

PENYERAPAN ^{134}Cs DARI TANAH OLEH TANAMAN BUNGA MATAHARI (*Helianthus anuus, Less*)

Poppy Intan Tjahaja dan Putu Sukmabuana

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN, Jl. Tamansari no 71, Bandung 40132

ABSTRAK

PENYERAPAN ^{134}Cs DARI TANAH OLEH TANAMAN BUNGA MATAHARI (*Helianthus anuus, Less*). Percobaan senjata nuklir dan kecelakaan reaktor nuklir memungkinkan lepasnya radiosesium (^{137}Cs dan ^{134}Cs) ke lingkungan yang menyebabkan kontaminasi lingkungan. Salah satu metode pemulihan lingkungan terkontaminasi adalah menggunakan teknik fitoremediasi, yaitu pemulihan lingkungan terkontaminasi menggunakan tanaman. Pada penelitian ini dipelajari kemampuan tanaman bunga matahari (*Helianthus anuus, Less*) menyerap radiosesium dari dalam tanah untuk nantinya dapat dipertimbangkan menjadi fitoremediator lingkungan yang terkontaminasi dengan radiosesium. Tanaman bunga matahari ditumbuhkan pada medium tanah yang dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi bervariasi, yaitu 29,3 Bq/g ; 117,2 Bq/g ; 557 Bq/g selama 45 hari. Sebagai kontrol tanaman juga ditumbuhkan pada tanah yang tidak dikontaminasi dengan radiosesium. Pengamatan dilakukan 5 hari sekali dengan cara mengambil tanaman sebanyak 3 individu dan tanah tempatnya tumbuh. Sampel tanaman ditimbang dan diukur panjang batangnya, kemudian dipisahkan menjadi bagian akar, batang, dan daun. Sampel tanaman dan tanah kemudian dikeringkan dengan lampu infra merah selama 24 jam. Setelah kering, sampel dicacah menggunakan spektrometer sinar gamma dengan detektor HPGe. Hasil pencacahan berupa konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah dan bagian tanaman dianalisis untuk memperoleh nilai faktor transfer (FT). Dari penelitian ini diperoleh nilai FT tertinggi dicapai pada hari ke-26 yaitu sebesar 0,87 ; 1,89 ; 2,82 masing-masing untuk konsentrasi awal ^{134}Cs 29,3 Bq/g ; 117,2 Bq/g ; 557 Bq/g, yang berarti tanaman mampu mengakumulasi ^{134}Cs dari tanah. Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan diperoleh bahwa tanaman tidak mengalami keterlambatan pertumbuhan dan gangguan morfologi dibandingkan dengan kontrol. Tanaman tetap tumbuh normal walau ditanam pada media tanah dengan konsentrasi ^{134}Cs 557 Bq/g, sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman mempunyai radiosensitivitas tinggi. Oleh karena itu tanaman bunga matahari dapat dipertimbangkan sebagai fitoremediator tanah berjenis andosol yang terkontaminasi radionuklida Cs.

Kata kunci : faktor transfer, fitoremediasi, radiosesium, ^{134}Cs , tanah, bunga matahari

ABSTRACT

THE ^{134}Cs UPTAKE BY SUNFLOWER (*Helianthus anuus, Less*) CULTIVATED ON SOIL CONTAMINATED WITH ^{134}Cs . Nuclear weapon test and reactor accident may result environmental contamination due to radiocaesium release (^{137}Cs and ^{134}Cs). One of the methods for remediation of contaminated environment is phytoremediation techniques, i.e. the environmental remediation using plants. In this research the bioavailability of sunflower plant (*Helianthus anuus, Less*) in radiocaesium uptake from soil was studied for being considered become a phytoremediator later. Sunflower plants were cultivated on soil contaminated with ^{134}Cs with the concentrations of 29,3 kBq/kg ; 117,2 kBq/kg ; 557 kBq/kg for 45 days. As control the sunflowers were also cultivated on non contaminated soil. Observation was carried out every 5 days by sampling 3 plants and soils. The plant samples were weighed and measured their stem length, then the plants were separated into root, stem, and leaves. The plant and soil samples were dried using infra red lamp for 24 hours. The dried samples were then counted using gamma spectrometer with HPGe detector. The counting results i.e. ^{134}Cs concentration on soil and plant parts were then analyzed to obtain transfer factor (TF) values. From this research it

was obtained that the highest TF values was reached on 26th day, i.e. 0,87 ; 1,89 ; 2,82 for intial soil ¹³⁴Cs concentrations of 29,3 Bq/g ; 117,2 Bq/g ; 557 Bq/g, respectively. The TF values obtained expressed the capability of plants to accumulate ¹³⁴Cs from soils. The observation to the plants growth showed that the plants grew normally on the ¹³⁴Cs contaminated soil until the concentration of 557 Bq/g. It indicated that the plants have high radiosensitivity, hence the sunflower can be considered to be fitoremediator andosol soil contaminated with Cs radionuclides.

Key words : transfer factor, phytoremediation, radiocaesium, ¹³⁴Cs, soil, sunflower

1. PENDAHULUAN

Dengan direncanakannya pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Indonesia perlu dilakukan pengkajian keselamatan lingkungan, baik untuk kondisi reaktor beroperasi normal ataupun kecelakaan. Pada saat beroperasi normal diharapkan tidak ada lepasan bahan radioaktif ke lingkungan, akan tetapi pada saat kecelakaan dapat terjadi lepasan bahan radioaktif ke lingkungan.

Radiosesium (kebanyakan berupa ¹³⁴Cs dan ¹³⁷Cs) merupakan salah satu bahan radioaktif yang dapat terlepas ke lingkungan dalam jumlah relatif besar serta mempunyai dampak yang merugikan bagi lingkungan dan manusia pada saat terjadi kecelakaan reaktor nuklir. Radionuklida ¹³⁴Cs dan ¹³⁷Cs dapat dikatakan sebagai bahan radioaktif yang mempunyai potensi membahayakan kesehatan manusia, karena radiasi gamma yang dipancarkannya dan umur paruhnya yang relatif panjang, yaitu masing-masing 2,05 tahun dan 30 tahun. Radiosesium yang terlepas ke lingkungan dapat masuk ke rantai makanan melalui media udara, air, dan tanah. Pada saat terjadi kecelakaan radiosesium akan terlepas ke udara dan pada akhirnya dapat mencapai permukaan tanah. Radiosesium di dalam tanah dapat diserap oleh akar tanaman dan masuk ke dalam tanaman sampai akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh manusia apabila manusia mengkonsumsi makanan yang tercemar radiosesium. Demikian pula apabila radiosesium mencapai sistem perairan, pada akhirnya dapat pula mengkontaminasi tubuh manusia melalui produk makanan yang berasal dari perairan yang tercemar tersebut. Untuk menghindari bahaya perpindahan radionuklida dari lingkungan ke manusia diperlukan usaha pembersihan lingkungan dari kontaminan radioaktif.

Salah satu cara untuk memulihkan lingkungan tanah dari suatu kontaminan radioaktif adalah dengan menggunakan tanaman, yaitu dengan cara menanam tanaman

yang mampu menyerap radionuklida dari dalam tanah. Metode ini dikenal dengan nama fitoremediasi [1]. Pemulihan lingkungan dengan metode fitoremediasi mampu membersihkan lahan dari cemaran radionuklida dengan biaya murah.

Sebagai contoh, pada kasus kecelakaan Chernobyl metode fitoremediasi telah dicoba untuk membersihkan badan air yang tercemar dengan ¹³⁷Cs. Tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*, Less) disemai pada rakit terapung untuk menyerap ¹³⁷Cs dari badan air. Cara ini dapat menurunkan biaya pembersihan lingkungan menjadi sekitar 2-6 US\$ per seribu gallon air [2]. Menurut Miller [3] metode fitoremediasi paling sedikit sepuluh kali lebih murah daripada metode pengangkutan dan pengangkutan limbah berbahaya ke tempat pembuangan dan menjadikannya konsentrat padat.

Metode fitoremediasi mempunyai beberapa kelebihan, yaitu [4] : teknologinya *in situ*, modal proses relatif kecil, biaya yang dibutuhkan relatif kecil, tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan, dan dapat diterima oleh masyarakat awam. Akan tetapi metode fitoremediasi juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu proses pembersihan yang diperlukan relatif lama, logam atau radionuklida yang terakumulasi pada tanaman dapat memasuki rantai makanan apabila tanaman tersebut termakan oleh makhluk hidup. Selain itu, kelemahan metode fitoremediasi adalah keefektifannya dipengaruhi musim serta serangan hama dan penyakit tanaman, dan apabila konsentrasi kontaminan tinggi dapat menyebabkan fitotoksik dan menghambat pertumbuhan tanaman.

Metode fitoremediasi masih terus dikembangkan dengan cara mencari berbagai jenis tanaman yang dapat menyerap radionuklida dari berbagai kompartemen lingkungan. Beberapa jenis tanaman telah diselidiki di beberapa negara beriklim sedang untuk mengetahui kemampuannya dalam

menyerap radionuklida jenis tertentu. Berdasar kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi radionuklida dapat ditentukan apakah suatu jenis tanaman dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam fitoremediasi lingkungan.

Bunga matahari merupakan tanaman yang masuk ke dalam suku compositae (asteraceae), sebuah suku yang mempunyai jenis sangat banyak. Tanaman ini pernah berhasil digunakan dalam proses fitoremediasi badan air yang tercemar radionuklida akibat kecelakaan Chernobyl. Mengingat tanaman bunga matahari merupakan tanaman terestrial, maka perlu dicoba kemampuannya dalam fitoremediasi radiocesium dari tanah yang terkontaminasi radiocesium di wilayah beriklim tropis.

Pada penelitian ini akan diuji daya tahan tanaman bunga matahari terhadap radiasi dan kemampuannya menyerap radiocesium dari dalam tanah jenis andosol sebagai salah satu bahan kajian metode fitoremediasi pada tanah yang terkontaminasi radiocesium.

2. TATA KERJA

Dalam penelitian ini digunakan peralatan seperti wadah penanaman tanaman berupa 4 buah kotak dengan ukuran masing-masing (1x1x0,5) m³, neraca analitis dengan ketelitian 0,001 gr, neraca teknis dengan ketelitian 0,01 gr, lampu infra merah, dan alat pencacah, yaitu spektrometer gamma dengan detektor *high purity germanium* (HPGe) yang dilengkapi dengan *Multichannel Analyzer* (MCA) dan komputer penampil. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah benih tanaman bunga matahari, tanah halaman PTNBR BATAN (karakteristik tanah dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2), ¹³⁴CsCl, dan pupuk kompos.

2.1. Pembuatan media pertumbuhan

Pada penelitian ini dipakai 4 buah kotak berukuran 1 x 1 x 0,5 m³ yang diisi media tanah yang dicampur pupuk organik untuk pertumbuhan tanaman bunga matahari. Media tanah dalam kotak masing-masing dikontaminasi dengan ¹³⁴Cs dengan konsentrasi bervariasi, yaitu 29,3 Bq/kg; 117,2 Bq/kg; 557 Bq/kg, dan sisanya 1 kotak dijadikan sebagai kontrol yaitu tanpa penambahan ¹³⁴Cs. Perlakuan variasi konsentrasi aktivitas ¹³⁴Cs dilakukan untuk menguji radiosensitivitas tanaman terhadap radiasi dari media tumbuhnya

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	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	%

Sumber: Laboratorium Penguji Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Lembang

Keterangan :

* *me/100g atau meq/100g adalah mili ekivalen 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.*

Kontaminasi media dengan ¹³⁴CsCl dilakukan dengan cara melarutkan ¹³⁴CsCl masing-masing sebanyak 1 mL, 4 mL, dan 19,7 mL ke dalam akuades, sehingga volume akhir menjadi 20 mL. Larutan ditambahkan ke dalam 3 kg tanah media pertumbuhan dan diaduk hingga rata. Tanah yang mengandung ¹³⁴Cs kemudian ditebarkan secara merata pada permukaan tanah media pertumbuhan di dalam bak pertumbuhan, kemudian diaduk. Homogenitas diperiksa dengan cara mengambil secara acak 5 sampel tanah masing-masing

sebanyak 10 gr pada beberapa titik, lalu dicacah dengan spektrometer gamma. Apabila diperoleh nilai cacahan yang seragam berarti tanah sudah homogen, apabila belum seragam dilakukan pengadukan kembali hingga homogen.

2.2. Pembibitan tanaman bunga matahari

Tanaman bunga matahari dibibitkan dengan cara menanam biji bunga matahari pada media tanah yang berupa tanah halaman PTNBR BATAN Bandung dicampur dengan pupuk organik dengan komposisi 180 kg tanah dicampur dengan 5 kg pupuk organik. Setelah 10 hari, tumbuh tanaman kecil dengan daun 4 helai yang siap dipindah ke media penelitian.

Tabel 2. Karakteristik fisika tanah halaman PTNBR BATAN [5]

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 lerlempung	-

2.3. Penumbuhan tanaman pada media penelitian

Bibit tanaman bunga matahari diseleksi yang mempunyai ukuran seragam, kemudian ditanam pada media lanjut dengan jarak antar tanaman 15 cm. Diperlukan 120 tanaman untuk 4 bak penelitian (kontrol; 29,3 Bq/g; 117,2 Bq/g; 557 Bq/g), dengan setiap bak tanaman berisi 30 tanaman. Penyiraman tanaman dilakukan sehari sekali. Pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman serta konsentrasi ¹³⁴Cs dalam tanah dan tanaman dilakukan setiap 5 hari sekali selama 45 hari [6].

2.4. Pengambilan sampel tanaman dan tanah

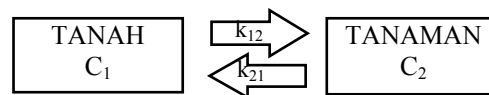
Sampel tanaman diambil dalam selang waktu 5 hari, sebanyak 3 individu dari media perlakuan dan 3 individu dari media kontrol pada setiap kali sampling [6]. Sampel tanaman dicuci bersih dengan air mengalir kemudian dipisahkan menurut bagian tanaman yaitu akar, batang, dan daun. Pada saat pengambilan sampel tanaman diambil juga tiga sampel tanah di sekitar akar pada setiap individu tanaman, baik tanaman dengan perlakuan maupun tanaman kontrol.

2.5. Preparasi sampel tanaman

Sampel tanah dan sampel bagian tanaman ditimbang untuk memperoleh berat basah, dan diukur panjang batang untuk pengamatan pertumbuhan tanaman. Sampel tanah dan tanaman dikeringkan dengan lampu infra merah selama 24 jam (sampai diperoleh berat yang konstan), ditimbang untuk memperoleh berat kering, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk dicacah dengan spektrometer gamma selama 180 detik.

2.6. Analisis data

Data berat kering tanaman dan panjang tanaman yang tumbuh pada media tanah terkontaminasi ¹³⁴Cs dengan konsentrasi bervariasi dievaluasi menurut waktu pertumbuhan untuk kemudian dibuat grafik pertumbuhan tanaman. Data konsentrasi ¹³⁴Cs dalam bagian tanaman dan tanah dianalisis untuk memperoleh nilai faktor transfer (FT). Nilai faktor transfer dihitung berdasarkan rasio konsentrasi radionuklida dalam tanaman terhadap konsentrasi radionuklida dalam tanah berdasarkan model kompartemen tanah-tanaman (Gambar 1).



Gambar 1. Model kompartemen tanah-tanaman

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

dimana :

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)

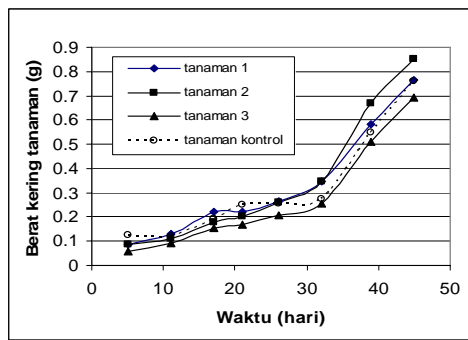
Pada model ini dianggap tidak ada perpindahan radionuklida dari tanaman ke tanah, sehingga nilai k_{21} (koefisien laju perpindahan radionuklida dari tanaman ke tanah) dianggap nol.

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

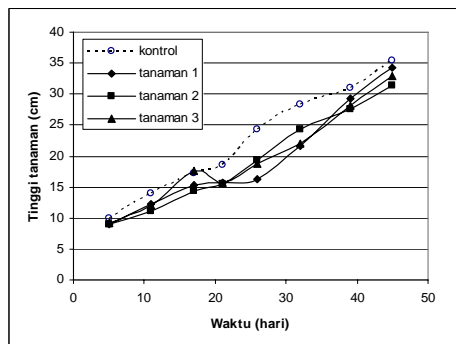
dimana : FT = faktor pindah = faktor transfer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini tanaman bunga matahari ditanam pada medium tanah yang dikontaminasi dengan $^{134}\text{CsCl}$ dengan konsentrasi 29,3 Bq/g ; 117,2 Bq/g ; 557 Bq/g dan kontrol. Selama penelitian dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman dan bentuk morfologi tanaman untuk mengetahui pengaruh besarnya konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah terhadap pertumbuhan maupun morfologi tanaman. Hasil pengamatan pertumbuhan tanaman ditampilkan dalam bentuk kurva pertumbuhan tanaman berdasarkan waktu terhadap biomassa atau berat kering tanaman (Gambar 2) dan tinggi tanaman (Gambar 3).



Gambar 2. Kurva pertumbuhan tanaman pada media terkontaminasi ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g (1); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3) dan kontrol

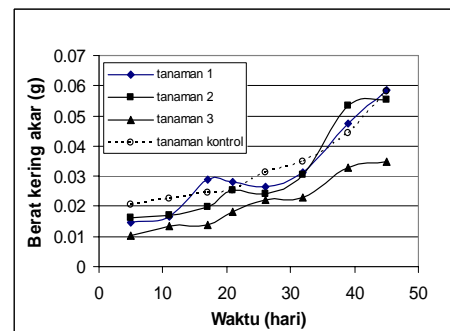


Gambar 3. Kurva pertumbuhan tinggi tanaman pada media terkontaminasi ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g (1); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3) dan kontrol

Dari Gambar 2 dan 3 dapat dilihat bahwa besarnya konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara umum, baik dalam hal penambahan biomassa

maupun tinggi tanaman. Ini dapat dilihat dari tidak adanya perbedaan yang mencolok pada pola kenaikan biomassa tanaman dan tinggi tanaman yang tumbuh pada media terkontaminasi ^{134}Cs dengan yang tumbuh pada media tanpa ^{134}Cs (kontrol). Akan tetapi apabila diamati pertumbuhan akar tanaman, terlihat adanya pengaruh konsentrasi ^{134}Cs (Gambar 4). Keadaan ini tidak terlihat pada bagian tanaman lainnya, yaitu batang dan daun (Gambar 5 dan 6).

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa untuk tanaman kontrol dan tanaman 1, yaitu tanaman yang ditanam pada tanah terkontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g, pertumbuhan akar terus meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Sedang untuk tanaman yang ditanam pada medium tanah dengan konsentrasi ^{134}Cs 117,2 Bq/g dan 557 Bq/g (tanaman 2 dan 3) terlihat pertumbuhan akarnya terhambat bila dibandingkan dengan tanaman 1 dan tanaman kontrol.

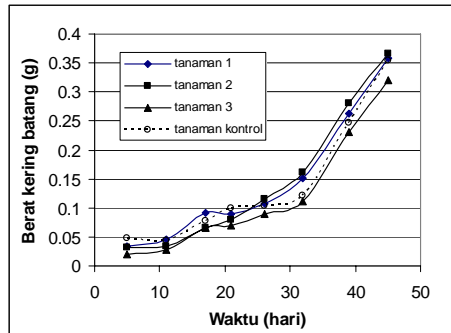


Gambar 4. Kurva pertumbuhan akar tanaman pada media terkontaminasi ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g (1); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3) dan kontrol

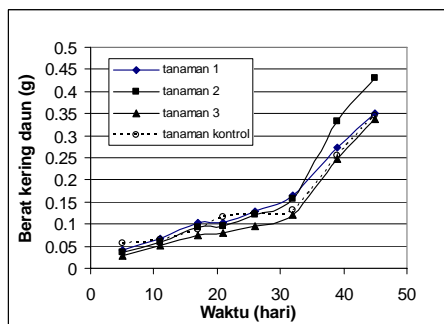
Pada penelitian ini tanaman bunga matahari ditanam pada media tanah terkontaminasi ^{134}Cs . Akar merupakan bagian tanaman yang mendapatkan dosis radiasi paling besar dibandingkan dengan bagian lain, karena akar bersinggungan secara langsung dengan media yang terkontaminasi. Radiasi yang cukup besar dapat mengakibatkan kematian sel sehingga menghambat pertumbuhan organ (akar), karena terhambatnya sintesis zat penstimulasi pertumbuhan akar (auxin) dan pembelahan sel pada jaringan meristem akar [7].

Dari penelitian ini diketahui bahwa meskipun mengalami hambatan pada pertumbuhan akar, tanaman bunga matahari masih dapat tumbuh dengan normal pada tanah

terkontaminasi ^{134}Cs sampai aktivitas 557 Bq/g. Dari bentuk morfologi tanaman juga tidak dijumpai adanya kelainan.



Gambar 5. Kurva pertumbuhan batang tanaman pada media terkontaminasi ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g (2); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3)

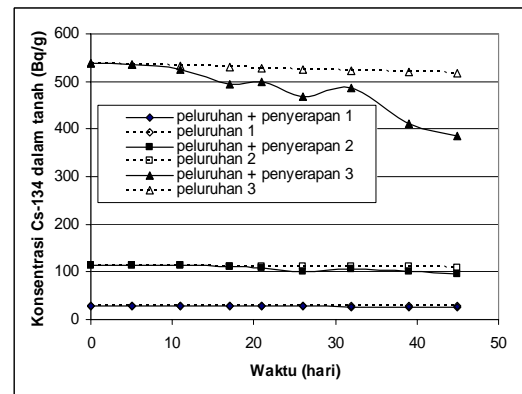


Gambar 6. Kurva pertumbuhan daun tanaman pada media terkontaminasi ^{134}Cs 29,3 Bq/g (2); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3)

Dalam hal penyerapan ^{134}Cs , tanaman bunga matahari mampu menyerap ^{134}Cs dari media tanah yang terkontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g – 557 Bq/g. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan konsentrasi ^{134}Cs dalam medium tanah yang diamati sejak hari ke 5 sampai hari ke 45 (Gambar 7). Penurunan konsentrasi ^{134}Cs dalam media tanah dapat dikatakan diakibatkan oleh adanya penyerapan ^{134}Cs oleh tanaman, karena penurunan konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah akibat peluruhan radioaktif ^{134}Cs sangat kecil bila dibandingkan dengan akibat penyerapan oleh tanaman (Gambar 7).

Proses penyerapan Cs oleh tanaman dapat dijelaskan seperti penyerapan unsur K. Menurut G. Zhu dan E. Smolder [8], unsur Cs masuk ke dalam tanaman melalui dua mekanisme pada membran sel akar 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 > 0,3mM, dan dapat membedakan antara K dan Cs. Pada konsentrasi K sangat tinggi kemungkinan Cs terserap oleh akar tanaman sangat kecil karena selektivitas unsur sangat tinggi. Tanah yang digunakan pada penelitian ini mempunyai kandungan K relatif tinggi, yaitu 429 ppm (Tabel 1) yang setara dengan 11 mM. Unsur K dalam tanah yang tersedia bagi tanaman adalah 1,38 me/100g, termasuk dalam kategori sangat tinggi (> 1 me/100g), sehingga ^{134}Cs yang dapat diserap oleh tanaman sangat kecil.

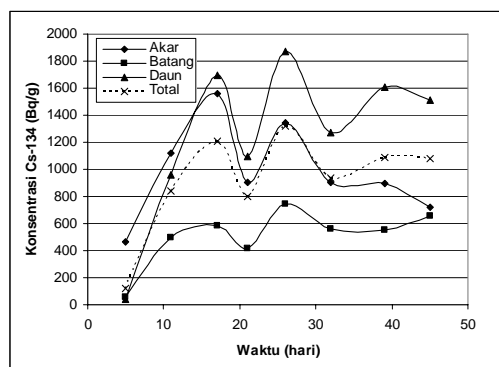


Gambar 7. Penurunan konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah akibat peluruhan dan penyerapan ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g (2); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3)

Penyerapan ^{134}Cs oleh tanaman bunga matahari berlangsung sejak awal pengamatan. Pada hari ke 5 keberadaan ^{134}Cs dalam tanaman sudah dapat terdeteksi. Selanjutnya konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman terus meningkat hingga mencapai maksimum pada hari ke 26, kemudian konsentrasinya terlihat tidak mengalami kenaikan melebihi konsentrasi maksimum untuk ketiga variasi konsentrasi awal ^{134}Cs dalam tanah.

Tanaman bunga matahari menyerap ^{134}Cs melalui akar, kemudian didistribusikan ke seluruh bagian tanaman, yaitu batang dan daun. Sebagai contoh, dapat dilihat pada Gambar 8 yang memperlihatkan distribusi konsentrasi ^{134}Cs dalam bagian tanaman yang tumbuh pada tanah yang dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi 557 Bq/g. Konsentrasi ^{134}Cs tertinggi terlihat di daun, kemudian di dalam

akar dan terendah dijumpai di batang. Daun merupakan organ tanaman yang mengandung klorofil yang berfungsi dalam proses fotosintesis, yaitu proses pembentukan karbohidrat dari karbondioksida dan air dengan bantuan sinar matahari. Terakumulasinya ^{134}Cs pada daun dapat dijelaskan melalui peran unsur K dalam proses fotosintesis, karena K dan Cs terdapat dalam golongan yang sama dalam sistem periodik unsur.

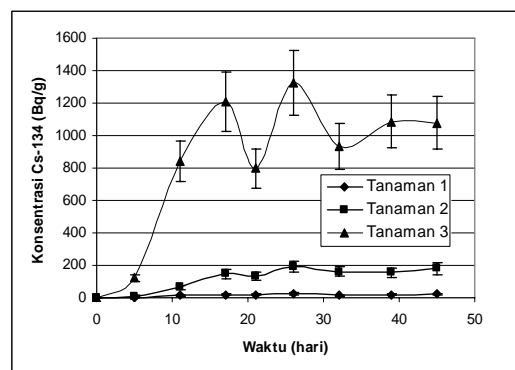


Gambar 8. Distribusi konsentrasi ^{134}Cs dalam bagian tanaman bunga matahari pada media terkontaminasi dengan konsentrasi ^{134}Cs 557 Bq/g

Peran K dalam proses fotosintesis agak rumit, yaitu dalam aktivasi enzim yang diperlukan dalam proses fotosintesis dan terlibat dalam produksi ATP [9]. Pada saat terjadi reaksi antara CO_2 dan H_2O dengan bantuan energi dari sinar matahari maka energi yang pertama kali dihasilkan adalah ATP yang kemudian digunakan sebagai sumber energi untuk reaksi kimia yang terjadi dalam tanaman. Unsur K berperan dalam menjaga kesetimbangan muatan listrik pada saat pembentukan ATP. Selain berperan dalam proses pembentukan ATP, K juga berperan dalam proses aktivasi enzim. Unsur K berperan dalam mengaktifkan sedikitnya 60 enzim yang terlibat dalam pertumbuhan tanaman. Selain itu, unsur K juga berperan dalam mengatur gerakan membuka dan menutupnya stomata daun. Mengacu pada peran K dalam tanaman yang terutama berada di daun dapat dipahami mengapa ^{134}Cs paling banyak terakumulasi di daun dibandingkan dengan bagian lain tanaman.

Konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman bunga matahari yang ditumbuhkan pada media tanah tercemar ^{134}Cs dengan aktivitas 29,3 Bq/g, 117 Bq/g, dan 557 Bq/g dapat dilihat pada Gambar 9. Pada konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah 29,3 Bq/g, ^{134}Cs dalam tanaman mencapai

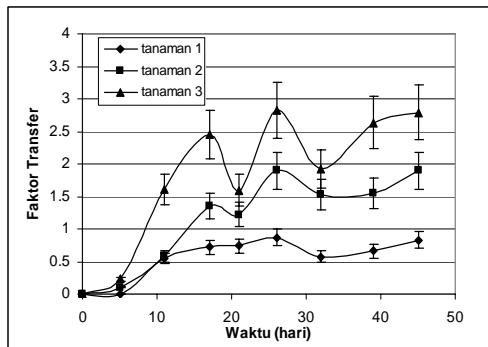
konsentrasi tertinggi pada pengamatan hari ke 26 yaitu mencapai nilai 23,68 Bq/g. Pada konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah 117Bq/g, konsentrasi tertinggi dalam tanaman terlihat juga pada hari ke 26 dengan nilai sebesar 191,49 Bq/g. Demikian pula halnya dengan konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah 557Bq/g, konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman mencapai puncaknya pada hari ke 26 dengan konsentrasi 1322,88 Bq/g.



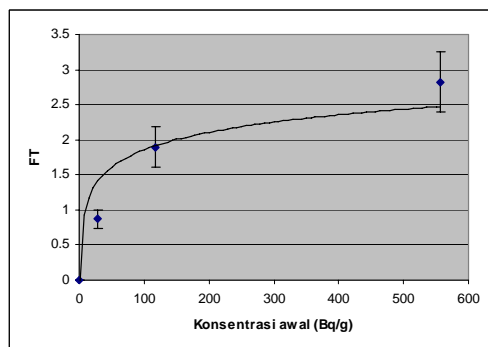
Gambar 9. Penyerapan ^{134}Cs oleh tanaman dari tanah terkontaminasi radionuklida ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g (1); 117,2 Bq/g (2); 557 Bq/g (3)

Nilai konsentrasi ^{134}Cs dalam tanaman dibandingkan dengan konsentrasi ^{134}Cs dalam media tanah sehingga diperoleh nilai faktor transfer ^{134}Cs dari tanah ke tanaman bunga matahari seperti terlihat pada Gambar 10. Nilai faktor transfer terlihat mencapai puncaknya pada hari pengamatan ke 26 pada semua media pertumbuhan. Jadi besarnya faktor transfer ditetapkan pada nilai yang diperoleh pada hari ke 26 pada saat terjadi akumulasi maksimum, yaitu sebesar 0,87 ; 1,89 ; 2,82 masing-masing untuk media pertumbuhan dengan konsentrasi ^{134}Cs 29,3 Bq/g ; 117 Bq/g ; 557 Bq/g. Dari hasil ini terlihat bahwa dengan semakin besar konsentrasi ^{134}Cs dalam media tanah maka tanaman juga akan semakin banyak menyerap ^{134}Cs . Tetapi jumlah penyerapan oleh tanaman tidak akan berbanding linear dengan jumlah ^{134}Cs dalam tanah, suatu saat akan terjadi kejenuhan (seperti diperlihatkan pada Gambar 11).

Dari hasil penelitian ini terbukti bahwa tanaman bunga matahari mampu menyerap dan mengakumulasi ^{134}Cs dari media yang mengandung ^{134}Cs sampai mencapai konsentrasi 557 Bq/g.



Gambar 10. Nilai Faktor Transfer radionuklida ¹³⁴Cs dari tanah ke tanaman bunga matahari



Gambar 11. Kecenderungan nilai faktor transfer (FT) ¹³⁴Cs dari tanah terkontaminasi ke tanaman bunga matahari

Penelitian tentang fitoremediasi menggunakan tanaman bunga matahari pernah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Massas dkk [10] melakukan penelitian mengenai *uptake* ¹³⁴Cs oleh tanaman bunga matahari, dengan menumbuhkan tanaman pada berbagai jenis tanah yang dikontaminasi dengan ¹³⁴Cs dengan konsentrasi 0,1375 MBq/kg atau 137 Bq/g. Dari hasil penelitiannya diperoleh nilai faktor transfer ¹³⁴Cs dari tanah ke biji dan bagian lain tanaman bunga matahari masing-masing sebesar 0,263 dan 0,751. Nilai faktor transfer ini diperoleh pada saat tanaman berumur 260 hari dan tumbuh pada tanah yang memiliki kandungan K rendah (0,15 cmol_c.kg⁻¹ atau 0,15 me/100g). Nilai faktor transfer pada tanah dengan kandungan K relatif tinggi (0,66 cmol_c.kg⁻¹ atau 0,66 me/100g) diperoleh sebesar 0,128 dan 0,241 masing-masing untuk biji dan bagian tanaman lainnya. Bila nilai faktor transfer yang diperoleh Massas dkk. dibandingkan dengan hasil penelitian ini, terlihat ada perbedaan yang cukup signifikan. Berdasarkan penelitian ini diperoleh nilai faktor transfer

sebesar 1,89 untuk tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang dikontaminasi dengan ¹³⁴Cs sebesar 117,2 Bq/g. Hal ini dapat dipahami bahwa nilai faktor transfer yang diperoleh Massas dkk. dihitung pada saat tanaman telah berbunga, yaitu pada usia 260 hari, sedang pada penelitian ini karena difokuskan untuk tujuan fitoremediasi, maka tanaman dipelihara sampai sebelum waktu berbunga untuk menghindari penyebaran kontaminan melalui bunga dan biji. Pada tanaman muda laju pertumbuhan relatif tinggi dibandingkan dengan tanaman yang telah dewasa, sehingga kebutuhan akan unsur K cukup tinggi. Dengan sendirinya akar tanaman juga menyerap unsur Cs yang identik dengan K.

Soudek [11] juga meneliti *uptake* ¹³⁷Cs oleh tanaman bunga matahari yang ditumbuhkan pada media hidropnik dengan konsentrasi bervariasi mulai dari 0 – 500 kBq/L. Dari hasil penelitian ini diperoleh peningkatan persentase kandungan ¹³⁷Cs dalam tanaman seiring dengan kenaikan konsentrasi awal ¹³⁷Cs dalam medium. Kenyataan tersebut bersesuaian dengan hasil penelitian ini yang mendapatkan kenaikan nilai faktor transfer seiring dengan kenaikan konsentrasi awal ¹³⁴Cs dalam medium.

Dari pembahasan di atas diperoleh bahwa nilai faktor transfer ¹³⁴Cs dari tanah ke tanaman bunga matahari bervariasi berdasarkan kondisi penelitian. Nilai faktor transfer ¹³⁴Cs dari tanah ke tanaman sangat dipengaruhi oleh beragam faktor, diantaranya adalah pH tanah, kandungan lempung, dan kandungan unsur K [9], sehingga nilai faktor transfer bersifat sangat spesifik untuk lingkungan tertentu. Berdasarkan penelitian ini yang menggunakan tanah andosol dengan kandungan K tinggi, nilai faktor transfer ¹³⁴Cs dari tanah ke tanaman bunga matahari yang diperoleh relatif tinggi, yaitu lebih dari 1. Menurut para peneliti dari perusahaan Edenspace, salah satu perusahaan pembersih lingkungan yang mengembangkan metode fitoremediasi, faktor transfer yang lebih besar dari 1 merupakan batas ambang terendah suatu tanaman disebut sebagai akumulator unsur. Pada nilai faktor transfer lebih besar dari satu, jumlah unsur yang terkumulasi dalam tanaman lebih besar dari pada yang terkonsentrasi dalam tanah, sehingga massa tanaman yang harus dibuang sebagai limbah lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah tanah yang harus dipindahkan untuk konsentrasi kontaminan yang sama. Dari percobaan yang pernah dilakukan di Army's Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, Maryland, USA, pada tingkat nilai faktor transfer lebih besar dari 20, telah dicapai nilai

ekonomis karena dapat menghemat biaya pembersihan hingga 95% [2].

Mengacu pada hasil penelitian ini, dapat dikatakan bahwa tanaman bunga matahari dapat dipertimbangkan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi dengan radionuklida Cs, walaupun kurang ekonomis.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa tanaman bunga matahari mampu menyerap dan mengakumulasi ^{134}Cs dari dalam tanah yang dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi 29,3 Bq/g, 117,2 Bq/g, 557 Bq/g dengan nilai faktor transfer masing-masing adalah 0,87, 1,89, 2,82. Besarnya nilai faktor transfer meningkat dengan bertambahnya konsentrasi ^{134}Cs dalam tanah, walaupun mempunyai kecenderungan untuk mencapai kejenuhan.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman, diperoleh bahwa tanaman tidak mengalami keterlambatan pertumbuhan dan gangguan morfologi dibandingkan dengan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman mempunyai radiosensitivitas tinggi karena tanaman tetap tumbuh normal walau ditanam pada media tanah dengan konsentrasi ^{134}Cs 557 Bq/g. Oleh karena itu tanaman bunga matahari dapat dipertimbangkan sebagai fitoremediator tanah berjenis andosol yang terkontaminasi dengan radionuklida Cs, karena nilai faktor transfer ≥ 1 dan mempunyai radiosensitivitas yang relatif tinggi.

6. DISKUSI

Rochestri Sofyan-PTNBR BATAN:

Apakah ada persyaratan khusus dalam pemilihan tanaman untuk keperluan fitoremediasi?

Poppy Intan Tjahaja:

Persyaratan tanaman yang dapat dijadikan sebagai fitoremediator :

- Mempunyai laju pertumbuhan tinggi
- Tidak dikonsumsi manusia
- Radiosensitivitas rendah dan tahan terhadap radiasi untuk fitoremediator bahan radioaktif

5. DAFTAR PUSTAKA

1. **U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, Introduction to Phytoremediation, National Risk Management Research Laboratory, US EPA, Cincinnati, Ohio, 2000.
2. Edenspace phytoremediation, 2003, Available : <http://www.edenspace.com>.
3. **MILLER**, 1996, Ground water remediation, Available : <http://www.gwrtac.org>.
4. **US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, 1998, A Citizen Guide to Phytoremediation Available : <http://www.cininc.org/products/citguide/phyto2.htm>
5. **ALFIAN, M.**, Kajian Awal Penyerapan ^{134}Cs oleh Rumput untuk Indikator Biologis Radioaktivitas Lingkungan di Sekitar P3Tkn BATAN, Bandung, Thesis Magister Teknik Lingkungan, ITB, Bandung, 2001.
6. **FUJIMOTO, K.**, Transfer of radionuclides from air, soil, and freshwater to the foodchain of man in tropical and subtropical environment, General Protocol for Transfer Measurement, IAEA, Vienna, 1993.
7. **CASSARET, A.P.**, Radiation Biology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1968.
8. **ZHU, Y.G. and SMOLDERS, E.**, Plant uptake of radiocaesium, a review of mechanisms, regulation and application, J. Experimental Botany, 51 (351) (2000) 1635-45.
9. **BEEGLE, D.**, "The agronomy guide", Department of Agronomy, Penn State University, 1989.
10. **MASSAS, I., SKARLOU, V., and HAIDOUTI, C.**, Plant uptake of ^{134}Cs in relation to soil properties and time, J. Environ. Radioactivity, 59 (2002) 245-55.
11. **SOUDEK, P., VALENOVA, S., VAVRIKOVA, Z., and VANEK, T.**, ^{137}Cs and ^{90}Sr uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions, J. Environ. Radioactivity, xx (2006) 1-15.

- Tahan terhadap kadar logam yang tinggi untuk fitoremediator logam
- Bukan merupakan tanaman tahunan, supaya dapat segera dipanen

Achmad Hidayat-PTNBR BATAN:

1. Apa yang harus dilakukan terhadap tanaman yang telah digunakan untuk memulihkan pencemaran lingkungan oleh radionuklida atau logam toksik lainnya?
2. Apakah jika tanaman tersebut dibiarkan di atas tanah maka unsur radioaktif tersebut akan lepas ke lingkungan?

Poppy Intan Tjahaja:

1. Tanaman yang telah digunakan untuk fitoremediasi akan diperlakukan sebagai limbah radioaktif, yaitu untuk tanaman dapat dilakukan pengabuan/pembakaran.
2. Ya, apabila tanaman dibiarkan di tanah kemungkinan zat radioaktif akan terlepas kembali ke lingkungan, karena proses dekomposisi tanaman.

Yanti-PTKMR BATAN:

1. Selain tanaman bunga matahari, apakah ada tanaman lain, yang mungkin satu genus, atau spesies lain yang sejenis dengan bunga matahari yang dapat dijadikan sebagai fitoremediator?
2. Dalam penelitian ini apakah digunakan tanaman bunga lain yang digunakan sebagai pembanding?

Poppy Intan Tjahaja:

1. Yang sudah terbukti dapat digunakan sebagai fitoremediator adalah tanaman bunga matahari. Beberapa jenis tanaman lain juga sudah/sedang diteliti di negara-negara beriklim sedang, misalnya sawi dan tembakau. Pada prinsipnya tanaman yang mempunyai laju pertumbuhan tinggi dan berdaun lebar banyak diteliti untuk fitoremediasi.
2. Pada penelitian ini tidak digunakan tanaman bunga lain sebagai pembanding.