vienna (1994) 1- 34.
3. **TJAHAJA, P. I.** dan **SUKMABUAN, P.**, Penyerapan Cs-134 dari tanah andosol ke tanaman bayam (*Amaranthus sp*) (Prosiding Seminar Nasional ke 14 Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir), PTRKN BATAN – UNPAD, November 2008.
4. **BADAN PUSAT STATISTIK-BANDUNG**, "Bandung Dalam Angka Tahun 2003", Penerbit BPS, Bandung (2003).
5. **BADAN PUSAT STATISTIK INDONESIA**, "Produksi Tanaman Sayuran dan Buah-buahan", Penerbit BPS, Jakarta (2002).
6. **BADAN PUSAT STATISTIK-BANDUNG**, "Neraca Bahan Makanan Kota Bandung 2003", Penerbit BPS, Bandung (2003).
7. **YASUDA, H.**, Transfer models in soil-plant system used for environmental impact assessments, *Journal of Nuclear Science And Technology*, 32 (12) (1995) 1272-1283.
8. **FUJIMOTO, K.**, General Protocol for Transport Measurement Transfer of Radionuclides from Air, Soil, and Freshwater to The Foodchain of Man in Tropical and Subtropical Environment, IAEA, Jakarta (1993).
9. **ZHU, Y. G.** and **SMOLDERS, E.**, Plant uptake of radiocesium: A review of mechanisms, regulation and aplicatio, *Journal of Experimental Botany*, 51(351) (2000) 1635 - 1645.
10. **SMOLDERS, E.** Cationic interactions in radiocesium uptake from solution by spinach. *Journal of Environmental Radioactivity*. Elsevier Science Limited. Irlandia (1997).
11. **NEGRI, C. M.** and **HINCHMAN, R. R.**, The use of plants for the treatment of radionuclides, in *Phytoremediatioan of Toxic Metals Using Plants to Clean Up The Environment*, I. Raskin and B. D. Ensley eds., Wiley-Interscience Publication, New York (2000).
12. **BAN-NAI T., MURAMATSU, Y., YANAGISAWA, K.**, Transfer factors of some selected radionuclides (radioactive Cs, Sr, Mn, Co, and Zn) from soil to leaf vegetables, *J. Radiat. Res.* 36 (1995) 143 – 154.
13. **WILLEY, N. J., TANG, S., and WATT, N. R.**, Predicting inter-taxa differences in plant uptake of cesium-134/137, *J. Environ. Qual.* 34 (2002) 1478 - 1489.