

**PARAMETER TRANSFER RADIOSTRONSIUM ^{85}Sr DI LINGKUNGAN
MELALUI JALUR TANAH – TANAMAN BAYAM (*Amaranthus sp.*)**

Putu Sukmabuana

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri
Badan Tenaga Nuklir Nasional – BATAN
Jln. Tamansari 71, Bandung
E-mail : sukma23@gmail.com

ABSTRAK

PARAMETER TRANSFER RADIOSTRONSIUM ^{85}Sr DI LINGKUNGAN MELALUI JALUR TANAH – TANAMAN BAYAM (*Amaranthus sp.*). Transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan merupakan salah satu jalur dimana radionuklida kemudian dapat sampai mengkontaminasi tubuh manusia. Parameter yang digunakan untuk menjelaskan interaksi tanah – tanaman adalah faktor transfer (F_t) dan koefisien laju transfer (k_{12}). Penelitian mengenai transfer radionuklida dari tanah ke tanaman pangan telah dilakukan untuk mengetahui besarnya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi radionuklida untuk keperluan pengkajian dosis interna pada manusia. Tanaman sayuran yang banyak dikonsumsi, yaitu bayam (*Amaranthus sp.*), ditumbuhkan dalam media tanah yang dicemari dengan radionuklida ^{85}Sr selama dua bulan. Setiap lima hari sekali tanaman dan tanah tempat tumbuhnya dicuplik, dikeringkan dan kemudian diukur kandungan radionuklida ^{85}Sr menggunakan spektrometer gamma. Dari penelitian ini diketahui besarnya kemampuan tanaman dalam mengakumulasi ^{85}Sr yang dinyatakan sebagai faktor transfer, yaitu sebesar 3, sedang nilai k_{12} yang menyatakan koefisien laju transfer diperoleh sebesar $9,99 \times 10^{-3} \text{ hari}^{-1}$ dan $9,98 \times 10^{-3} \text{ hari}^{-1}$, masing-masing untuk $0 < t < 41$ hari dan $t > 41$ hari. Parameter transfer radionuklida ^{85}Sr dari tanah ke tanaman bayam nantinya dapat diaplikasikan untuk pengkajian dampak radiologik pada saat terjadi pencemaran radionuklida Sr di tanah. Dengan diketahui nilai F_t dan k_{12} dapat diperkirakan besarnya aktivitas radionuklida Sr dalam tanaman setelah selang waktu tertentu pencemaran di tanah.

Kata kunci : radiostronsium, ^{85}Sr , faktor transfer, koefisien laju transfer, F_t , k_{12}

ABSTRACT

THE TRANSFER PARAMETER OF ENVIRONMENTAL ^{85}Sr RADIOSTRONTIUM TROUGH SOIL – SPINACH PLANT (*Amaranthus sp.*) PATHWAY. The radionuclide transfer from soil to crop is a pathway of the radionuclide to contaminate human body. Soil plant interaction can be examined by several parameter such as transfer factor (F_t) and transfer rate coefficient (k_{12}). An experiment about radiostrontium transfer from soil to crop had been conducted to determine the plant ability in radionstrontium accumulation for human internal doses assessment. Crop represented by commonly consumed by people, spinach (*Amaranthus sp.*), was cultivated in soil contaminated with ^{85}Sr for about 2 months. Every five days the soil and plants were sampled, dried, and the ^{85}Sr activities were measured using gamma spectrometer. The measurement results showed that the spinach crop were able to absorb and accumulate ^{85}Sr . The F_t value obtained from this experiment is about 3, whereas the the k_{12} values are $9.99 \times 10^{-3} \text{ day}^{-1}$ and $9.98 \times 10^{-3} \text{ day}^{-1}$, for $0 < t < 41$ days and $t > 41$ days, respectively. The ^{85}Sr soil – plant transfer parameter is expected to be used for radiological impact assessment in the case of Sr radionuclide contamination in soil. The obtained F_t and k_{12} can be use for predicting Sr radioactivities in edible parts of plants in certain period after soil contamination with radiostrontium.

Key words : radiostronsium, ^{85}Sr , transfer factor, transfer rate coefficient, F_t , k_{12}

1. PENDAHULUAN

Transfer radionuklida dari tanah ke tanaman merupakan salah satu jalur dimana radionuklida kemudian dapat sampai ke

tubuh manusia pada kasus kecelakaan nuklir yang mengakibatkan kontaminasi tanah oleh radionuklida. Pada sistem pertanian, salah satu parameter terbaik yang dapat menjelaskan interaksi tanah – tanaman adalah faktor transfer (F_t). Parameter ini telah ditentukan dan digunakan secara luas atas rekomendasi dari *International Union of Radioecologist* (IUR), yang berkaitan dengan rasio antara jumlah total radionuklida dalam tanaman dibandingkan dengan yang ada di tanah (1), melalui persamaan [1].

$$F_t = \frac{A_2}{A_1} \quad [1]$$

Pada persamaan [1], A_2 adalah aktivitas radionuklida dalam bagian tanaman yang dikonsumsi (Bq/kg berat kering) dan A_1 adalah aktivitas radionuklida dalam tanah (Bq/kg berat kering).

Perpindahan radionuklida di lingkungan, khususnya jalur tanah ke tanaman merupakan fenomena yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor (2), sehingga nilai F_t mempunyai variasi yang besar berdasarkan tipe tanah tempat tanaman tumbuh, jenis tanaman, dan jenis radionuklida (3). Perpindahan radionuklida dari tanah ke tanaman telah banyak dipelajari terutama untuk radionuklida hasil fisi yang mempunyai potensi bahaya radiasi interna pada manusia karena energinya relatif tinggi dan waktu paruhnya yang panjang, yaitu Cs dan Sr (4, 5). Namun demikian, nilai faktor transfer yang tersedia adalah untuk jenis tanaman yang tumbuh di tempat beriklim sedang, sedangkan data untuk daerah tropis

dan subtropis sangat terbatas. Penerapan nilai faktor transfer untuk iklim sedang ke ekosistem tropis sangatlah tidak mungkin, mengingat jenis tanaman, jenis tanah, dan iklim yang sangat berbeda (5).

Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan penentuan nilai faktor transfer untuk radionuklida Cs pada berbagai tanaman sayuran di Indonesia untuk jenis tanah *clay loam* (andosol) (6, 7, 8), dan diperoleh nilai F_t bervariasi untuk setiap jenis tanaman, yaitu 2,05 ; 1,63 ; dan 13,16 masing-masing untuk bagian tanaman yang dapat dimakan pada tanaman bayam, kangkung, dan ubi jalar. Pada penelitian ini ditentukan nilai parameter transfer radionuklida stronsium (Sr) dari tanah ke tanaman sayuran yang banyak dikonsumsi penduduk di Indonesia, yaitu tanaman bayam. Konsumsi sayur bayam (*Amaranthus sp.*) menurut data dari BPS pada tahun 2005 dan 2006 adalah sebesar 0,9 kg/kapita tahun. (9), sedang produksinya di Indonesia adalah 1556 kuintal/tahun (9). Dari data hasil penelitian ini kemudian ditentukan parameter transfer yang terdiri dari nilai faktor transfer (F_t) dan nilai koefisien laju perpindahan (k_{12}). Nilai parameter transfer ini akan digunakan untuk memperkirakan dosis radiasi interna pada manusia pada kasus kecelakaan nuklir yang mengakibatkan kontaminasi tanah dengan radionuklida stronsium.

2. TATA KERJA

2.1 Percobaan

Penelitian dilakukan dalam *green house* untuk menjaga lepasnya radiostronsium ke lingkungan dan

mencegah serangga yang dapat mengganggu pertumbuhan dan membawa kontaminan radionuklida ke lingkungan luar. Kondisi *green house* yang digunakan adalah suhu berkisar antara 28 – 35°C dan kelembapan udara berkisar antara 70 - 90%. Sebagai media pertumbuhan adalah tanah halaman PTNBR, yang sebelum penelitian dimulai dianalisis karakteristik fisika dan kimianya di Balai Penelitian Sayuran, Departemen Pertanian di Lembang. Tanah yang digunakan berjumlah 640 kg dan telah dicampur dengan pupuk organik, dimasukkan ke dalam empat buah bak terbuat dari kayu dan bagian dalamnya telah dilapisi plastik tebal untuk menjaga agar air hasil penyiraman tidak meresap ke bak kayu. Bak kayu berukuran 1 m x 1 m dengan tinggi 35 cm, sehingga luas permukaan tanah yang akan ditempati oleh tanaman adalah 1m²/bak dengan berat tanah 160 kg/bak.

Tanaman bayam diperoleh dengan cara penyemaian dari biji sehingga diperoleh tanaman dengan umur dan ukuran yang relatif seragam. Biji tanaman ditaburkan pada *seedling tray* yang diisi dengan tanah dan disiram air agar kondisi tanah menjadi lembab selama 1 bulan, sampai tanaman mempunyai ketinggian lebih kurang 10 cm dan daunnya berjumlah empat, serta sistem perakaran telah cukup kuat dan dapat berfungsi dengan baik.

Radiostronsium yang digunakan dalam penelitian ini adalah ^{85}Sr yang merupakan pemancar gamma dengan energi 513 keV (99 %) dan mempunyai waktu paruh 64 hari. Radionuklida ^{85}Sr diperoleh dari hasil irradiasi 2,5 g $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$

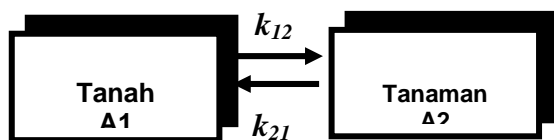
pada reaktor nuklir GA Siwabessy, Serpong dengan fluks neutron $1,12 \times 10^{14}$ neutron.cm⁻².detik⁻¹ selama 3 hari, sehingga diperoleh aktivitas sebesar 191 MBq. Radiostronsium diencerkan dengan penambahan akuades sehingga konsentrasinya menjadi 0,382 MBq/mL. Larutan ^{85}Sr kemudian ditambahkan sebanyak 45 mL ke setiap bak untuk memperoleh konsentrasi 107,4 Bq/g, dan diaduk sampai homogen. Homogenitas diperiksa dengan cara mengambil cuplikan tanah pada 5 titik untuk setiap bak kemudian diukur aktivitas ^{85}Sr menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HPGe. Besarnya konsentrasi ^{85}Sr dalam tanah ditentukan dengan mempertimbangkan waktu paruh dan paparan radiasi yang dihasilkannya.

Setelah dipastikan homogen, bibit tanaman ditanam pada dua bak yang telah dikontaminasi dan dua bak lain yang tidak dikontaminasi sebagai kontrol. Setiap bak ditanami dengan 25 tanaman dengan jarak antara tanaman 20 cm. Pengamatan pertumbuhan tanaman dan penyerapan ^{85}Sr oleh tanaman dilakukan setiap 5 hari dengan cara mengambil 3 individu tanaman beserta tanah di zona akarnya dari bak tanah yang mengandung ^{85}Sr dan kontrol. Tanaman dicuci dengan air mengalir sampai bersih untuk menghindari menempelnya partikel tanah pada tanaman yang dapat mengakibatkan penambahan aktivitas pada saat pengukuran sampel. Tanaman diukur tingginya dan dipisahkan menjadi bagian akar, batang, dan daun. Sampel tanaman dan tanah ditimbang, kemudian dikeringkan dengan oven pengering pada suhu 100°C

selama 3 – 4 jam sampai diperoleh berat konstan. Sampel kering dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diukur aktivitas ⁸⁵Sr menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HPGe selama 300 detik pada energi 513 keV.

2.2. Analisis data

Data hasil pengukuran pertumbuhan tanaman dan aktivitas ⁸⁵Sr dalam sampel tanah dan tanaman dianalisis untuk mendapatkan nilai parameter transfer radionuklida ⁸⁵Sr dari tanah ke tanaman. Nilai F_t dihitung menggunakan persamaan [1], sedang nilai koefisien laju perpindahan (k_{12}) dihitung menggunakan persamaan [2] sampai [8] yang dirumuskan menurut model kompartemen transfer radionuklida dari tanah ke tanaman (Gambar 1) dari Yasuda (10) dan Maltz (11).



Gambar 1. Model kompartemen transfer radionuklida dari tanah ke tanaman (10)

$$\frac{dA_1}{dt} = -(k_{12} + \lambda)A_1 \quad [2]$$

$$\frac{dA_2}{dt} = k_{12}A_1 - \lambda A_2 \quad [3]$$

dimana, A_1 = aktivitas radionuklida dalam tanah (MBq) dan A_2 = aktivitas radionuklida dalam tanaman (MBq).

Persamaan diferensial pada persamaan [2] dan [3] dapat diselesaikan melalui metode analisis sehingga diperoleh persamaan [4] dan [5].

$$A_1 = A_{1(0)} e^{-(k_{12} + \lambda)t} \quad [4]$$

$$A_2 = A_{1(0)} (e^{-\lambda t} - e^{-(k_{12} + \lambda)t}) \quad [5]$$

Berdasar pada persamaan [4] dan [5] aktivitas ⁸⁵Sr dalam tanah dapat dihitung melalui persamaan [6].

$$A_1 = A_{1(0)} e^{-\lambda t} - A_2 \quad [6]$$

Dimana, $A_{1(t)}$ = aktivitas ⁸⁵Sr dalam tanah pada waktu (t); $A_{1(0)}$ = aktivitas ⁸⁵Sr dalam tanah pada waktu (t=0); λ = konstanta peluruhan = 0,693/64 hari = 0,011 /hari; A_2 = aktivitas ⁸⁵Sr dalam tanaman pada saat (t).

Koefisien laju penyerapan ⁸⁵Sr dari tanah ke tanaman ditentukan berdasar pada korelasi antara $A_{1(t)}$ dan $A_{1(0)}$. $A_{1(0)}$ adalah aktivitas awal ⁸⁵Sr dalam tanah dan $A_{1(t)}$ adalah aktivitas ⁸⁵Sr dalam tanah setelah waktu t. Nilai k_{12} ditentukan untuk 2 fase waktu, pertama adalah penentuan k_{12} menggunakan fungsi linear antara $\ln(A_{1(0)}/A_{1(t)})$ vs t. Nilai k_{12} merupakan slope dari kurva linear yang dirumuskan oleh Birkes, D dalam Tambunan, O. T. (12) seperti pada persamaan [7].

$$k_{12} = \frac{\sum_{i=0}^t \left[\left(\ln \frac{A_{1(0)}}{A_1} \right)_i - \left(\ln \frac{A_{1(0)}}{A_1} \right)_{average} \right] x [t - t_{average}]}{\sum_{i=0}^t [t - t_{average}]^2} - \lambda \quad [7]$$

Nilai k_{12} fase pertama diaplikasikan pada saat aktivitas di tanaman meningkat sebagai fungsi waktu t (dari t=0 sampai t). Untuk fase ke 2, nilai k_{12} ditentukan dengan cara substitusi $A_{1(0)}$ dan $A_{1(t)}$ ke persamaan [8] dan diaplikasikan pada saat kondisi kesetimbangan telah tercapai. Nilai k_{12} merupakan rata-rata nilai dari perhitungan yang dirumuskan oleh persamaan [8].

$$k_{12} = \frac{\ln \frac{A_{I(0)}}{A_1}}{t} - \lambda \quad [8]$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Tanah

Pada penelitian ini tanah yang digunakan terlebih dahulu dianalisis parameter fisika dan kimianya. Dari hasil analisis, tanah yang digunakan terdiri dari fraksi pasir, debu dan liat dengan persentase seperti diperlihatkan Tabel 1.

Dengan komposisi fraksi pasir, debu, dan liat seperti pada Tabel 1, yaitu masing-masing 14,5% ; 23,2% ; 62,2%, maka berdasarkan segi tiga tekstur dari *United States Department of Agriculture* (13) jenis tanah yang digunakan adalah lempung berat atau *clay loam*. Jenis tanah ini mempunyai luas permukaan spesifik besar sehingga mempunyai kemampuan adsorpsi ion dan air yang besar pula.

Tabel 1. Distribusi fraksi tekstur tanah yang digunakan dalam penelitian

Fraksi	Persentase fraksi ukuran partikel (%)					Total fraksi (%)
	Sangat kasar	Kasar	Sedang	Halus	Sangat halus	
Pasir	1,3	1,6	2,8	1,8	7,0	14,5
Debu	-	5,5	9,9	7,8	-	23,2
Liat	-	7,7	54,5	-	-	62,2

Table 2. Parameter kimia tanah yang digunakan dalam penelitian

No	Parameter	Karakteristik	Satuan
Makroelemen			
1	pH	6,60	-
2	C	5,67	%
3	N	0,24	%
4	C/N	24,00	%
5	P	79,20	ppm
6	K	429,00	ppm
7	N-NH ₄	5,24	mg/100g
8	N-NO ₃	50,19	mg/100g
Makroelemen 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	KTK**	27,02	me/100g
Mikroelemen			
14	Fe	5,90	ppm
15	Mn	6,40	ppm
16	Cu	2,40	ppm
17	Zn	11,50	ppm
18	S	35,70	ppm
19	Al	102,40	ppm
20	B	0,49	ppm
21	Materi Organik	9,75	%
22	Kandungan Air	29,35	%

Keterangan :

* me/100g atau meq/100g adalah mili ekuivalen per 100 g tanah, menyatakan satuan dari jumlah kation suatu unsur yang dapat diikat oleh partikel tanah.

**KTK adalah kapasitas tukar kation, merupakan jumlah total kation yang dapat diikat oleh partikel tanah, atau merupakan muatan negatif total tanah.

Parameter kimia tanah diperlihatkan pada Tabel 2. Dalam kaitannya dengan penyerapan Sr oleh tanaman, unsur kimia yang berpengaruh adalah *exchangeable macroelement* (makroelemen yang dapat dipertukarkan) Ca, karena Ca dan Sr berada pada golongan yang sama dalam tabel periodik unsur, sehingga mempunyai sifat kimia yang mirip (14). Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa kandungan unsur Ca yang dapat dipertukarkan sebesar 22,13 me/100g atau 0,443%. Kandungan Ca yang dapat dipertukarkan dalam tanah lingkungan adalah 0,2 – 1,5%, sedang dalam larutan tanah berkisar antara 0,001 – 0,02 % (13). Karakteristik tanah ini menentukan besarnya ⁸⁵Sr yang diserap tanaman.

3.2. Pertumbuhan tanaman

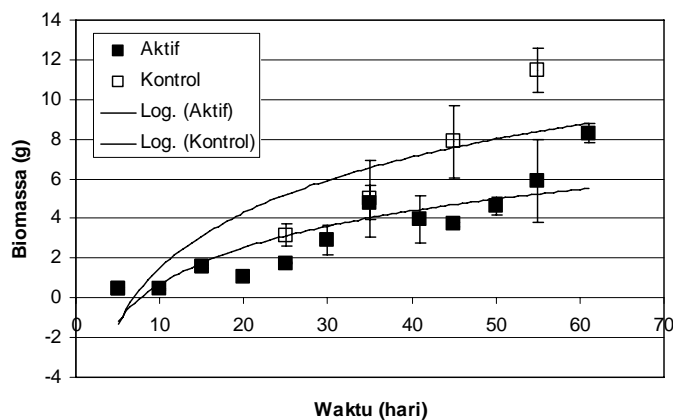
Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang dikontaminasi dengan ⁸⁵Sr diamati pertumbuhannya dan dibandingkan dengan pertumbuhan tanaman yang ditanam pada tanah yang tidak dikontaminasi. Pertumbuhan tanaman diukur melalui kenaikan biomassa tanaman selama

penelitian berlangsung seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Parameter pertumbuhan tanaman dinyatakan sebagai *growth value* yang merupakan rasio antara biomassa tanaman pada waktu t (m_t) dengan biomassa tanaman semula (m_0) (15) seperti diperlihatkan persamaan [9].

$$GV = \frac{m_{(t)} - m_{(0)}}{m_{(0)}} \quad [9]$$

Nilai *growth value* berdasarkan data pada Gambar 2 adalah sebesar 1 untuk tanaman kontrol sedang untuk tanaman yang tumbuh di tanah yang terkontaminasi ⁸⁵Sr relatif lebih kecil, yaitu 0,45. Perbedaan *growth value* mengindikasikan perbedaan pertumbuhan antara tanaman kontrol dan tanaman yang tumbuh di tanah yang dikontaminasi radionuklida ⁸⁵Sr. Pertumbuhan tanaman pada tanah yang mengandung ⁸⁵Sr mengalami keterlambatan dibandingkan dengan tanaman kontrol, dan kemungkinan merupakan akibat radiasi sinar gamma yang dipancarkan oleh ⁸⁵Sr.



Gambar 2. Kurva pertumbuhan tanaman bayam yang ditanam pada tanah mengandung ⁸⁵Sr dan tanah kontrol.

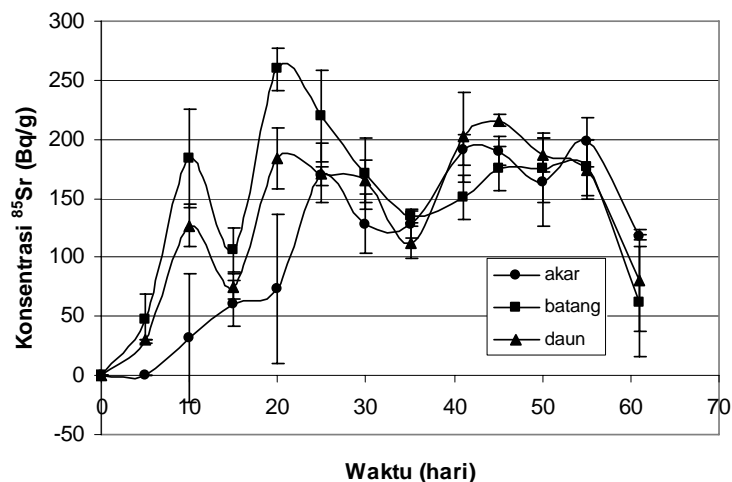
Radiasi gamma dari ^{85}Sr dalam tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan akar dan mengakibatkan berkurangnya penyerapan unsur hara dari tanah, sehingga tanaman mengalami gangguan pertumbuhan.

Secara kimia Sr tidak mempengaruhi pertumbuhan atau tidak toksik terhadap tanaman (16). Di alam Sr terdapat dalam tanah dengan konsentrasi yang bervariasi, dan menurut Bowen (16) rata-rata konsentrasi Sr adalah sebesar 250 ppm. Dalam penelitian ini jumlah Sr yang ditambahkan sangat rendah, yaitu 0,23 ppm .

3.3. Parameter transfer

Radionuklida ^{85}Sr yang ada dalam tanah diserap dan diakumulasi oleh tanaman pada seluruh organ tanaman, yaitu akar, batang, dan daun (Gambar 3). Stronsium mempunyai sifat kimia hampir sama dengan kalsium yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar (makronutrien), sehingga stronsium juga diserap oleh tanaman dan diakumulasi.

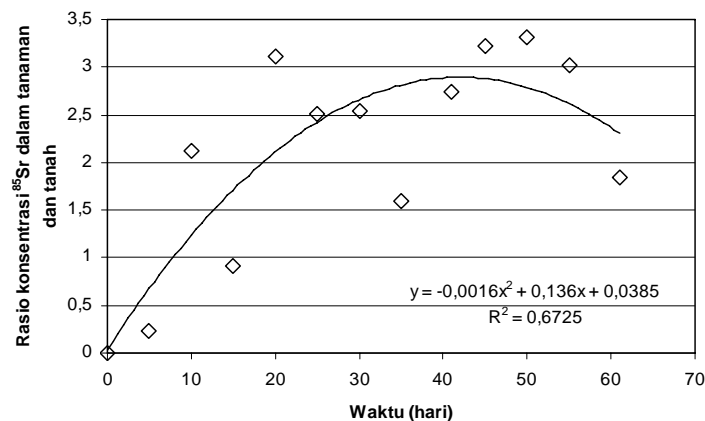
Nilai parameter transfer ditentukan berdasarkan konsentrasi ^{85}Sr dalam bagian tanaman yang dikonsumsi yaitu batang dan daun dibandingkan dengan konsentrasinya dalam tanah pada saat t seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Nilai faktor transfer (F_t) ditentukan berdasar nilai tertinggi rasio konsentrasi ^{85}Sr dalam tanaman terhadap konsentrasinya dalam tanah setelah dicapai kestabilan (14), sehingga apabila mengacu pada Gambar 4 maka dapat ditentukan besarnya F_t ^{85}Sr dari tanah ke bagian tanaman yang dikonsumsi adalah 3 dan dicapai pada saat tanaman berada pada tanah terkontaminasi setelah lebih dari 20 hari. Dengan nilai F_t lebih dari satu dapat dikatakan bahwa tanaman bayam merupakan akumulator radionuklida Sr. Hal ini perlu mendapat perhatian serius, karena dengan sifat akumulasinya berarti pada saat terjadi kontaminasi tanah dengan unsur Sr, maka bayam menjadi bahan pangan yang tidak boleh dikonsumsi.



Gambar 3. Distribusi konsentrasi ^{85}Sr dalam tanaman bayam

Tabel 4. Parameter transfer radionuklida Sr dari tanah ke beberapa tanaman pangan

No.	Jenis tanah	Tanaman	Faktor transfer	Pustaka
1.	Andosol (<i>Clay loam</i>)	Kangkung	3,25 (akar) 2,80 (batang) 1,63 (daun)	(17)
2.	Andosol (<i>Clay loam</i>)	Lobak	0,05 (umbi) 0,78 (daun)	(5)
3.	Andosol (<i>Clay loam</i>)	Wortel	0,12 (umbi) 0,96 (daun)	(5)
4.	Andosol (<i>Clay loam</i>)	Turnip (<i>Brassica rappa</i>)	0,25 (umbi) 0,94 (daun)	(5)
5.	Peat	Tomat	0,025 (buah)	(18)
6.	Udifulvents	Anggur	0,66 (buah) 17,70 (daun) 16,60 (pucuk daun) 6,30 (batang) 6,10 (akar)	(19)



Gambar 4. Rasio konsentrasi ⁸⁵Sr dalam bagian tanaman bayam yang dikonsumsi dibandingkan dengan konsentrasinya dalam tanah.

Parameter transfer lainnya yang perlu ditentukan adalah k_{12} ⁸⁵Sr dari tanah ke bagian tanaman yang dikonsumsi. Nilai ini penting ditentukan untuk dapat memprediksi besarnya konsentrasi ⁸⁵Sr dalam bagian tanaman yang dikonsumsi apabila tanah tercemar dengan ⁸⁵Sr setelah waktu tertentu. Nilai k_{12} dihitung untuk hari ke 0 sampai hari ke 40 dimana pada saat itu rasio konsentrasi

⁸⁵Sr dalam tanaman dan tanah mencapai nilai tertinggi berdasarkan kurva rasio (Gambar 4) serta untuk hari ke 41 dan selanjutnya. Dengan menggunakan persamaan [7] dan [8] dihitung besarnya k_{12} , dan diperoleh hasil k_{12} sebesar $9,99 \times 10^{-3}$ hari⁻¹ dan $9,98 \times 10^{-3}$ hari⁻¹, masing-masing untuk $0 < t < 41$ hari dan $t > 41$ hari.

Data mengenai faktor transfer ⁸⁵Sr dari

tanah ke tanaman masih sangat sedikit, terutama untuk daerah tropis. Data F_t untuk Sr dari tanah ke tanaman pangan diperlihatkan pada Tabel 4.

Dari data parameter transfer yaitu F_t yang tercantum pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa besarnya F_t sangat bervariasi. Menurut Maria Greger (14) dan Stefan Trapp (20) transfer setiap unsur dari tanah ke tanaman mempunyai mekanisme yang berbeda-beda menurut jenis tanaman, karakteristik tanah dan kondisi lingkungan tanah. Ada tiga mekanisme penyerapan unsur melalui akar tanaman yaitu difusi, intersepsi, dan *mass flow*. Mekanisme difusi pada penyerapan unsur melalui akar bekerja apabila terjadi perbedaan konsentrasi unsur antara tanah dan tanaman, sedang mekanisme intersepsi akar terjadi pada saat volume matrik tanah digantikan oleh volume akar akibat adanya pertumbuhan. Proses *mass flow* (aliran massa) merupakan proses transport larutan tanah yang disebabkan karena perbedaan tekanan potensial air yang dipicu karena adanya proses transpirasi. Ketiga mekanisme ini dapat terjadi bersamaan atau secara bergantian bergantung pada keadaan lingkungan, atau dapat juga satu proses lebih dominan dari yang lain menurut jenis tanaman (14).

Stronsium dalam tanah kebanyakan berada dalam bentuk ionik Sr^{2+} atau juga dalam bentuk khelat. Ion Sr mudah berikatan dengan mineral *clay* dan terikat kuat pada materi organik. Ketersediaan Sr bagi tanaman bergantung pada pH tanah dan kandungan materi organik, pada tanah dengan pH asam dan bersifat aerob mobilitas Sr sangat tinggi. Ketersediaan Sr dalam

tanah dapat ditekan oleh keberadaan Ca, Mg, K, dan Na.

Penyerapan Sr dari tanah oleh tanaman berkaitan dengan mekanisme *mass flow* dan difusi pertukaran ion. Besarnya konsentrasi Sr dalam tanaman pada umumnya berkisar antara 10 – 1500 $\mu\text{g/g}$ kering. Unsur Sr yang berada dalam tanaman sangat mudah berpindah ke bagian tanaman lainnya. Distribusi akumulasi Sr dalam bagian tanaman bervariasi menurut jenis tanaman, untuk tanaman ubi jalar Sr banyak terakumulasi pada bagian daun dari pada pada bagian umbi, sedang pada tanaman sebangsa cemara (*Picea abies*) Sr banyak diakumulasi pada rambut akar (14).

Faktor transfer merupakan parameter yang umum digunakan dalam kaitannya dengan transfer radionuklida di lingkungan. Besarnya F_t bervariasi untuk setiap radionuklida dan jenis tanaman. Menurut IUR dalam laporan Greger (14) besarnya F_t untuk radionuklida Sr berkisar antara 8×10^{-3} dan 4×10^1 . Berdasar pada data Tabel 4 nilai F_t yang diperoleh dari penelitian ini masih masuk dalam kisaran nilai yang diberikan oleh IUR. Nilai F_t berbeda antara spesies yang berbeda karena setiap spesies tanaman mengakumulasi elemen pada tingkat yang berlainan. Oleh karena itu data F_t mutlak spesifik untuk tempat dan jenis tanaman. Nilai F_t dari penelitian ini relatif tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh penelitian lain untuk tanaman yang berbeda.

Nilai parameter transfer k_{12} yang diperoleh dari penelitian ini digunakan untuk memperkirakan konsentrasi radionuklida dalam tanaman setelah terpapar selama waktu t . Nilai k_{12} sama halnya dengan F_t juga

bervariasi menurut jenis tanah, radionuklida dan tanaman.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa tanaman bayam menyerap radionuklida Sr melalui akar dan kemudian Sr didistribusikan ke seluruh bagian tanaman yaitu akar, batang, dan daun sesuai dengan distribusi unsur Ca yang berada pada golongan yang sama dengan Sr dalam sistem periodik unsur.

Kemampuan tanaman bayam dalam mengakumulasi unsur Sr dinyatakan sebagai F_t yang dari penelitian ini diperoleh nilai sebesar 3 untuk bagian tanaman yang dapat dikonsumsi yaitu batang dan daun. Dibandingkan dengan nilai F_t yang diperoleh peneliti lain untuk jenis tanaman lainnya nilai F_t untuk tanaman bayam relatif tinggi, karena tanaman bayam mampu mengakumulasi logam lebih baik dari tanah tempat tumbuhnya dibandingkan dengan tanaman lainnya. Pada penelitian ini dihitung juga koefisien laju penyerapan yang dinyatakan sebagai k_{12} dan diperoleh nilai sebesar $9,99 \times 10^{-3} \text{ hari}^{-1}$ dan $9,98 \times 10^{-3} \text{ hari}^{-1}$, masing-masing untuk $0 < t < 41$ hari dan $t > 41$ hari.

Parameter transfer radionuklida Sr dari tanah ke tanaman bayam nantinya dapat diaplikasikan untuk pengkajian dampak radiologik pada saat terjadi pencemaran Sr di tanah. Dengan diketahui nilai F_t dan k_{12} dapat diperkirakan besarnya aktivitas Sr dalam tanaman setelah selang waktu t pencemaran di tanah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih

kepada Ibu Neneng Nur Aisyah, Amd. yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini, serta kepada Bapak Widanda yang telah mengelola limbah radioaktif hasil penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Choi YH, Lim KM, Jun I, Park DW, Keum DK, and Lee CW. Root uptake of radionuclides following their acute soil deposition during the growth of selected food crops. *J Environ Radioactivity* 2009;100: 746–51.
2. Butkus D, Luksiene B, and Konstatinova M. Evaluation of ^{137}Cs soil-to-plant transfer: Natural and model experiments. *J Radioanal and Nucl Chem* 2009;279(2):411-6.
3. Rovdan EN and Abramets AM. Physicochemical processes effecting ^{137}Cs and ^{90}Sr migration in soils and uptake by plants. In: Horst WJ, editor. *Plant Nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystem*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2001. p 996 -7.
4. Carvalho C, Mosquere B, Anjos RM, Sanches N, Bastos J, Macario K, and Veiga R; Accumulation and long-term behavior of radiocaesium in tropical plants, *Brazilian J of Phys* 2006;36(4B):1345-8.
5. Bannai 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* 1995;36:143–54.
6. Tjahaja PI dan Sukmabuana P. Penyerapan Cs-134 dari tanah andosol ke tanaman bayam (*Amaranthus sp*).

- Prosiding Seminar Nasional ke 14
Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta
Fasilitas Nuklir; 2008 Nov 5; Bandung.
PTRKN BATAN – UNPAD; 2008. p. 348-
56.
7. Sukmabuana P dan Tjahaja PI.
Perpindahan radiocesium dari tanah
berair ke tanaman kangkung (*Ipomoea*
sp.). Prosiding Seminar Nasional Sains
dan Teknologi Nuklir; 2009 Jun 6.
Bandung. PTNBR BATAN – ITB; 2009
November. p. 207-14.
8. Tambunan OT, Arif I, Sukmabuana P,
dan Tjahaja PI. Perpindahan ¹³⁴Cs dari
tanah ke tanaman ubi jalar (*Ipomoea*
batatas). Prosiding Seminar Nasional
Sain dan Teknologi Nuklir; 2009 Jun 6.
Bandung. PTNBR BATAN – ITB; 2009
November. p. 180-6.
9. Badan Pusat Statistik-Bandung. Bandung
Dalam Angka Tahun 2003. Bandung:
Penerbit BPS, 2003.
10. Yasuda H. Transfer models in soil-plant
system used for environmental impact
assessments. *J Nucl Sci And Technol*
1995;32(12): 1272-83.
11. Maltz J. Compartmental modelling [cited
2008 May]. Available form URL:
<http://www.berkeley.edu>.
12. Tambunan OT, Arif I, Tjahaja PI, and
Sukmabuana P. The ¹³⁴Cs Rate
coefficient (k_{12}) from andosol soil to
sweet potatoes used in uptake model.
Proceedings of the 3rd Asian Physics
Symp, 2009 Jul 22 – 23. Bandung.
Department of Physics, Institut
Teknologi Bandung; 2009. p. 323-7.
13. Sutanto R. Dasar-dasar ilmu tanah,
konsep dan kenyataan. Yogyakarta:
Percetakan Kanisius; 2005.
14. Greger M. Uptake of nuclides by plants.
Technical report. Stockholm: Swedish
Nuclear Fuel and Waste Management
Co; 2004. p. 13 -52.
15. Soudek P, Valenova S, Vavrikova Z,
Vanek T. ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr uptake by
sunflower cultivated under hydroponic
conditions. *J Environ Radioactivity* 2006;
20:1-15.
16. Bowen HJM. Environmental chemistry of
the elements, London : Academic Press;
1979. p. 195 -267.
17. Sukmabuana P and Tjahaja PI.
Radiostrontium transfer from ⁸⁵Sr
contaminated soil to kangkung plant.
Proc. Asia Physics Symposium; 2009
July 22 – 23; Bandung. Institut Teknologi
Bandung; 2009. p. 329 -33.
18. Brambilla M, Fortunati P and Carini F.
Foliar and root uptake of ¹³⁴Cs, ⁸⁵Sr and
⁶⁵Zn in processing tomato plants
(*Lycopersicum esculentum Mill.*). *J*
Environ Radioact 2002;60:351-63.
19. Carini F and Lombi E. Foliar and soil
uptake of ¹³⁴Cs and ⁸⁵Sr by grape vines.
The Sci of The Total Environ 1997;207:
157-64.
20. Trapp S and Kulhanek A. Human
exposure assessment for food – one
equation for all crops is not enough In:
Mackove M, Dowling D, and Macek T,
editors. *Phytoremediation*
rhizoremediation. The Netherlands:
Springer; 2006.

