

**FITOREMEDIASI PRODUK FISI SAMARIUM-151 YANG
DIMODELKAN DENGAN SAMARIUM-150 MENGGUNAKAN BUNGA
MATAHARI (*Helianthus annuus L*) UNTUK DEKOMISIONING
FASILITAS NUKLIR**

SKRIPSI

Oleh :

FAIRUZ ZAHIR ROSYIDAH
NIM. 19640033



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

LEMBAR PENGAJUAN

**FITOREMEDIASI PRODUK FISI SAMARIUM-151 YANG
DIMODELKAN DENGAN SAMARIUM-150 MENGGUNAKAN BUNGA
MATAHARI (*Helianthus annuus L*) UNTUK DEKOMISIONING
FASILITAS NUKLIR**

SKRIPSI

Diajukan Kepada :

Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam
memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:

Fairuz Zahir Rosyidah
NIM. 19640033

**POGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIN
MALANG
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

FITOREMEDIASI PRODUK FISI SAMARIUM-151 YANG DIMODELKAN
DENGAN SAMARIUM-150 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI
(*Helianthus annuus L*) UNTUK DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR

SKRIPSI

Oleh:

Fairuz Zahir Rosyidah
NIM. 19640033

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
pada tanggal 16 Juni 2023

Pembimbing I,


Dr. H. Agus Mulyono, M. Kes
NIP. 19750808 199903 1 003

Pembimbing II,


Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dr. Imang Fazi, M.Si
NIP. 19750808 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

FITOREMEDIASI PRODUK FISI SAMARIUM-151 YANG DIMODELKAN
DENGAN SAMARIUM-150 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI
(*Helianthus annuus L*) UNTUK DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR

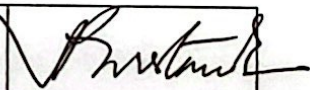
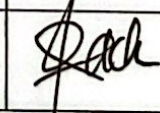
SKRIPSI

Oleh:

Fairuz Zahir Rosyidah

NIM. 19640033

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Skripsi Dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Tanggal: 20 Juni 2023

Ketua Penguji	<u>Drs. Cecep Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D</u> NIP. 19590729 198602 1 001	
Anggota Penguji	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Pembimbing I	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Pembimbing II	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Dr. Imah Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Fairuz Zahir Rosyidah

NIM : 19640033

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Fitoremediasi Produk Fisi Samarium-151 Yang Dimodelkan Dengan Samarium-150 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus Annuus L*) Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian ini tidak terdapat unsur-unsur plagiat (penjiplakan) karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam skripsi ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Juni 2023
Yang membuat pernyataan,



Fairuz Zahir Rosyidah
NIM.19640033

MOTTO

“Setelah hujan, akan ada pelangi”

“Biarkan semua proses mengalir seperti air”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayahnya, memberikan nikmat sehat, kesabaran, dan ilmu pengetahuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Karya skripsi yang masih banyak kekurangan ini saya persembahkan kepada :

- Ayah Sophaan Arief Suprihandoko, S.P dan Umik Ilmiatur Rosyida, S.T yang selalu memberikan motivasi, dukungan, doa yang tidak terputus serta semangat yang luar biasa agar saya dapat menjalani proses pengerjaan skripsi ini.
- Adik saya Ahmad Zafar Rasyid
- Seluruh keluarga besar, untuk motivasi dan semangatnya selama ini.
- Seluruh teman “Solo”, ”Hayyo Main”, dan teman teman lainnya yang telah memberi dukungan, motivasi dan bantuan selama pengerjaan skripsi ini

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT dengan segala nikmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Fitoremediasi Produk Fisi Samarium-151 Yang Dimodelkan Dengan Samarium-150 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus Annuus L*) Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir”. Sholawat serta salam kita sampaikan kepada nabi besar kita Muhammad SAW yang telah memberikan pedoman hidup yakni Al-Qur’an dan sunnah untuk keselamatan umat di dunia.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes dan Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan membimbing dengan baik dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Prasetyo Haryo Sadewo S.T. selaku dosen pembimbing lapangan dan seluruh pegawai instansi Badan Riset dan Inovasi Nasional Sleman, Yogyakarta yang telah membantu dan membimbing dengan baik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Drs. Cecep Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D dan Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan ide dan moral.
7. Seluruh dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mendidik dan membimbing dengan baik.
8. Teman-teman fisika terkhusus angkatan 2019 dan teman teman biofisika yang selalu membantu dan menjadi penyemangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas keikhlasan membantu motivasi, doa, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas seluruh kebaikan dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak, aamiin. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir (skripsi) ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca laporan ini, serta menjadi tambahan wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan

Wassalamuailakum Wr.Wb

Malang, 16 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
 BAB I. PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1. Dekomisioning	6
2.2. Produk Fisi	8
2.3. Fitoremediasi	12
2.4. Bunga Matahari	16
2.5. Hipotesis	19
 BAB III. METODE PENELITIAN	 20
3.1. Jenis Penelitian	20
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.3. Alat dan Bahan	20
3.3.1. Alat.....	20
3.3.2. Bahan.....	21
3.4. Diagram Alir.....	22
3.5. Rancangan Penelitian	22
3.6. Prosedur Penelitian.....	23
3.6.1. Pengambilan Sampel Tanah.....	23
3.6.2. Aklimatisasi Tanaman Bunga Matahari.....	23
3.6.3. Pembuatan Cairan Kontaminan.....	24
3.6.4. Penanaman Tanaman Bunga Matahari.....	24
3.6.5. Pemanenan Tanaman Bunga Matahari.....	24

3.6.6.	Pengukuran Kadar Samarium pada Tanaman Bunga Matahari dan Tanah	24
3.6.7.	Analisis Data	25
3.7.	Teknik Pengumpulan Data	26
3.7.1.	Teknik Pengumpulan Data Konsentrasi Samarium (Sm) di Tanaman	26
3.7.2.	Teknik Pengumpulan Data Konsentrasi Tanah	27
3.8.	Teknik Analisis Data Statistik	28
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1.	Hasil Penelitian	29
4.1.1	Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	29
4.1.2	Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	33
4.2.	Pembahasan	37
4.2.1	Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Konsentrasi Penyerapan Samarium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	37
4.2.2	Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	40
4.3.	Kajian Integrasi Islam	41
BAB V.	PENUTUP	44
5.1.	Kesimpulan	44
5.2.	Saran	44
	DAFTAR PUSTAKA	46
	LAMPIRAN	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Bahan Bakar Nuklir.....	8
Gambar 2. 2 Samarium	9
Gambar 2. 3 Peluruhan Samarium-151.....	10
Gambar 2. 4 Mekanisme Fitoremediasi	14
Gambar 2. 5 Bunga Matahari	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4. 1 Perbandingan Konsentrasi Samarium Terserap dengan Jumlah yang Diberikan	31
Gambar 4. 2 Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dan Konsentrasi Kontaminan yang Diberikan.....	27
Tabel 3. 2 Data Konsentrasi Tanah	27
Tabel 4. 1 Perbandingan konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dengan Jumlah yang diberikan.....	30
Tabel 4. 2 Hasil Uji Anova Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>).....	32
Tabel 4. 3 Data Uji Lanjut DMRT Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi Pada Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	33
Tabel 4. 4 Nilai Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>).....	34
Tabel 4. 5 Hasil Uji Anova Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Terhadap Nilai Faktor Transfer Samarium dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	36
Tabel 4. 6 Data Uji Lanjut DMRT Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan Terhadap Nilai Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Pembuatan Larutan Sm_2O_3 Untuk Cairan Kontaminan	51
Lampiran 2. Jumlah kontaminan yang diberikan	52
Lampiran 3. Data Hasil Penelitian	53
Lampiran 4. Hasil Pengujian Kadar Samarium (Sm).....	61
Lampiran 5. Data Hasil Uji Statistik.....	63
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	65

ABSTRAK

Rosyidah, Fairuz Zahir. 2023. **Fitoremediasi Produk Fisi Samarium-151 Yang Dimodelkan Dengan Samarium-150 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus Annuus L*) Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci : Fitoremediasi; Samarium-151; Tanaman Bunga Matahari; Dekomisioning

Fasilitas nuklir yang telah dihentikan namun tidak didekomisioning berpotensi menjadi bahaya bagi lingkungan sekitar karena menghasilkan sejumlah radionuklida dan produk yang mengandung radioaktif hasil aktivasi bahan baku nuklir, salah satunya adalah produk fisi ^{151}Sm . Fitoremediasi merupakan salah satu metode remediasi dengan memanfaatkan tumbuhan akumulator salah satunya tanaman bunga matahari untuk mengurangi kontaminasi Samarium-151. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan terhadap akumulasi dan faktor transfer pada tanaman bunga matahari. Pemodelan ^{151}Sm dilakukan menggunakan ^{150}Sm . Metode penelitian ini diawali dengan penanaman tanaman bunga matahari menggunakan tanah sekitar fasilitas nuklir kemudian diberi kontaminan dengan variasi 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm sebanyak 20 mL setiap harinya selama 28 hari. Konsentrasi Samarium yang terakumulasi di tanaman bunga matahari di analisis menggunakan *X-ray Fluorescence* dan nilai faktor transfer didapat dengan membandingkan konsentrasi Samarium terakumulasi di tanaman dengan konsentrasi Samarium di tanah. Dari penelitian ini didapatkan konsentrasi Samarium berpengaruh pada Samarium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari dengan akumulasi paling tinggi terjadi pada konsentrasi kontaminan 200 ppm yaitu 508,273 mg/kg dan terjadi penurunan pada konsentrasi kontaminan 400 ppm yaitu 302,175 mg/kg. Nilai faktor transfer dipengaruhi oleh konsentrasi kontaminan dimana nilai faktor transfer tertinggi terjadi pada konsentrasi kontaminan 100 ppm yaitu 0,994 dan terjadi penurunan signifikan pada konsentrasi kontaminan 400 ppm yaitu nilai faktor transfer 0,289. Penurunan yang terjadi menjadi indikasi adanya kejenuhan tanaman dalam menyerap Samarium pada konsentrasi yang terlalu tinggi. Berdasarkan nilai faktor yang didapat, bunga matahari dikatakan belum mampu meremediasi produk fisi Samarium.

ABSTRACT

Rosyidah, Fairuz Zahir. 2023. **Phytoremediation of Samarium-151 Fission Products Modeled on Samarium-150 Using Sunflower (*Helianthus Annuus L*) For Nuclear Facility Decommissioning**. Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keywords : Phytoremediation; Samarium-151; Sunflower Plants; Decommissioning

Nuclear facilities that have been retired but not decommissioned have the potential to become a hazard to the surrounding environment because they produce some radionuclides and radioactive products resulting from the activation of nuclear fuel, one of which is ^{151}Sm fission product. Phytoremediation is a method of remediation by utilizing accumulator plants, one of which is sunflower, to reduce Samarium-151 contamination. This study aims to determine the effect of contaminant concentration on accumulation and transfer factors in sunflower plants. Modeling ^{151}Sm with ^{150}Sm is used. This research method begins with planting sunflower plants using the soil around the nuclear facility and then giving contaminants with variations of 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, and 400 ppm, as much as 20 mL daily for 28 days. The concentration of Samarium accumulated in sunflower plants was analyzed using X-Ray Fluorescence. The transfer factor value was obtained by comparing the concentration of Samarium collected in the plants with the concentration of Samarium in the soil. From this study, we can know that the attention to Samarium had an effect on Samarium which accumulated in sunflower plants, with the highest accumulation occurring at a contaminant concentration of 200 ppm, namely 508.273 mg/kg, and a decrease at a contaminant concentration of 400 ppm, namely 302.175 mg/kg. The transfer factor value is affected by the contaminant concentration, where the highest transfer factor value occurred at a contaminant concentration of 100 ppm, namely 0.994, and there was a significant decrease at a contaminant concentration of 400 ppm, namely a transfer factor value of 0.289. The reduction that occurs indicates plant saturation in absorbing Samarium at concentrations that are too high. Based on the factor values obtained, sunflower is said to be unable to remediate Samarium fission products.

مستخلص البحث

روزيدة ، فيروز، زاهر، ٢٠٢٣، المعالجة النباتية لمنتجات السماريوم 151 الانشطار باستخدام عباد الشمس (Helianthus Annuus L) لإيقاف تشغيل المنشأة النووية. أطروحة. برنامج دراسة الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفون: (١) الدكتور المكرم أكوس موليونو الماجستير (٢) احمد ابطاكي الماجستير

الكلمات المفتاحية: العلاج بالنباتات؛ السماريوم 151 ؛ نباتات عباد الشمس. وقف التشغيل

المنشآت النووية التي تم إيقافها ولكن لم يتم إيقاف تشغيلها لديها القدرة على أن تصبح خطرًا على البيئة المحيطة لأنها تنتج عددًا من النويدات المشعة والمنتجات المشعة الناتجة عن تنشيط الوقود النووي ، أحدها منتج انشطاري 151 متر مكعب. محطات عباد الشمس عبارة عن مصانع مفرطة التراكم من المتوقع أن تمتص 151 مترًا مربعًا عند إيقاف تشغيل المنشآت النووية. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير تركيز الملوثات على عوامل التراكم والانتقال في نباتات عباد الشمس. تم إجراء نمذجة $Sm151$ باستخدام $Sm150$. تبدأ طريقة البحث هذه بزراعة نباتات عباد الشمس باستخدام التربة المحيطة بالمنشأة النووية ومن ثم إعطاء الملوثات بدرجات متفاوتة 50 جزء في المليون و 100 جزء في المليون و 200 جزء في المليون و 400 جزء في المليون بمقدار 20 مل كل يوم لمدة 28 يومًا. تم تحليل تركيز السماريوم المتراكم في نباتات عباد الشمس باستخدام مضان الأشعة السينية وتم الحصول على قيمة عامل النقل بمقارنة تركيز السماريوم المتراكم في النباتات مع تركيز السماريوم في التربة. من هذه الدراسة وجد أن تركيز السماريوم كان له تأثير على السماريوم المتراكم في نباتات عباد الشمس مع أعلى تراكم يحدث عند تركيز ملوث 200 جزء في المليون أي 508.273 مجم / كجم وانخفاض عند تركيز الملوث 400 جزء في المليون. ، أي 302.175 مجم / كجم. تأثرت قيمة عامل النقل بتركيز الملوث حيث حدثت أعلى قيمة لعامل النقل عند تركيز الملوث 100 جزء في المليون أي 0.994 ، وكان هناك انخفاض معنوي عند تركيز الملوث 400 جزء في المليون أي 0.289. الانخفاض الذي يحدث هو مؤشر على تشبع النبات في امتصاص السماريوم بتركيزات عالية جدًا.

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini Indonesia memiliki beberapa fasilitas nuklir dimana hampir semua kawasan nuklir yang ada di Indonesia telah berdiri selama lebih dari 30 tahun (Pandi, 2013). Kelangsungan keamanan pengoperasian nuklir penelitian perlu dipikirkan terutama ketika umur fasilitas semakin menua (Susilowati, 2013). Oleh karena itu, sebelum masa pengoperasian berakhir perlu direncanakan konsep dekomisioning fasilitas nuklir yang tepat.

Dekomisioning adalah kegiatan penghentian operasi reaktor nuklir secara permanen dengan mengeluarkan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, membongkar komponen reaktor, dekontaminasi, dan pengamanan akhir. (Indonesia, 2014). Tujuan akhir dari dekomisioning fasilitas adalah untuk membebaskan lokasi bekas fasilitas nuklir atau radiasi dari kontaminasi radioaktif. Lahan yang dinonaktifkan dapat digunakan untuk kepentingan umum tanpa membahayakan masyarakat dan lingkungan (BAPETEN, 2002).

Seperti yang dijelaskan dalam Qur'an QS. al-A'raf ayat 56

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ
الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di muka bumi sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepadanya rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”. (QS. al-A'raf:56)

Ayat 56 surah al-A'raf menyerukan kepada manusia untuk menjaga kelestarian alam dan mengurangi kerusakan yang terjadi, sehingga menjadi motivasi penelitian ini. Fasilitas nuklir yang telah dihentikan namun tidak didekomisioning berpotensi menjadi bahaya bagi lingkungan sekitar karena menghasilkan sejumlah radionuklida dan produk yang mengandung radioaktif hasil aktivasi bahan bakar nuklir. Salah satunya adalah produk fisi Samarium-151.

Samarium-151 adalah radionuklida yang signifikan dalam bahan bakar nuklir bekas, dalam limbah radioaktif tingkat tinggi yang dihasilkan dari pemrosesan bahan bakar nuklir bekas, dan dalam limbah radioaktif yang terkait dengan pengoperasian reaktor nuklir dan pemrosesan ulang bahan bakar (A, K, B, & O.P, 2014). Dalam kasus kontaminasi air tanah, samarium dan yodium adalah diyakini sebagai radionuklida pertama yang mencapai biosfer karena mobilitasnya yang tinggi. Bahaya yang diakibatkan adanya sisa Samarium-151 dalam tanah saat terjadinya dekomisioning fasilitas nuklir menjadi alasan perlu adanya konsep penghilangan kontaminan yang tepat.

Proses dekontaminasi dapat dilakukan secara fisika- mekanikal atau secara kimia. Dekontaminasi secara kimia dapat dilakukan dengan pertukaran ion, pengendapan, osmosis balik, penguapan, dan reduksi kimia. Namun, metode ini menghasilkan limbah sekunder yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan baru sehingga memerlukan cara penanganan yang khusus sebelum dilepas ke lingkungan (Sutoto, 2015). Sedangkan dekontaminasi secara fisika dilakukan dengan pengerukan tanah dimana hal ini akan merusak struktur tanah dan unsur hara yang terkandung sehingga tapak tidak dapat dimanfaatkan kembali. Metode dekontaminasi tanah dari unsur unsur radioaktif dapat dilakukan dengan

fitoremediasi dimana proses dekontaminasi dilakukan dengan menggunakan tanaman, yang melibatkan berbagai langkah, termasuk serapan logam berat (fitoekstraksi), akumulasi, dan translokasi logam berat (fitoakumulasi) (Mendrofa & Nurkhamim, 2021). Metode ini memiliki beberapa keunggulan di antaranya metode yang digunakan sederhana, efisien, hemat biaya, ramah lingkungan, dan memiliki nilai estetika yang tinggi (Fathani, 2017).

Penelitian ini menggunakan tanaman bunga matahari sebagai media fitoremediasi dari produk fisi samarium. Pemilihan penggunaan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) diindikasikan dapat meremediasi logam berat pada tanah atau merupakan tanaman hiperkumulator, yaitu tanaman yang memiliki kemampuan sangat tinggi untuk mengangkut pencemaran. (Rachmatulloh, Setiawati, & Tjahaja, 2015) Hal tersebut sudah dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh (Wicaksono & Nurindriana, 2022) untuk menunjukkan efisiensi fitoremediasi menggunakan bunga matahari berkisar antara 45,74-67,17%, yang artinya bunga ini cukup efektif dijadikan sebagai tanaman akumulator Timbal (Pb). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Rifaldi, Isrun, & Khaliq, 2022) mengatakan bahwa pada umur 2 minggu setelah tanam, bunga matahari mampu menyerap Merkuri (Hg) sebesar 0,0001 mg/kg sedangkan pada umur 8 minggu setelah tanam mampu menyerap sebesar 0,0005 mg/kg.

Berdasarkan keunggulan yang dimiliki tanaman tersebut, dilakukan fitoremediasi produk fisi Samarium-151 dengan menggunakan bunga matahari (*Helianthus annuus L*) untuk dekomisioning fasilitas nuklir. Dengan dilakukannya proses fitoremediasi diharapkan dapat memulihkan kualitas tanah tercemar residu

radioaktif sebagai konsep dekomisioning fasilitas nuklir yang lebih cepat dan efisien. Hal ini merupakan salah satu upaya untuk melestarikan lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap konsentrasi penyerapan Samarium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*)?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*)?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap konsentrasi penyerapan Samarium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*).
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*).

1.4. Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini bermanfaat untuk memperdalam pengetahuan ilmu fisika terutama dalam mengetahui potensi tanaman dalam mendegradasi suatu produk fisi dalam tanah.
2. Penelitian ini dapat bermanfaat untuk mengetahui potensi bunga matahari dalam menurunkan kadar Samarium pada tanah sebagai konsep perencanaan dekomisioning fasilitas nuklir dimasa mendatang.

1.5. Batasan Masalah

1. Produk fisi yang digunakan hanya Samarium-151 yang dimodelkan dengan Samarium-150.
2. Tanaman yang digunakan berusia 3 minggu.
3. Analisis kadar Samarium dilakukan pada seluruh bagian tanaman tanpa membahas lokalisasi Samarium pada tanaman.
4. Penelitian ini menitikberatkan pada konsep dekomisioning dimasa yang akan datang dengan fitoremediasi.

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dekomisioning

Fasilitas nuklir berdasarkan (Indonesia, 2014) terdiri atas reaktor nuklir, fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan bakar nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas; dan/atau fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas. Berdasarkan (Indonesia, 2014), setiap fasilitas nuklir harus memiliki program dekomisioning sebagai syarat izin pembangunan fasilitas nuklir.

Dekomisioning fasilitas nuklir adalah kegiatan menghentikan secara permanen pengoperasian fasilitas yang menggunakan zat radioaktif, misalnya dengan pemindahan bahan bakar nuklir, pembongkaran komponen, pembersihan, dan pemeriksaan akhir. (Wiryo, Mandala, Yusuf, & Patriasari, 2014). Alasan dilakukannya dekomisioning adalah untuk menjamin keselamatan fasilitas yang tingkat produktivitas dan keselamatannya rendah. Dekomisioning juga dapat dilakukan apabila terdapat kecelakaan yang mengakibatkan masyarakat menuntut penutupan fasilitas tersebut, ataupun adanya penggantian desain fasilitas yang baru (Sutoto, 2015).

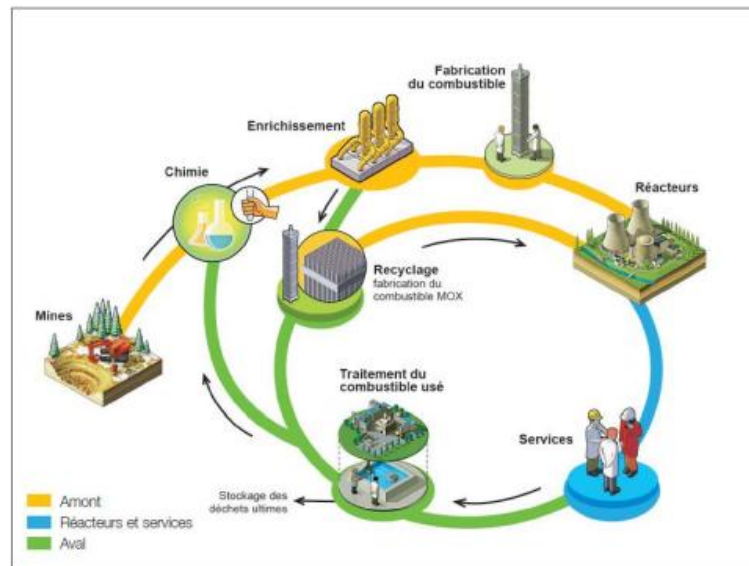
Tujuan akhir dari dekomisioning fasilitas adalah membebaskan lahan bekas tapak instalasi nuklir atau fasilitas radiasi dari cemaran radioaktif sehingga lahan tersebut dapat dipergunakan untuk keperluan umum tanpa membahayakan masyarakat dan lingkungan (BAPETEN, 2002). Satu-satunya pengalaman dekomisioning terkait nuklir yang pernah dilakukan di Indonesia adalah untuk

fasilitas Pemurnian Asam Fosfat PT. Petrokimia Gresik (Alamsyah & Pristianto, 2017).

Dekomisioning dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu langsung dan penundaan. Ketika dekomisioning dilakukan dengan metode penundaan, dilakukan dengan penyimpanan dengan pengamatan. Metode ini diawali dengan pengambilan dan pengangkutan bahan bakar bekas dari teras reaktor untuk disimpan ditempat yang lebih aman. Penundaan pekerjaan dekontaminasi dan dismantling dilakukan sekitar 25-50 tahun agar komponen yang teraktivasi dan terkontaminasi zat-zat radioaktif menjadi meluruh sehingga dalam kurun waktu tersebut fasilitas nuklir masih dapat digunakan. Ketika sisa radioaktivitas dalam lahan sudah rendah, dilakukan dismantling (pembongkaran) fasilitas nuklir.

Dekomisioning langsung dapat dilakukan dengan dekontaminasi yang dilakukan ketika fasilitas nuklir telah dirobohkan. Metode ini diawali dengan pengambilan dan pengangkutan bahan bakar bekas dari teras reaktor untuk di simpan di tempat yang lebih aman, kemudian dilanjutkan dengan pembongkaran seluruh bagian fasilitas nuklir untuk kemudian di dekontaminasi sampai sisa radioaktivitasnya rendah. Kemudian lahan bekas fasilitas dapat digunakan kembali dengan aman.

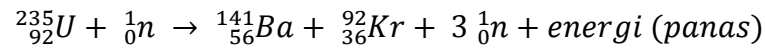
2.2. Produk Fisi



Gambar 2. 1 Siklus Bahan Bakar Nuklir

Pada setiap tahapan dari daur bahan bakar nuklir akan ditimbulkan berbagai jenis limbah radioaktif yang salah satunya adalah limbah yang mengandung uranium dan juga hasil belahnya yaitu radionuklida dengan waktu paro panjang (Aisyah, 2015). Limbah uranium dapat berasal dari proses konversi dan fabrikasi bahan bakar, mesin sentrifugal pada saat proses pengayaan ataupun proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas (Aisyah, 2015). Setiap pengolahan uranium-235 berpotensi menghasilkan produk fisi Samarium-151 dimana pada siklus bahan bakar nuklir hampir semuanya mengolah uranium. Berdasarkan hal ini dapat dikatakan bahwa Samarium dapat muncul dalam setiap proses pengolahan bahan bakar.

Pengoperasian reaktor akan menyebabkan terjadinya reaksi fisi atau pembelahan antara neutron dengan inti atom Uranium (U) yang terjadi pada teras reaktor nuklir sehingga menghasilkan energi, beberapa partikel neutron dan produk fisi seperti pada reaksi berikut :



Samarium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang mempunyai simbol (Sm) dan nomor atom 62 (Ensiklopedia, 2022). Samarium digunakan dalam kaca penyerap inframerah dan sebagai penyerap neutron dalam reaktor nuklir (Samarium, 2022). Unsur ini memiliki beberapa isotop utama yaitu ${}^{144}\text{Sm}$, ${}^{145}\text{Sm}$, ${}^{146}\text{Sm}$, ${}^{147}\text{Sm}$, ${}^{148}\text{Sm}$, ${}^{149}\text{Sm}$, ${}^{150}\text{Sm}$, ${}^{151}\text{Sm}$, ${}^{152}\text{Sm}$, ${}^{153}\text{Sm}$, ${}^{154}\text{Sm}$. Isotop dengan waktu paruh paling panjang atau paling susah meluruh adalah ${}^{151}\text{Sm}$.

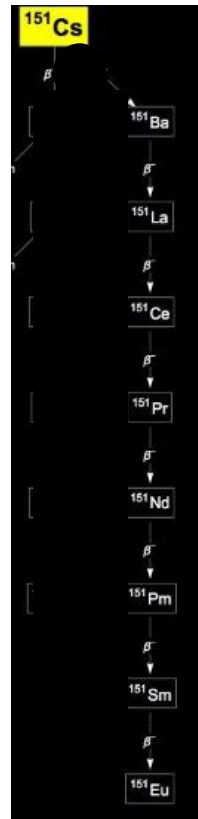


Gambar 2. 2 Samarium

Samarium-151 adalah radioisotop yang diproduksi dari reaksi fisi nuklir. Produk fisi ini termasuk kategori elemen lantanida (logam tanah jarang) dengan waktu paruh ${}^{151}\text{Sm}$ adalah 94,7 tahun dan aktivitas spesifik $9,25 \times 10^{11} \text{ Bq g}^{-1}$ (Croudace, Russell, & Warwick, 2017). Samarium-151 memiliki $E_{\text{max}} = 76 \text{ keV}$ dimana dalam reaktor, ia bertindak sebagai racun neutron (neutron kasip) atau penyerap neutron sehingga jika produk ini terlalu banyak, maka reaktor akan sulit mencapai kekritisasi.

Produk fisi ini termasuk radionuklida pemancar beta negatif. Peluruhan beta negatif adalah peluruhan radioisotope yang meluruh dengan menangkap proton dan memancarkan neutron. Peluruhan beta negatif menghasilkan unsur yang memiliki

nomor atom yang lebih tinggi dibanding unsur asalnya. Sehingga Sm-151 didapat dari perubahan unsur Cs-151 yang mengalami peluruhan beta negatif.



Gambar 2. 3 Peluruhan Samarium-151

Samarium-151 biasanya diperlukan dalam menentukan pembakaran bahan bakar nuklir dan karakterisasi limbah nuklir. Karena bahan bakar nuklir digunakan selama beberapa tahun dalam reaktor daya, jumlah akhir Samarium-151 dalam bahan bakar nuklir bekas pada saat pelepasan mungkin hanya sebagian kecil dari total Samarium-151 yang dihasilkan selama penggunaan bahan bakar. Hasil fisi dari Samarium-151 adalah sekitar 0,4 % yang artinya sekitar 4 atom Samarium-151 akan diproduksi per 1.000 fisi. Radionuklida ini tidak dianggap signifikan selama fase operasional karena kontribusinya terhadap dosis operator secara signifikan lebih rendah daripada radionuklida berumur pendek seperti ^{90}Sr dan ^{137}Cs . Namun,

radionuklida tersebut berkontribusi secara signifikan terhadap perkiraan dosis penyimpanan limbah nuklir jangka panjang (Croudace, Russell, & Warwick, 2017).

Samarium bisa sangat berbahaya jika ada di tempat kerja lingkungan, karena debunya dapat terhirup bersama udara menuju paru-paru emboli, terutama disebabkan oleh paparan jangka panjang. Bisa juga menjadi ancaman bagi hati dalam konsentrasi tinggi, karena dapat tetap ada dalam tubuh dan terserap perlahan (Zamani, et al., 2013). Jumlah total Samarium pada orang dewasa adalah sekitar 50 μg , kebanyakan di hati dan ginjal, dan sekitar 8 $\mu\text{g/L}$ dilarutkan dalam darah (RIM, KOO, & Park, 2013). Menurut (Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 01/Ka-BAPETEN/V-99 Tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, 1999) batas kadar Samarium di udara adalah 6.10^{-8} Ci/m^3 , di pernafasan adalah $1,6.10^1 \text{ Ci}$, dan di pencernaan adalah $3,0.10^2 \text{ Ci}$.

Panjangnya waktu paroh yang dimiliki Samarium juga menjadi suatu permasalahan yang serius, karena jika suatu substansi pencemar memiliki waktu paruh yang relatif lama, maka mereka akan menunjukkan daya tahan yang relatif tinggi terhadap penghancuran “degradasi” oleh organisme tersebut (Yulianto & Amaloyah, 2017). Logam berat secara alami terus-menerus bisa berada di alam karena tidak mengalami transformasi sehingga menyimpan potensi peracunan yang terjadi bisa berdampak dalam jangka waktu yang lama. Logam berat juga tidak dapat didegradasi oleh tubuh dan memiliki sifat racun pada makhluk hidup walaupun dalam konsentrasi yang rendah serta dapat terakumulasi dalam jangka waktu tertentu (Adhani & Husaini, 2017).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan logam yaitu dengan metode X-Ray Fluorescence (XRF). XRF adalah alat yang

dapat digunakan dalam menganalisis komposisi kimia dan konsentrasi unsur-unsur yang terkandung di suatu sampel, dengan proses yang cepat dan tidak merusak sampel (Sulaiman, Anda, & Haraty, 2022). Teknik analisa ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel padatan, bubuk, maupun sampel cair (Jamaluddin, 2016).

2.3. Fitoremediasi

Istilah umum fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani yaitu phyto (tumbuhan), yang dilekatkan pada akar bahasa Latin *remedium* (untuk memperbaiki atau menghilangkan kejahatan) (Ali, Khan, & Sajad, 2013). Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi (Samar, Mariwy, & Manuhutu, 2019). Fitoremediasi menggunakan tumbuhan untuk membersihkan pencemaran di lingkungan. Tanaman dapat membantu membersihkan berbagai jenis polusi termasuk logam berat, radionuklida, pestisida, bahan peledak, dan minyak (Ali, Khan, & Sajad, 2013).

Allah telah berfirman pada surah Asy-Syu'ara ayat 7 yang berbunyi :

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾

Artinya: “Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?”

Dari ayat diatas dapat diketahui bahwa Allah menciptakan banyak tumbuhan baik yang dapat dimanfaatkan oleh umat manusia. Salah satunya adalah penggunaan tumbuhan untuk membantu membersihkan kontaminasi yang ada didalam tanah. Sungguh penumbuhan itu merupakan bukti yang jelas atas besarnya kekuasaan Allah.

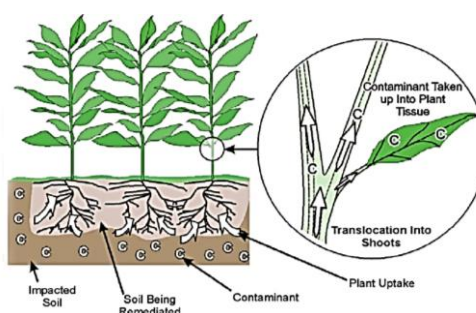
Fitoremediasi dianggap teknologi yang inovatif, ekonomis, dan relatif aman terhadap lingkungan sehingga dapat dijadikan solusi untuk membersihkan beberapa

daerah yang tercemar (Sidauruk & Sipayung, 2015). Keuntungan utama dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan, lebih ekonomis dan waktu yang digunakan untuk membersihkan lingkungan jauh lebih cepat dibanding metode yang lain. Tumbuhan menangani bahan pencemar tanpa mempengaruhi tanah lapisan atas, sehingga tetap mempertahankan kegunaan dan kesuburan tanah (Handayanto, Yulia, Nurul, Netty, & Amrullah, 2017). Kelemahan fitoremediasi adalah terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi oleh binatang herbivora, sehingga diperlukan perhatian khusus ketika penggunaannya. Metode ini juga bergantung pada kedalaman akar dan toleransi tanaman terhadap kontaminan (Sidauruk & Sipayung, 2015).

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar yaitu: fitoekstraksi, fitovolatilisasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, rhizofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan (Ayub, 2015). Fitoekstraksi merupakan suatu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media yang tercemar sehingga terakumulasi disekitar akar tumbuhan atau tersalurkan ke bagian lain pada tumbuhan (daun dan batang) (Pratama, 2018). Setelah polutan terakumulasi, tanaman bisa dipanen dan tanaman tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus di musnahkan dengan insinerator kemudian dilandfiling (Fahmuddin, Subardja, & Soelaeman, 2014). Fitoekstraksi dapat mengurangi polutan berupa logam, senyawa anorganik dan radionuklida (Afifudin, 2022). Fitovolatilisasi terjadi ketika tanaman menyerap logam berat dan melepaskannya ke udara lewat daun dan ada kalanya logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum

dilepas lewat daun. Fitodegradasi adalah metabolisme logam berat di dalam jaringan tanaman oleh enzim seperti dehalogenase dan oksigenase. Fitostabilisasi adalah kemampuan tanaman dalam mengekresikan (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat di daerah rizosfer (perakaran). Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan, mengakumulasi logam berat dari aliran limbah (Fitriyah, 2013).

Ilustrasi mekanisme phytoextraction dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 4 Mekanisme Fitoremediasi

Bahan kimia organik atau polutan dalam tanah dapat diserap oleh tanaman ke akar kemudian diangkut, lalu dimetabolisme atau ditranspirasikan (diuapkan). Proses yang pertama yaitu penyerapan ke akar, selanjutnya akan diangkut melalui jaringan pengangkut xylem dan floem ke bagian tumbuhan yang lainnya. Dari jaringan pengangkut xylem akan dibawa menuju daun dengan melewati membrane yang ada di dalam daun (Irhamni et al., 2017).

Mekanisme akumulasi kontaminan oleh tanaman hiperakumulator dapat dibagi menjadi tiga tahap (Handayani, Setyowati, & Santoso, 2013), yaitu :

1. Penyerapan oleh akar tanaman

Pada proses penyerapan logam oleh tanaman, unsur logam berat harus berbentuk larutan agar dapat diserap oleh akar tanaman. Senyawa yang

terlarut akan diserap oleh akar bersama dengan air. Sedangkan senyawa yang bersifat hidrofobik diserap oleh permukaan tanaman.

2. Translokasi Samarium dari akar ke bagian tanaman lain.

Pada proses translokasi, setelah unsur logam menembus lapisan endodermis akar tanaman kemudian diteruskan ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) menuju bagian tanaman lainnya.

3. Lokalisasi Samarium pada sel dan jaringan

Pada proses ini tanaman berusaha mencegah keracunan logam terhadap sel dengan menimbun Samarium didalam organ tertentu seperti pada akar atau daun agar tidak menghambat proses metabolisme tanaman.

Perpindahan logam berat di lingkungan dinyatakan sebagai faktor transfer. Faktor transfer adalah nisbah konsentrasi aktivitas radionuklida pada jaringan suatu komponen lingkungan (C2) dengan konsentrasinya dalam medium (C1) setelah dicapainya kejenuhan konsentrasi pada jaringan tersebut (Rachmatulloh, Setiawati, & Tjahaja, 2015).

$$F_t = \frac{C_2}{C_1} \quad (2.1)$$

Faktor transfer dapat digunakan untuk mengetahui potensi tanaman dalam menyerap bahan logam berat dari dalam tanah atau air. Nilai faktor tranfer besarnya bervariasi bergantung pada jenis tanaman dan kondisi hidupnya. Dari nilai faktor transfer tersebut dapat dilihat apakah suatu tanaman tertentu dapat digunakan sebagai agen fitoremediator. Nilai faktor transfer lebih dari 1 menunjukkan bahwa tanaman memiliki kemampuan meremediasi. Nilai faktor transfer sama dengan atau lebih dari 20 menandakan bahwa tanaman tersebut

ekonomis dan efektif untuk diaplikasikan sebagai agen fitoremediator (Yulianti, 2021). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Alanoudi, Ahmed, & Brodie, 2018) faktor transfer bunga matahari untuk Cd lebih tinggi dari 1 untuk perlakuan Cd dibawah 20mg/kg yang menunjukkan kemampuannya dalam menyerap ion logam.

2.4. Bunga Matahari



Gambar 2. 5 Bunga Matahari

Klasifikasi tanaman bunga matahari sebagai berikut : (Dwivedi & Sharma, 2016)

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisio	: Spermatophyta
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Magnoliopsida
Subclassis	: Asteridae
Ordo	: Asterales
Familia	: Asteraceae (Compositae)

Genus : *Helianthus*

Species : *Helianthus annuus*

Bunga matahari dengan nama latin *Helianthus annuus* (Sun flower) dapat diartikan sebagai bunga matahari atau bunga berumur semusim. Tanaman ini dapat tumbuh di dataran rendah sampai dengan ketinggian 1000-1500 meter di atas permukaan laut. Lubang tanam yang ideal bagi perkecambahan benih bunga matahari adalah 2.5-5 cm (Adeleke & Babalola, 2020). Bunga matahari memiliki daun berwarna hijau berbentuk jantung dan merupakan daun tunggal. Batang utama tidak berkambium, kasar, dan berbulu. Bunga matahari berakar tunggang serta memiliki epidermis berupa rambut-rambut akar. Bunganya berukuran besar seperti cawan dengan mahkota seperti pita kuning di sepanjang tepi cawan. Tengah cawan itu terdapat bunga-bunga kecil berbentuk tabung dengan warna coklat. Diameter bunganya sekitar 10-15 cm. Biji bunga matahari berasal dari bunga-bunga kecil yang dibuahi, berwarna hitam dengan garis-garis berwarna putih berkumpul di dalam cawan. Jika biji-biji ini sudah matang maka mudah dilepaskan dari cawannya (Megumi, 2019).

Allah telah menjelaskan keindahan tanaman bunga matahari dalam Qur'an

Q.S. Qaf Ayat 7 yang berbunyi :

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوْسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ بَهِيجٍ ﴿٧﴾

Artinya : “Dan Kami hamparkan bumi itu dan Kami letakkan padanya gunung-gunung yang kokoh dan Kami tumbuhkan padanya segala macam tanaman yang indah dipandang mata.”

Dari ayat diatas menunjukkan bahwa Allah menciptakan berbagai macam tanaman yang indah dipandang mata salah satunya bunga matahari. Kita tidak hanya menggunakan bunga matahari sebagai tumbuhan yang membersihkan suatu

lahan dari cemaran zat radioaktif, namun juga dapat merasakan keindahan yang dimilikinya. Hal ini juga menjadi salah satu keunggulan yang dimiliki oleh metode fitoremediasi yaitu terdapat nilai estetika yang tinggi.

Bunga matahari (*Helianthus annuus L*) merupakan hiperakumulator Pb dan diendapkan dalam jaringan daun dan batang. Bunga matahari merupakan tanaman cepat tumbuh dengan produksi biomasa yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan untuk fitoremediasi (penyerapan) pada tanah yang terkontaminasi (Ashofie, 2018). Menurut (Zalewska & Nogalska, 2014) tanaman bunga matahari mampu mengakumulasi logam Seng (Zn) dalam jumlah yang besar dan tanaman ini relatif tahan pada tanah yang memiliki konsentrasi Seng (Zn) yang tinggi. Tanaman bunga matahari dapat digunakan untuk fitoremediasi pada tanah yang tercemar sebesar 200 ppm. Penelitian yang dilakukan oleh (Alsabbagh & Abuqudaira, 2017) mengatakan bahwa biomasa tanaman bunga matahari tidak terpengaruh oleh peningkatan konsentrasi Uranium (U) pada tanaman, yang artinya bunga matahari tahan terhadap radiasi dan toksisitas uranium pada tingkat yang ditemukan di dalam tanah.

Kelebihan tanaman hiperakumulator dari tanaman lainnya adalah adanya serangkaian ekspresi gen yang berbeda yang mengontrol penyerapan, akumulasi dan toleransi terhadap logam (Hidayat, 2013). Terdapat perbedaan mekanisme transport jarak jauh dari akar ke tajuk seperti asam amino bebas, histidin, perbedaan pada nilai kinetik laju akumulasi logam pada hiperakumulator yang dideteksi 5-10 kali lebih besar dari tanaman normal.

2.5. Hipotesis

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

- H₀₁ : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*)
- H₁₁ : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*)
- H₀₂ : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*)
- H₁₂ : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*)

BAB III.

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan pemodelan produk fisi yang digunakan. Penelitian dilakukan di Reaktor Kartini Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Yogyakarta dan menggunakan RAL atau Rancangan Acak Lengkap (Completely Randomized Design).

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Oktober 2022-Maret 2023, di Kawasan Reaktor Kartini Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Yogyakarta dan analisis dilakukan di Kawasan Sains dan Edukasi Achmad Baiquni Babarsari Yogyakarta.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut :

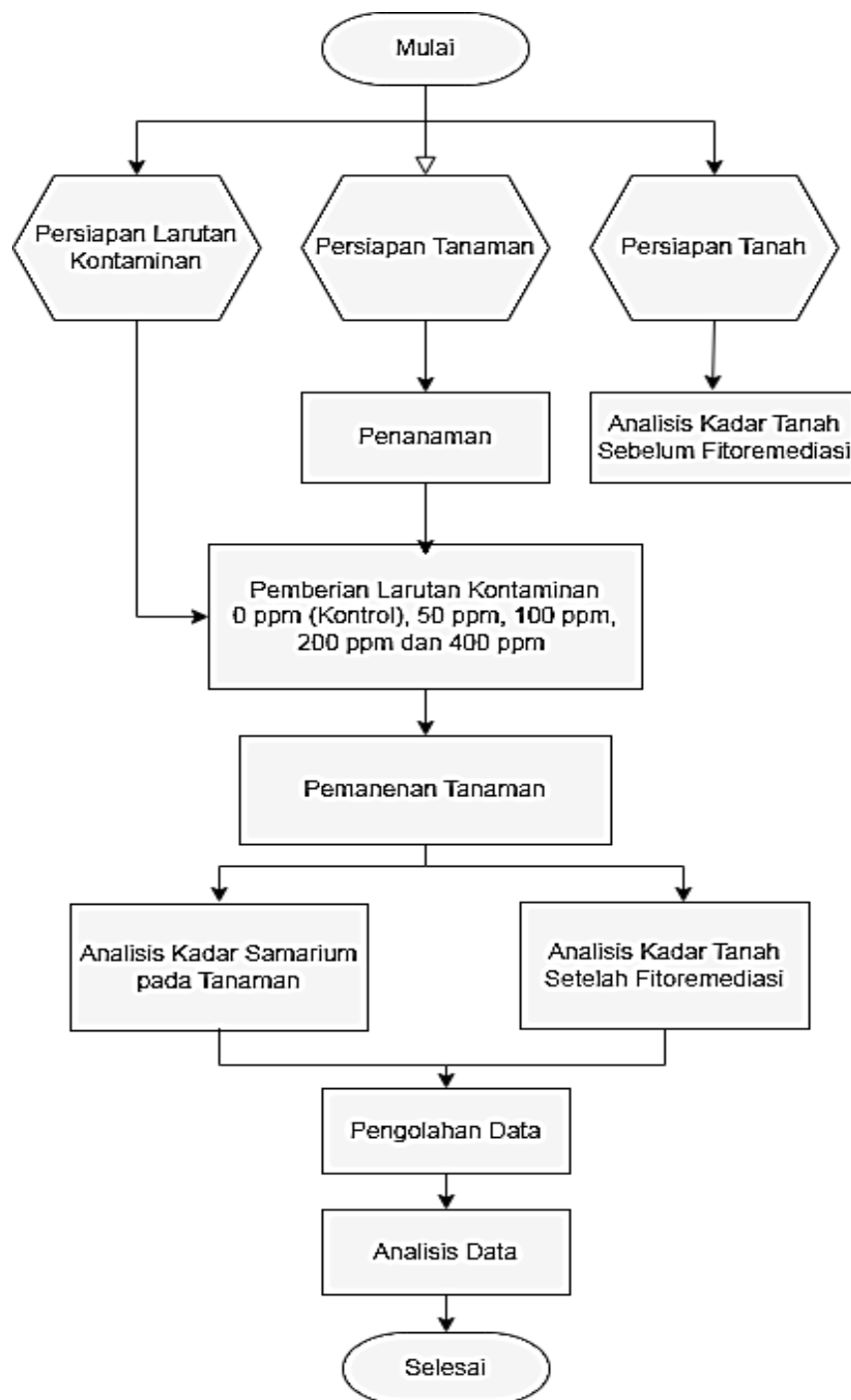
1. Sinar-X Flourence RIGAKU NEX QC
2. Sampel cup 32 mm
3. Sekop
4. Polybag
5. Sduit
6. Timbangan digital
7. Pipet volume
8. Labu erlenmeyer 100ml
9. Jerigen

3.3.2. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut :

1. Tanaman bunga matahari
2. Tanah Sekitar Fasilitas
3. Air
4. Sm_2O_3 (Samarium Oxide)
5. Plastik klip
6. Larutan Standar Samarium 10 ppm
7. Larutan Asam Nitrat (HNO_3) 70%
8. Plastik mylar

3.4. Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan terlebih dahulu. Pertama, dilakukan pengambilan dan preparasi bunga matahari. Bunga matahari

yang digunakan dianggap homogen dengan usia ± 3 minggu. Kemudian di aklimatisasi selama 7 hari agar menyesuaikan dengan lingkungan pengujian. Sebelum melakukan penanaman, dilakukan preparasi cairan kontaminan menggunakan Sm_2O_3 untuk di aplikasikan pada tanaman bunga matahari dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm dalam 2 liter pada setiap konsentrasinya. Diambil sampel tanah sebelum dilakukannya fitoremediasi. Kemudian dilakukan penanaman tanaman bunga matahari di lingkungan sekitar fasilitas nuklir. Setelah 4 minggu pengujian, dilakukan pemanenan untuk mengetahui kadar serapan Samarium yang terakumulasi di tanaman bunga matahari. Pada setiap konsentrasi dilakukan 3 kali pengulangan sampel sehingga terdapat 15 sampel tanaman. Diambil juga sampel tanah setelah dilakukan fitoremediasi. Pengukuran kadar Samarium pada tanaman dan tanah dilakukan dengan metode analisis XRF menggunakan spektrofotometer XRF (X-ray Fluorescence).

3.6. Prosedur Penelitian

3.6.1. Pengambilan Sampel Tanah

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah menyiapkan media tanah. Tanah yang berasal dari sekitar fasilitas nuklir diperkirakan mengandung Samarium. Pengambilan tanah menggunakan sekop dan dibersihkan dari batuan dan akar. Kemudian dimasukkan di *polybag* untuk ditanami bunga matahari. Sebagian tanah diambil untuk dianalisis dimasukkan ke dalam plastik klip.

3.6.2. Aklimatisasi Tanaman Bunga Matahari

Tanaman bunga matahari yang diambil dari nursery perlu menyesuaikan diri dengan lingkungan pengujian sehingga dilakukan aklimatisasi selama 7 hari.

Proses aklimatisasi adalah dengan membiarkan tanaman terlebih dahulu diruang pengujian tanpa diberi perlakuan apapun. Penyiraman dilakukan setiap hari sebagai perawatan. Kemudian tanaman siap ditanam untuk proses pengujian.

3.6.3. Pembuatan Cairan Kontaminan

Cairan kontaminan dibuat dari pengenceran Sm_2O_3 . Konsentrasi kontaminan yang dibuat adalah 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm. Larutan dibuat sebanyak 2 liter pada setiap konsentrasinya. Jumlah Sm_2O_3 bubuk yang dibutuhkan sebanyak 3,5 g untuk total 8 liter cairan kontaminan.

3.6.4. Penanaman Tanaman Bunga Matahari

Tanaman bunga matahari yang telah di aklimatisasi selama 7 hari pada umur tanaman sekitar 3 minggu di tanam di pot/polybag dengan kedalaman 2-4 cm dari permukaan tanah. Tanaman di siram menggunakan air dan ditambahkan cairan kontaminan sebanyak 20 mL setiap harinya hingga waktu pemanenan. Perawatan dilakukan dengan pencabutan tanaman liar.

3.6.5. Pemanenan Tanaman Bunga Matahari

Pemanenan bunga matahari dilakukan setelah 4 minggu (28 hari) penanaman. Setiap tanaman dicabut kemudian dicuci bersih dan dibersihkan dari tanah untuk dilakukan pengukuran kadar Samarium yang terserap. Tanaman yang telah dibersihkan kemudian disimpan di plastik klip. Sampel tanah juga diambil untuk dianalisis kadar Samarium setelah dilakukan fitoremediasi.

3.6.6. Pengukuran Kadar Samarium pada Tanaman Bunga Matahari dan Tanah

Sampel tanaman bunga matahari dipanen pada setiap konsentrasi 0 ppm (kontrol), 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm setelah 4 minggu (28 hari) untuk di uji kadar Samarium yang terakumulasi di tanaman dengan metode XRF.

Sampel tanah diambil pada sebelum dan sesudah dilakukan fitoremediasi sebanyak 5gr. Sebelum dilakukan pembacaan logam oleh alat XRF, semua sampel di destruksi terlebih dahulu. Destruksi yang digunakan adalah destruksi basah.

Pada sampel tanaman, bagian tanaman yang sudah dibersihkan dari tanah direndam dengan Asam Nitrat (HNO_3 70%) sebanyak 10 ml dan ditutup menggunakan plastik. Pada sampel tanah, disiapkan tanah sebanyak 5 gr kemudian dilarutkan dengan Asam Nitrat (HNO_3 70%) sebanyak 10 ml dan ditutup menggunakan plastik. Seluruh pengerjaan destruksi harus dilakukan di dalam ruang asam dan dilakukan pada suhu ruang agar tidak terjadi penguapan zat yang terkandung. Kemudian sampel disimpan di dalam sample cup yang dibatasi dengan plastik mylar untuk dimasukkan kedalam alat X-Ray Fluorescence (XRF).

3.6.7. Analisis Data

1. Penentuan pengaruh konsentrasi Samarium terhadap konsentrasi penyerapan Samarium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari.

Penentuan pengaruh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) yang diberikan terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi dalam tanaman pada setiap konsentrasi kontaminan yang diberikan dianalisis pada SPSS menggunakan ANOVA. Kemudian dibuat kurva antara jumlah kadar Samarium yang terakumulasi dan konsentrasi kontaminan yang diberikan.

Selama penanaman tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*), diberikan cairan kontaminan sebanyak 20 mL setiap harinya. Jumlah kontaminan Samarium yang diberikan dapat diketahui dengan rumus :

$$\text{Massa kristal Samarium (g/L)} \times \text{jumlah larutan (L)} \times \text{jumlah hari}$$

Sedangkan konsentrasi Samarium sebenarnya yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari diketahui dengan rumus :

$$\text{Kadar logam sebenarnya (mg/kg)} = \frac{b \times V}{W} \quad (4.1)$$

Keterangan :

b = kadar yang terbaca pada instrumen (mg/L)

V = Volume larutan (L)

W = berat contoh (Kg)

2. Penentuan nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari.

Faktor transfer Samarium dari tanah tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) dapat mengindikasikan potensi tanaman bunga matahari dalam meremediasi logam berat. Adapun rumus untuk perhitungan nilai Faktor Transfer (FT) sebagai berikut:

$$FT = \frac{\text{Konsentrasi logam berat dalam tanaman } (\frac{mg}{kg})}{\text{Konsentrasi logam berat pada tanah } (\frac{mg}{kg})} \quad (3.1)$$

3.7. Teknik Pengumpulan Data

3.7.1. Teknik Pengumpulan Data Konsentrasi Samarium (Sm) di Tanaman

Data yang diambil dari penelitian ini adalah konsentrasi Samarium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel dibawah dapat ditentukan pengaruh jumlah kontaminan yang diberikan selama 4 minggu (28 hari) terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi.

Tabel 3. 1 Data Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dan Konsentrasi Kontaminan yang Diberikan

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Jumlah Samarium yang Terakumulasi	Jumlah Kontaminan Sm_2O_3 yang diberikan
0 ppm	1		
	2		
	3		
50 ppm	1		
	2		
	3		
100 ppm	1		
	2		
	3		
200 ppm	1		
	2		
	3		
400 ppm	1		
	2		
	3		

3.7.2. Teknik Pengumpulan Data Konsentrasi Tanah

Data kadar Samarium pada tanah awal dibandingkan dengan kadar Samarium pada tanah akhir sehingga dapat diketahui efektifitas penyerapan tanaman bunga matahari sebagai fitoremediator.

Tabel 3. 2 Data Konsentrasi Tanah

Konsentrasi Kontaminan	Konsentrasi Tanah Sebelum Fitoremediasi	Konsentrasi Tanah Sesudah Fitoremediasi
50 ppm		
100 ppm		
200 ppm		
400 ppm		

3.8. Teknik Analisis Data Statistik

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan memperlihatkan pola variasi data yang didapat. Analisis data penelitian ini menggunakan Uji ANOVA pada software SPSS (Statistical Product and Service Solution) bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian kontaminan terhadap kadar logam berat yang terakumulasi pada tumbuhan bunga matahari (*Helianthus annuus L.*). Jika hasilnya menunjukkan pengaruh yang nyata maka dapat dilanjutkan dengan menggunakan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) dengan taraf 5% untuk mengetahui nilai beda antara tiap perlakuan. Dari data SPSS maka didapatkan nilai probabilitas yang menyatakan ada tidaknya pengaruh variasi kontaminan terhadap kandungan Samarium pada tanah sekitar fasilitas nuklir (Urifah, Kusriani, Zakiyah, Handaru, & Rieke, 2017). Dari hasil tersebut dapat dilihat perbedaan yang signifikan dari pengaruh variasi yang dibuat.

Untuk mendapatkan kesimpulan mengenai pengaruh perlakuan, dapat diketahui syarat penolakan hipotesis yaitu :

- a. H_{01} diterima dan H_{11} ditolak, jika $F \text{ hitung} < F \text{ Tabel}$ pada SIG sebesar 0,05 yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan.
- b. H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, jika $F \text{ hitung} < F \text{ Tabel}$ pada SIG sebesar 0,05 yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan.
- c. H_{02} diterima dan H_{12} ditolak, jika $F \text{ hitung} < F \text{ Tabel}$ pada SIG sebesar 0,05 yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan.
- d. H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, jika $F \text{ hitung} < F \text{ Tabel}$ pada SIG sebesar 0,05 yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan.

BAB IV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimental yang menggunakan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) sebagai objek penelitian. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi di dalam tanaman bunga matahari dan faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari. Produk fisi yang digunakan pada penelitian ini adalah Samarium-151 yang dimodelkan dengan Samarium Oksida (Sm_2O_3). Variasi konsentrasi kontaminan yang diberikan sebagai bentuk pemodelan adalah 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm dengan pemberian 20 mL kontaminan setiap harinya. Pengulangan tanaman dilakukan sebanyak 3 kali dengan lama waktu penanaman 28 hari. Tanaman bunga matahari yang digunakan berusia 4 minggu dengan proses aklimatisasi selama 7 hari.

4.1.1 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

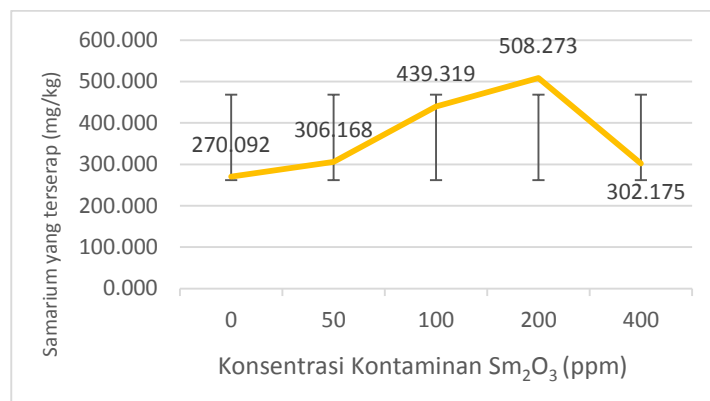
Diperoleh data jumlah konsentrasi kontaminan dan konsentrasi Samarium yang terakumulasi ditanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Perbandingan konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dengan Jumlah yang diberikan

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Jumlah Pemberian Samarium (mg)	Konsentrasi Samarium Terserap oleh tanaman (mg/kg)	Rata Rata (mg/kg)
0 ppm	1	0	158.159	270.092
	2		379.679	
	3		272.438	
50 ppm	1	46.38	284.124	306.168
	2		262.913	
	3		371.467	
100 ppm	1	92.76	410.827	439.319
	2		334.935	
	3		572.196	
200 ppm	1	185.52	522.131	508.273
	2		554.414	
	3		448.273	
400 ppm	1	695.72	380.326	302.175
	2		272.438	
	3		253.761	

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa penambahan kontaminan pada masa tanam dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm dan 400 ppm menghasilkan perubahan pada konsentrasi Samarium yang terserap. Pada data konsentrasi pemberian kontaminan 0 ppm hingga 200 ppm menghasilkan konsentrasi Samarium yang terserap yang semakin tinggi yaitu 270.092 mg/kg, 306.168 mg/kg, 439.319 mg/kg, dan 508.273 mg/kg. Namun terjadi penurunan penyerapan pada pemberian kontaminan dengan konsentrasi 400 ppm yaitu turun menjadi 302.175 mg/kg, hal ini dapat menjadi suatu indikasi kemampuan maksimal penyerapan tanaman dalam menyerap suatu kontaminan. Data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan pengaruh antara jumlah pemberian konsentrasi kontaminan terhadap konsentrasi Samarium yang terserap pada

tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*). Seperti yang ditunjukkan gambar 4.1



Gambar 4. 1 Perbandingan Konsentrasi Samarium Terserap dengan Jumlah yang Diberikan

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa samarium yang terserap oleh bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) mengalami kenaikan pada konsentrasi kontaminan 0 ppm hingga 200 ppm dengan penyerapan paling tinggi terjadi pada konsentrasi 200 ppm yaitu 508.273 mg/kg. Namun mengalami penurunan pada konsentrasi kontaminan 400 ppm yaitu 302.175 mg/kg.

Berdasarkan data hasil penelitian dan grafik diatas maka dilakukan analisis menggunakan uji Anova Satu Arah (*One Way Anova*) menggunakan aplikasi SPSS untuk mengetahui adakah pengaruh nilai konsentrasi kontaminan terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Anova Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan (df)	Rata-Rata Kuadrat Samarium Terakumulasi	F Hitung	Sig.
Antar Grup	127394.857	4	31848.714	4.202	.030
Dalam Grup	75788.968	10	7578.897		
Total	203183.824	14			

Berdasarkan tabel 4.2 uji ANOVA menunjukkan ada atau tidaknya pengaruh konsentrasi kontaminan terhadap konsentrasi Samarium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Data menunjukkan nilai signifikansi (Sig) = 0.030 dimana nilai probabilitas signifikansi $0.030 < 0.05$, maka hipotesis H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh nyata dari jumlah konsentrasi kontaminan yang diberikan terhadap konsentrasi Samarium yang terserap. Selanjutnya dilakukan uji DMRT untuk mengetahui penyerapan Samarium yang paling efektif dari variasi konsentrasi kontaminan yang diberikan. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data Uji Lanjut DMRT Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Samarium yang Terakumulasi Pada Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Konsentrasi Kontaminan	Notasi*
0 ppm	a
400 ppm	a
50 ppm	a
100 ppm	ab
200 ppm	b

Hasil analisis DMRT 5% pada tabel 4.3 menunjukkan pengaruh konsentrasi kontaminan terhadap konsentrasi Samarium yang terserap oleh tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Berdasarkan hasil analisis DMRT 5% menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi kontaminan 0 ppm, 400 ppm, dan 50 ppm tidak memiliki perbedaan nyata. Konsentrasi 0 ppm, 400 ppm dan 50 ppm berbeda nyata dengan konsentrasi 200 ppm. Konsentrasi 0 ppm, 400 ppm, dan 50 ppm tidak beda nyata dengan 100 ppm. Konsentrasi 100 ppm tidak beda nyata dengan konsentrasi 200 ppm. Sehingga dapat dikatakan perlakuan terbaik dan paling beda yang menghasilkan konsentrasi terserap paling banyak adalah 200 ppm.

4.1.2 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Kemampuan tanaman sebagai agen fitoremediator dapat dilihat berdasarkan nilai faktor transfer kontaminan dari tanah ke tanaman bunga matahari. Nilai faktor transfer tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) dalam menyerap kontaminan Sm_2O_3 ditunjukkan oleh tabel 4.4.

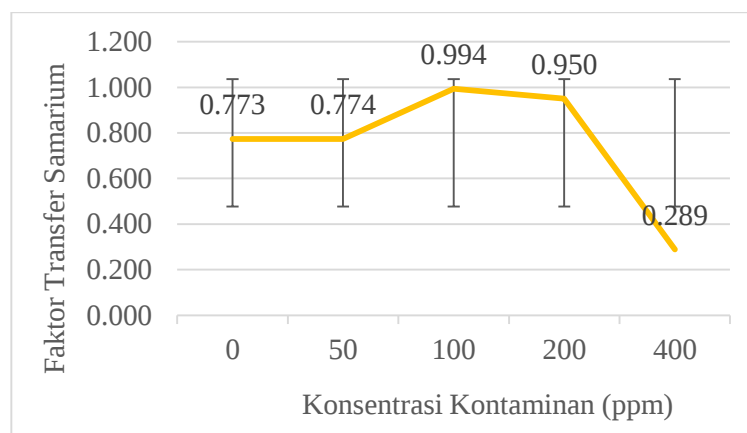
Tabel 4. 4 Nilai Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Konsentrasi Kontaminan	Konsentrasi Tanah (mg/kg)	Konsentrasi Tanaman (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-Rata
0 ppm	349.228	158.159	0.453	0.773
		379.679	1.087	
		272.438	0.780	
50 ppm	395.608	284.124	0.718	0.774
		262.913	0.665	
		371.467	0.939	
100 ppm	441.988	410.827	0.929	0.994
		334.935	0.758	
		572.196	1.295	
200 ppm	534.748	522.131	0.976	0.950
		554.414	1.037	
		448.273	0.838	
400 ppm	1044.948	380.326	0.364	0.289
		272.438	0.261	
		253.761	0.243	

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penambahan kontaminan pada masa tanam dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm dan 400 ppm menghasilkan perubahan pada faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari. Pada data konsentrasi pemberian kontaminan 0 ppm hingga 100 ppm menghasilkan faktor transfer yang semakin tinggi yaitu 0.773, 0.774, dan 0.994. Namun mulai terjadi penurunan pada konsentrasi 200 ppm yaitu turun menjadi 0,950 hingga penuruna signifikan pada konsentrasi 400 ppm yaitu 0.289, sehingga nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) berada pada rentang 0,3 – 1,0.

Bertambahnya konsentrasi Samarium yang diberikan akan mempengaruhi jumlah Samarium yang akan diserap oleh bunga matahari. Pada penelitian ini, jumlah penyerapan tidak linier dengan Samarium yang berpindah dari tanah

berkontaminasi ke tanaman bunga matahari. Hal ini menjadi suatu indikasi bahwa tanaman bunga matahari mulai mengalami kejenuhan dalam menyerap Samarium.



Gambar 4. 2 Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa faktor transfer Samarium dari tanah menuju tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) mengalami kenaikan pada konsentrasi kontaminan 0 ppm hingga 200 ppm dengan faktor transfer tertinggi terjadi pada konsentrasi 100 ppm yaitu 0,994. Namun mengalami penurunan yang signifikan pada konsentrasi kontaminan 400 ppm yaitu 0,289.

Berdasarkan data hasil penelitian dan grafik diatas maka dilakukan analisis menggunakan uji Anova Satu Arah (*One Way Anova*) menggunakan aplikasi SPSS untuk mengetahui pengaruh nilai konsentrasi kontaminan terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Anova Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Terhadap Nilai Faktor Transfer Samarium dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebeasan	Rata-rata Kuadrat Samarium Terakumulasi	F Hitung	Sig.
Antar Grup	.938	4	.235	5.545	.013
Dalam Grup	.423	10	.042		
Total	1.362	14			

Berdasarkan tabel 4.5 uji ANOVA menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi kontaminan terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Data menunjukkan nilai signifikansi (Sig) = 0.013 dimana nilai probabilitas signifikansi $0.013 < 0.05$ maka hipotesis H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh nyata dari jumlah konsentrasi kontaminan yang diberikan terhadap nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Selanjutnya dilakukan uji DMRT untuk mengetahui faktor transfer yang paling efektif dari variasi konsentrasi kontaminan yang diberikan. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Data Uji Lanjut DMRT Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan Terhadap Nilai Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Konsentrasi Kontaminan	Notasi*
400 ppm	a
0 ppm	b
50 ppm	b
200 ppm	b
100 ppm	b

Hasil analisis DMRT 5% pada tabel 4.6 menunjukkan pengaruh konsenrasi kontaminan terhadap nilai faktor transfer Samarium yang terserap oleh tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Berdasarkan hasil analisis DMRT 5% menunjukkan bahwa perlakuan variasi konsentrasi kontaminan 0 ppm, 50 ppm, 200 ppm, dan 100 ppm tidak memiliki perbedaan nyata. Sedangkan konsentrasi 400 ppm memiliki perbedaan nyata dengan konsentrasi 0 ppm, 50 ppm, 200 ppm, dan 100 ppm. Sehingga dapat dikatakan perlakuan terbaik yang menghasilkan nilai faktor transfer efektif adalah 100 ppm.

4.2. Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Konsentrasi Penyerapan Samarium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Kemampuan dalam beradaptasi, menyerap dan mengakumulasi kontaminan pada lingkungan tercemar logam berat tidak dimiliki oleh semua tanaman. Beberapa tumbuhan memiliki sensitivitas yang berbeda-beda. Seperti halnya tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Dalam mengakumulasi logam seperti Samarium (Sm), tanaman ini melakukan penyerapan oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk

bersama aliran air. Menurut (Hidayat, 2013) proses fisiologis tanaman hiperakumulator dalam menyerap Samarium dibagi menjadi 2 tahap yaitu interaksi rizoferik dan translokasi Samarium. Tahap pertama yang terjadi adalah pengolahan unsur-unsur di tanah pada sekitar akar dari yang tidak dapat diserap menjadi dapat diserap, dimana proses ini melibatkan eksudat (isi sel yang spontan keluar) sebagai pengatur komunitas mikroba disekitar akar. Penyerapan logam oleh akar ditentukan oleh permeabilitas, transpirasi, dan tekanan akar serta kehadiran sistem pemacu penyerap logam. Pada tahap ini, Samarium yang tadinya tidak dapat diserap oleh tanaman menjadi dapat diserap karena adanya eksudat. Kemampuan mikroba dalam merubah bentuk unsur agar dapat diserap mempengaruhi jumlah akumulasi Samarium pada tanaman dimana semakin tinggi konsentrasi kontaminan yang diberikan akan membuat mikroba berusaha lebih dalam merubah bentuk Samarium agar dapat diserap oleh tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Tahap kedua yaitu translokasi logam dimana samarium akan diangkut melalui jaringan pengangkut xylem dan floem ke bagian tumbuhan yang lain yang lebih efisien menjadi tempat berkumpulnya Samarium (Yanliang Li, 2023).

Tumbuhan menyerap Samarium di tanah melalui akar dengan cara difusi yaitu ion akan bergerak masuk dari lingkungan yang berkonsentrasi tinggi (tanah) ke konsentrasi yang lebih rendah (tanaman). Hasil tabel 4.1 menunjukkan bahwa tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) memiliki kemampuan beradaptasi untuk hidup ditanah yang terkontaminasi Samarium dan memiliki daya untuk menyerap Samarium pada tanah. Pemaparan data hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi

kontaminan Samarium Oksida terhadap konsentrasi penyerapan Samarium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

Pada tanah sebelum dilakukan penambahan kontaminan ternyata sudah mengandung Samarium sebesar 349,228 mg/kg. Setelah diberi perlakuan fitoremediasi dengan bunga matahari, tanah mengalami penurunan kadar Samarium menjadi bukti adanya kemampuan bunga matahari dalam meremediasi Samarium. Penurunan ini menjadi salah satu bukti efisiensi waktu dalam menghilangkan kadar kontaminan saat dilakukannya dekomisioning.

Pada media tanah yang diberi penambahan kontaminan 50 ppm, akumulasi Samarium yang terserap oleh tanaman adalah 306.168 mg/kg. Pada perlakuan penambahan kontaminan 100 ppm, akumulasi Samarium yang terserap oleh tanaman adalah 439.319 mg/kg. Pada perlakuan penambahan kontaminan 200 ppm, akumulasi Samarium oleh tanaman sebesar 508.273 mg/kg dan pada perlakuan penambahan kontaminan 400 ppm, akumulasi Samarium oleh tanaman sebesar 302.175 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi kontaminan yang diberikan menghasilkan akumulasi samarium pada tanaman yang semakin tinggi. Namun terjadi penurunan yang signifikan pada konsentrasi 400 ppm.

Penurunan akumulasi bisa disebabkan terjadinya kejenuhan tanaman dalam mengakumulasi kontaminasi. Kejenuhan dapat terjadi karena tanaman telah menyerap sebagian zat kontaminan pada limbah dimana semakin banyak kontaminan yang terserap maka semakin banyak pula kontaminan yang terakumulasi di tanaman sehingga dapat memperlambat penyerapan kontaminan

oleh jaringan tanaman (Arasy, 2016). Kemampuan biomassa dalam mengikat logam berat akan mengalami penurunan karena permukaan dinding sel yang mengalami kejenuhan.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) Terhadap Faktor Transfer Samarium Dari Tanah Ke Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L*)

Faktor transfer merupakan parameter yang umum digunakan dalam hal transfer radionuklida di lingkungan. Nilai faktor transfer dipengaruhi oleh jenis radionuklida yang diserap, jenis tanaman, jenis tanah, sifat fisika tanah, dan sifat kimia tanah (Sukmabuana, 2010). Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi Samarium dari tanah dibuktikan dengan nilai faktor transfer karena faktor transfer menunjukkan hubungan antara konsentrasi Samarium yang ada di tanah dan di tanaman.

Pada konsentrasi 100 ppm dan 200 ppm, nilai faktor transfer memiliki selisih yang sangat kecil dimana hal ini sesuai dengan analisis DMRT yang mengatakan bahwa perlakuan 100 ppm dan 200 ppm tidak memiliki perbedaan nyata. Penurunan akumulasi Samarium pada konsentrasi yang lebih tinggi disebabkan adanya kejenuhan tanaman dalam menyerap Samarium dimana tanaman telah mencapai batas ambang nilai akumulasi yang bisa dilakukan. Hal ini menjadi bukti ketidak-linieran akumulasi Samarium oleh tanaman bunga matahari dengan nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari. Kemampuan tanaman memindahkan Samarium pada konsentrasi 200 ppm mulai mengalami penurunan menandakan bahwa tanaman mulai mengalami kejenuhan dalam meremediasi kontaminan pada konsentrasi 200 ppm.

Pada penelitian ini nilai faktor terbesar dimiliki oleh konsentrasi kontaminan 100 ppm, yaitu 0,994 sedangkan nilai faktor transfer terendah dimiliki oleh konsentrasi 400 ppm yaitu 0,289. Menurut (Yulianti, 2021) tanaman dikatakan mampu meremediasi suatu unsur apabila memiliki nilai faktor transfer lebih dari 1, sedangkan pada penelitian ini nilai faktor transfer masih dibawah angka 1, yang artinya tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) belum mampu meremediasi Samarium dengan baik. Namun, nilai faktor transfer Samarium pada tanaman bunga kupu-kupu (*Asclepias syriaca L.*) berada pada rentang 0.04-0.2, pada tanaman bunga showy tick-trefoil (*Desmodium canadense L.*) berada pada rentang 0.04-0.15, dan pada tanaman rumput gajah (*Panicum virgatum L.*) 0.03-0.11 (Carpenter, Boutin, Allison, Parsons, & Ellis, 2015). Sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman bunga matahari lebih memiliki potensi dalam meremediasi kontaminasi Samarium.

4.3. Kajian Integrasi Islam

Fasilitas nuklir yang telah dihentikan namun tidak didekomisioning akan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan. Pencemaran tersebut tidak lain adalah disebabkan oleh umat manusia. Tapak yang ditinggalkan tidak bisa digunakan kembali karena mengandung radionuklida dan bahan radioaktif yang berbahaya bagi masyarakat sekitar. Padahal Allah SWT memerintahkan umat-Nya untuk senantiasa menjaga lingkungan dari kerusakan. Allah berfirman dalam surat Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ

يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).” (Q.S Ar-Rum : 41)

Dari ayat diatas menunjukkan bahwa kerusakan yang disebabkan oleh tangan manusia akan berakibat buruk bagi manusia itu sendiri. Kata (ظَهَرَ) berarti nampak yaitu sesuatu yang diketahui dengan jelas dan kata (الْفَسَادُ) yang berarti keluarnya sesuatu dari keseimbangan. Tegasnya Allah SWT dalam menunjukkan bahwa kerusakan yang ada baik itu di darat maupun di laut merupakan akibat dari perbuatan manusia.

Sebagai umat manusia yang beriman, kita harus selalu berupaya untuk berpikir secara luas melalui riset dengan memanfaatkan berbagai macam teknologi. Salah satunya adanya dengan mencoba untuk memperbaiki kerusakan yang ada dengan kelebihan yang dimiliki oleh suatu tanaman. Allah berfirman dalam surat Ali Imran ayat 191 yang berbunyi :

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا

خَلَقْتَ هٰذَا بَطْلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.” (Q.S Ali Imran : 191)

Dalam tafsir Al-Mukhtashar dikatakan bawa orang orang yang senantiasa mengingat Allah dalam kondisi apapun baik itu berdiri, duduk, maupun berbaring. Mereka juga senantiasa menggunakan akal dan pikiran mereka untuk memikirkan

penciptaan langit dan bumi. Mereka berkata “ Wahai Rabb, Engkau tidak menciptakan makhluk yang sangat besar ini untuk bersenda gurai Maka jauhkanlah kami dari azab neraka dan Engkau bimbing kami kepada perbuatan yang baik dan lindungi kami dari perbuatan yang buruk”. Makna tersebut adalah bahwasanya Allah tidak menciptakan makhluk hidup tanpa alasan yang sia sia kecuali dengan manfaat yang menyertainya seperti menciptakan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) yang diberi kemampuan lebih dalam menyerap kontaminan dari suatu tanah tercemar. Mereka juga memohon untuk di jauhkan dari perbuatan yang buruk dimana Allah juga berfirman pada surat Al-Baqarah ayat 205 yang berbunyi :

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ ۝

Artinya: “Dan apabila ia berpaling (dari kamu), ia berjalan di bumi untuk mengadakan kerusakan padanya, dan merusak tanam-tanaman dan binatang ternak, dan Allah tidak menyukai kebinasaan.”(Q.S Al-Baqarah : 205)

Dalam kita Li Yaddabbaru Ayati dijelaskan bawah kerusakan memiliki penampakan yang berbeda beda. Kerusakan yang diawali dengan perkara sederhana seperti membiarkannya rusak tanpa ada usaha untuk memperbaikinya atau meninggalkan suatu kerusakan tanpa ada usaha untuk memperbaikinya sehingga menjadikannya cacat yang berkepanjangan. Ibnu Katsir mengatakan bahwa Allah menyampaikan dalam ayat tersebut bahwa ia membenci orang-orang yang menyebabkan kerusakan pada lingkungan karena mereka termasuk orang munafik. Oleh karena itu agar kita dijauhkan dari munafik sebagai orang mukmin harus senantiasa menjaga lingkungan dari kerusakan. Sehingga sebagai seorang mukmin akan senantiasa berfikir bagaimana mencari solusi atas sebuah permasalahan tanpa menimbulkan kerusakan pada lingkungan.

BAB V.

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh konsentrasi kontaminan Sm_2O_3 terhadap kadar Samarium yang terserap dan nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Akumulasi Samarium pada tanaman bunga matahari dipengaruhi oleh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) dimana semakin tinggi konsentrasi kontaminannya maka akumulasi Samarium juga semakin tinggi. Terjadi penurunan akumulasi pada konsentrasi kontaminan yang lebih tinggi menandakan adanya kejenuhan tanaman bunga matahari dalam menyerap Samarium.
2. Nilai faktor transfer Samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) dipengaruhi oleh konsentrasi kontaminan Samarium Oksida (Sm_2O_3) yang diberikan pada tanah. Berdasarkan data yang didapat, tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) belum mampu meremediasi produk fisi Samarium dibuktikan dengan nilai faktor transfer lebih kecil dari 1.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai fitoremediasi produk fisi Samarium dengan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) untuk dekomisioning fasilitas nuklir dapat disarankan bahwa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Perlu diketahui persebaran akumulasi Samarium (Sm) ke bagian

tanaman untuk mengetahui lokalisasi Samarium dalam tanaman. Perlu dilakukan variasi lama penanaman untuk mengetahui akumulasi terbaik dalam meremediasi produk fisi Samarium (Sm).

DAFTAR PUSTAKA

- A, B., K, A., B, S., & O.P, S. (2014). Crystallographic Evaluation of Titanate Ceramics as a Host Structure for Immobilization of Samarium. *Radiochemistry*, 56 No.1, 92-97. doi:10.1134/S1066362214010184
- Adhani, R., & Husaini . (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Afifudin, A. F. (2022). *Kemampuan dan Respon Pertumbuhan Tanaman Daun Tombak (Sagittaria lancifolia) dalam Mengabsorpsi Logam Berat Tembaga (Cu)*. Surabaya: UIN Sunan Ampel .
- Aisyah. (2015). Pengolahan Limbah Daur Bahan Bakar Nuklir Yang Mengandung Uranium Menggunakan Resin Penukar Anion. *Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah XIII* (pp. 21-28). BATAN.
- Alamsyah, R., & Pristianto, A. Y. (2017). Infrastruktur Keselamatan Dekomisioning Fasilitas Nuklir di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV* (pp. 29-35). Jakarta: Bapeten.
- Alanoudi, K. A., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd Contaminated Soils by Using Sunflower. *Annals of Agricultural Sciences* 63, 123-127.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of Heavy Metals—Concepts and Applications. *Chemosphere*, 869-881. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075
- Alsabbagh, A., & Abuqudaira, T. M. (2017). Phytoremediation of Jordanian Uranium-Rich Soil Using Sunflower. *Water Air Soil Pollut*, 219-228.
- Arasy, S. (2016). Penyisihan Kontaminan Pb menggunakan Typha Latifolia Dengan Metode Sub-Surface Flow Constructed Wetland. *Jom Fteknik Vol 3 No.1*.
- Ashofie, I. (2018). *Aplikasi Kompos dan Mikoriza Arbuskular (Glomus sp.) Pada Tailing Tambang Emas Terhadap Pertumbuhan dan Serapan Fosfor Tanaman Bunga Matahari (Helianthus annuus L.)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ayub, S. O. (2015). *Kesesuaian dan Kinerja Tanaman Kehutanan Sebagai Fitoremediasi Logam Pada Lahan Bekas Tambang Batubara*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- BAPETEN, K. (2002). *Pedoman Dekomisioning Fasilitas Medis, Industri, dan Penelitian Serta Instalasi Nuklir Non-Reaktor*. Jakarta: BAPETEN.
- Carpenter, D., Boutin, C., Allison, J. E., Parsons, J., & Ellis, D. (2015). Uptake and Effects of Six Rare Earth Elements (REEs) on Selected Native and Crop Species Growing in Contaminated Soils. *PLoS ONE*, 1-21.

- Croudace, I. W., Russell, B. C., & Warwick, P. W. (2017). Plasma Source Mass Spectrometry For Radioactive Waste Characterisation In Support of Nuclear Decommissioning. *The Royal Society of Chemistry*, 494-596.
- Dwivedi, & Sharma. (2016). A Review On Heliotropism Plant : *Helianthus annuus*. *The Journal Pharmacology*, 3 No.2.
- Ensiklopedia. (2022). *Samarium*. Retrieved from Ensiklopedia Online: https://p2k.utn.ac.id/ind/2-3077-2966/Samarium_25861_utn_p2k-utn.html
- Fahmuddin, A., Subardja, D., & Soelaeman, Y. (2014). *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Jakarta Selatan: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Fathani, A. (2017). *Pengaruh Fitoremediasi Tanaman Bunga Matahari (Helianthus annuus L.) Terhadap Konsentrasi Logam Seng (Zn) Pada Tanah Tercemar*. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Fitriyah, A. W. (2013). Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *Jurnal UM*.
- Handayani, I. K., Setyowati, E., & Santoso, A. (2013). Efisiensi Fitoremediasi Pada Air Terkontaminasi Cu Menggunakan *Salvina molesta mitchel*. *Biology Education Conference, Vol.10*.
- Handayanto, E., Yulia, N., Nurul, M., Netty, B., & Amrullah, F. (2017). *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Hidayat, N. (2013). Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 75-82.
- Indonesia. (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 8. Pemerintah Indonesia.
- Jamaluddin. (2016). Analisis Kandungan Logam Oksida Menggunakan Metode XRF (X-Ray Fluorescence). *Jurnal Geofisika FMIPA*.
- Ka-BAPETEN. (1999). *Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 01/Ka-BAPETEN/V-99 Tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi*.
- Megumi, S. R. (2019, Juli 6). *Bunga Matahari, Ragam Manfaat Sang Penyerap Energi Surya*. Retrieved from Greeners.co: <https://www.greeners.co/flora-fauna/bunga-matahari-ragam-manfaat-sang-penyerap-energi-surya/>
- Mendrofa, Y. C., & Nurkhamim. (2021). Metode Fitoremediasi dalam Pengelolaan Tanah Tercemar Timbal (Pb) pada Lahan Bekas Tambang, Berdasarkan Literatur Review. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVI* (pp. 356-361). Yogyakarta: UPN "Veteran" Yogyakarta.

- Pandi, L. Y. (2013). Pengaruh Sosial Ekonomi Akibat Dekomisioning Reaktor Nuklir Di PLTN Vandellos I. *Seminar Keselamatan Nuklir* (pp. 145-156). Jakarta: BAPETEN.
- Pratama, R. P. (2018, Agustus 2). *Fitoremediasi*. Retrieved from Ganeca Enovironmental Service: <https://www.gesi.co.id/fitoremediasi/>
- Rachmatulloh, M. A., Setiawati, E., & Tjahaja, P. I. (2015). Penentuan Faktor Transfer dan Growth Value ^{134}Cs dan ^{60}Co Pada Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) dengan Cara Hidroponik Untuk Kajian Awa Fitoremediasi. *Youngster Physics Journal*, 139-148.
- Rifaldi, Isrun, & Khaliq, M. A. (2022). Fitoremediasi Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) dan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) Dalam Mengikat Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Limbah Tailing Tambang Emas Poboya. *Jurnal Agrotekbis* 10, 132-139.
- RIM, K. T., KOO, K. H., & Park, J. S. (2013). Toxicological Evaluations of Rare Earths and Their Health Impacts to Workers : A Literature Review. *SHOW (Safety and Health at Work)*, 12-26.
- Samar, Y. S., Mariwy, A., & Manuhutu, J. B. (2019). Fitoremediasi Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman Kacang Kalopo (*Calopogonium mucunoides*). *Scie Map J*, 93-98.
- Samarium*. (2022). Retrieved from Royal Society Of Chemistry: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/62/samarium>
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). Fitoremediasi Lahan Tercemar Di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Jurnal Pertanian Tropik*, 178-186.
- Sukmabuana, P. (2010). Parameter Transfer Radio Strontium Sr-85 di Lingkungan melalui Jalur Tanah. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 99-110.
- Sulaiman, A. R., Anda, P., & Haraty, S. R. (2022). Analisis Karakteristik Tanah Menggunakan Metode Magnetik dan X-Ray Fluorescence di Kecamatan Oheo. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 171-185.
- Susilowati, E. (2013). Kajian Perencanaan Strategis Peningkatan Pemanfaatan Reaktor Nuklir Penelitian. *Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir* (pp. 194-200). PRSG-BATAN.
- Sutoto. (2015). The Inventarization of Equipment For Cooling System As Study to Optimation of Waste Management From Decommissioning of The Kartini Reactor. *Proceedings of the National Seminar on Waste Management Technology XIII* (pp. 133-141). National Nuclear Energy Agency.
- Urifah, D., Kusriani, Zakiyah, U., Handaru, B., & Rieke, Y. (2017). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) oleh Tanaman Hidrilla (*Hydrilla verticillata*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 100-108.

- Wicaksono, K. S., & Nurindriana, F. M. (2022). Pemanfaatan Biochar dan Kompos Black Soldier Fly Pada Fitoremediasi Tanah Tercemar Timbal dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Sawi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 9 No 2, 297-309.
- Wiryono, Mandala, G. A., Yusuf, N. R., & Patriasari, A. E. (2014). Tinjauan Mengenai Implementasi Peraturan Dekomisioning Instalasi Nuklir di Indonesia. *Seminar Keselamatan Nuklir* (pp. 188-191). Bapeten.
- Yanliang Li, S. U. (2023). Toxic Effects of Cadmium On The Physiological and Biochemical Attributes of Plants, and Phytoremediation Strategies: A Review. *Environmental Pollution*.
- Yulianti, I. M. (2021). Potensi *Calotropis gigantea* dalam Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb). *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, Vo. 6 (2), 120-128.
- Yulianto, & Amaloyah, N. (2017). *Toksikologi Lingkungan*. Indonesia: KEMENKES .
- Zalewska, M., & Nogalska, A. (2014). Phytoextraction Potential of Sunflower and White Mustard Plants in Zinc-Contaminated Soil. *Chilean Journal of Agricultural Research* 74(4), 485-489.
- Zamani, H. A., Reyabbi, F. N., Faridbod, F., Mohammadhosseini, M., Ganjali, M. R., Tadjarodi, A., & Rad, M. (2013). Fabrication of a PVC Membrane Samarium(III) Sensor Based On N,N',N''-tris(4-pyridyl)trimesic amide As a Selectophore. *Materials Science and Engineering C*, 870-874.

LAMPIRAN

Lampiran 1.
Perhitungan Pembuatan Larutan Sm_2O_3 Untuk Cairan Kontaminan

Berat atom ^{150}Sm : 150,36 g/mol

Berat atom ^{151}Sm : 151 g/mol

Berat Molekul $^{150}\text{Sm}_2\text{O}_3$: 348.72 g/mol

Waktu paro Samarium-151 : 88.8 tahun

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan Sm 50 ppm sebanyak 2 Liter.

$$m = \frac{Mr_{\text{Sm}_2\text{O}_3}}{Ar_{\text{Sm}}} \times C \left(\frac{g}{l} \right) \times V (l) = \frac{348,72 \left(\frac{g}{mol} \right)}{150,36 \left(\frac{g}{mol} \right)} \times 0,05 \left(\frac{g}{l} \right) \times 2 (L) = 0,2319 \text{ g}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan Sm 100 ppm sebanyak 2 Liter.

$$m = \frac{Mr_{\text{Sm}_2\text{O}_3}}{Ar_{\text{Sm}}} \times C \left(\frac{g}{l} \right) \times V (l) = \frac{348,72 \left(\frac{g}{mol} \right)}{150,36 \left(\frac{g}{mol} \right)} \times 0,1 \left(\frac{g}{l} \right) \times 2 (L) = 0,4638 \text{ g}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan Sm 200 ppm sebanyak 2 Liter.

$$m = \frac{Mr_{\text{Sm}_2\text{O}_3}}{Ar_{\text{Sm}}} \times C \left(\frac{g}{l} \right) \times V (l) = \frac{348,72 \left(\frac{g}{mol} \right)}{150,36 \left(\frac{g}{mol} \right)} \times 0,2 \left(\frac{g}{l} \right) \times 2 (L) = 0,9276 \text{ g}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan Sm 400 ppm sebanyak 2 Liter.

$$m = \frac{Mr_{\text{Sm}_2\text{O}_3}}{Ar_{\text{Sm}}} \times C \left(\frac{g}{l} \right) \times V (l) = \frac{348,72 \left(\frac{g}{mol} \right)}{150,36 \left(\frac{g}{mol} \right)} \times 0,4 \left(\frac{g}{l} \right) \times 2 (L) = 1,8553 \text{ g}$$

Total massa kristal yang dibutuhkan : $0,2319 + 0,4638 + 0,9276 + 1,8553 = 3,4786 \text{ g}$

Lampiran 2.
Jumlah kontaminan yang diberikan

- 50 ppm sebanyak 20 mL setiap harinya selama 20 hari kerja

$$\frac{0,2319 \text{ g}}{2L} \times 0,02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0.04638 \text{ g}$$

- 100 ppm sebanyak 20 mL setiap harinya selama 20 hari kerja

$$\frac{0,4638 \text{ g}}{2L} \times 0,02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0.09276 \text{ g}$$

- 200 ppm sebanyak 20 mL setiap harinya selama 20 hari kerja

$$\frac{0,9276 \text{ g}}{2L} \times 0,02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0.18552 \text{ g}$$

- 400 ppm sebanyak 20 mL setiap harinya selama 20 hari kerja

$$\frac{3,4786 \text{ g}}{2L} \times 0,02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0.69572 \text{ g}$$

Lampiran 3. Data Hasil Penelitian

Data Konsentrasi Tanaman

Data Konsentrasi Samarium pada tanaman bunga matahari

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Berat Tanaman (kg)	Volume Pelarut (L)	Konsentrasi Samarium Pada Tanaman (mg/l)	Konsentrasi Samarium Pada Tanaman Sebenarnya (mg/kg)
0	1	0.00715	0.01	113.068	158.159
	2	0.00680	0.01	258.144	379.679
	3	0.00726	0.01	197.763	272.438
50	1	0.00786	0.01	223.208	284.124
	2	0.01275	0.01	335.135	262.913
	3	0.00789	0.01	292.902	371.467
100	1	0.00789	0.01	323.978	410.827
	2	0.01136	0.01	380.553	334.935
	3	0.00623	0.01	356.249	572.196
200	1	0.00732	0.01	382.252	522.131
	2	0.00614	0.01	340.244	554.414
	3	0.00888	0.01	397.842	448.273
400	1	0.00742	0.01	282.316	380.326
	2	0.01264	0.01	344.225	272.438
	3	0.01550	0.01	393.202	253.761

1. Konsentras kontaminan 0 ppm

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{113.068 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007149 \text{ kg}} = 158.158 \text{ mg/kg}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{258.144 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.006799 \text{ kg}} = 379.678 \text{ mg/kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{197.763 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007259 \text{ kg}} = 272.437 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

2. Konsentrasi kontaminan 50 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{223.208 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007856 \text{ kg}} = 284.124 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{335.134 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.012747 \text{ kg}} = 262.911 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{292.901 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007884 \text{ kg}} = 371.466 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

3. Konsentrasi kontaminan 100 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{323.978 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007886 \text{ kg}} = 410.826 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{380.553 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.011362 \text{ kg}} = 334.934 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{356.249 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.006225 \text{ kg}} = 572.195 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

4. Konsentrasi kontaminan 200 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{382.252 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007320 \text{ kg}} = 522.13 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{340.244 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.006136 \text{ kg}} = 554.413 \text{ mg/kg}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{397.841 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.008874 \text{ kg}} = 448.271 \text{ mg/kg}$$

5. Konsentrasi kontaminan 400 ppm

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{282.315 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.007422 \text{ kg}} = 380.326 \text{ mg/kg}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{344.225 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.012635 \text{ kg}} = 272.437 \text{ mg/kg}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}}$$

$$= \frac{393.202 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.01549 \text{ kg}} = 253.759 \text{ mg/kg}$$

Data Konsentrasi Tanah

Data konsentrasi samarium pada tanah sebelum dan sesudah dilakukan fitoremediasi

Konsentrasi Kontaminan	Berat Sampel (Kg)	Volume Pelarut (L)	Kadar Tanah Sebelum (mg/l)	Kadar Tanah Sesudah (mg/l)	Kadar Tanah Awal Sebenarnya (mg/kg)	Kadar Tanah Akhir Sebenarnya (mg/kg)
0	0.005	0.01	174.61	144.791	349.23	289.582
50	0.005	0.01		159.44		318.872
100	0.005	0.01		143.29		286.578
200	0.005	0.01		193.64		387.28
400	0.005	0.01		223.75		447.502

1. Kadar samarium pada tanah sebelum dilakukan fitoremediasi

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{174.614 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 349.228 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

2. Kadar samarium pada tanah setelah dilakukan fitoremediasi
 - 0 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{144.791 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 289.581 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

- 50 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{159.436 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 318.872 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

- 100 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{143.288 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 286.577 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

- 200 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{193.639 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 387.279 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

- 400 ppm

$$\begin{aligned}\text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{223.751 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 447.501 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

Data Konsentrasi Air

Data konsentrasi samarium pada air penyiraman tanaman bunga matahari

Kadar Samarium Pada Air (mg/l)	Jumlah Pemberian Pada Tanaman (L)	Volume Pengujian (L)	Kadar Samarium pada air sebenarnya (mg/l)	Rata-Rata
9.109	1.80	0.05	327.92	481.43
16.255	1.80	0.05	585.18	
14.755	1.80	0.05	531.18	

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume pemberian}}{\text{Volume larutan}}$$

$$= \frac{9.109 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 1.80 \text{ L}}{0.05 \text{ L}} = 327.92 \text{ mg/l}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume pemberian}}{\text{Volume Larutan}}$$

$$= \frac{16.255 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 1.80 \text{ L}}{0.05 \text{ L}} = 585.18 \text{ mg/l}$$

$$\text{Kadar sebenarnya} = \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume pemberian}}{\text{Volume larutan}}$$

$$= \frac{14.755 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 1.80 \text{ L}}{0.05 \text{ L}} = 531.18 \text{ mg/l}$$

Faktor Transfer

Data nilai faktor transfer samarium dari tanah ke tanaman bunga matahari

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Konsentrasi Samarium Pada Tanah Awal (mg/kg)	Jumlah Pemberian Kontaminan (mg)	Konsentrasi Samarium Pada Tanaman (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-Rata
0	1	349.228	0	158.159	0.453	0.774
	2			379.679	1.087	
	3			272.438	0.780	
50	1		46.38	284.124	0.718	0.774
	2			262.913	0.665	
	3			371.467	0.939	
100	1		92.76	410.827	0.929	0.994
	2			334.935	0.758	
	3			572.196	1.295	
200	1		185.52	522.131	0.976	0.950
	2			554.414	1.037	
	3			448.273	0.838	
400	1		695.72	380.326	0.364	0.289
	2			272.438	0.261	
	3			253.761	0.243	

- Konsentrasi Kontaminan 0 ppm

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{158.159 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)}{(349.228+0) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)} = 0.452$$

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{379.679 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)}{(349.228+0) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)} = 1.087$$

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{272.438 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)}{(349.228+0) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)} = 0.780$$

- Konsentrasi Kontaminan 50 ppm

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{284.124 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+46.379) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.718\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{262.912 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+46.379) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.664\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{371.467 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+46.379) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.938\end{aligned}$$

- Konsentrasi Kontaminan 100 ppm

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{410.826 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+92.759) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.929\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{334.934 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+92.759) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.757\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{572.195 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+92.759) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 1.294\end{aligned}$$

- Konsentrasi Kontaminan 200 ppm

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}} \\ &= \frac{522.130 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+185.519) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.976\end{aligned}$$

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{554.414 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+185.519) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 1.036$$

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{448.272 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+185.519) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.838$$

- Konsentrasi Kontaminan 400 ppm

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{380.326 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+695.720) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.363$$

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{272.437 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+695.720) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.2607$$

$$\text{Faktor Transfer} = \frac{\text{Konsentrasi Samarium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Samarium pada tanah}}$$

$$= \frac{253.760 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{(349.228+695.720) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.242$$

Lampiran 4.
Hasil Pengujian Kadar Samarium (Sm)



BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

DIREKTORAT PENGELOLAAN FASILITAS
KETENAGANUKLIRAN
Kawasan Puspiptek Gd. 31, Serpong 15314, Tangerang Selatan
Telp : (021) 7560908, Faks.: (021) 7560573,
E-mail : dit-pfk@brin.go.id

HASIL UJI X-RAY FLOURESCENCE
(X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS RESULT)
Rigaku NEX-QC

No.	Sampel	Konsentrasi (ppm)		
		Iodine	Strontium	Samarium
1	C2	-	28,139	-
2	C3	-	36,454	-
3	C4	-	56,068	-
4	C5	-	61,878	-
5	C6	-	70,312	-
6	C7	-	60,428	-
7	C8	-	71,972	-
8	C9	-	66,688	-
9	C10	-	100,064	-
10	C11	-	113,684	-
11	C12	-	177,34	-
12	C13	-	92,568	-
13	C14	-	161,646	-
14	C15	-	154,207	-
15	C16	-	294,568	-
16	D2	-	-	113,068
17	D3	-	-	258,144
18	D4	-	-	197,763
19	D5	-	-	223,208
20	D6	-	-	335,135
21	D7	-	-	323,978
22	D8	-	-	292,902
23	D9	-	-	380,553
24	D10	-	-	356,249
25	D11	-	-	382,252
26	D12	-	-	340,244
27	D13	-	-	397,842
28	D14	-	-	282,316
29	D15	-	-	344,225
30	D16	-	-	393,202
31	E2	257,818	-	-
32	E3	263,777	-	-
33	E4	292,274	-	-
34	E5	296,09	-	-
35	E6	351,549	-	-
36	E7	308,871	-	-
37	E8	300,362	-	-



**DIREKTORAT PENGELOLAAN FASILITAS
KETENAGANUKLIRAN**
Kawasan Puspiptek Gd. 31, Serpong 15314, Tangerang Selatan
Telp : (021) 7560908, Faks.: (021) 7560573,
E-mail : dit-pfk@brin.go.id

38	E9	331,982	-	-
39	E10	312,158	-	-
40	E11	262,495	-	-
41	E12	267,837	-	-
42	E13	265,014	-	-
43	E14	333,864	-	-
44	E15	227,155	-	-
45	E16	272,163	-	-
46	F2	230,521	186,453	144,791
47	F3	289,648	209,712	201,265
48	F4	266,188	179,306	177,788
49	G57	-	192,748	-
50	G810	-	188,584	-
51	G1113	-	184,727	-
52	G1416	-	177,416	-
53	H57	-	-	159,436
54	H810	-	-	143,289
55	H1113	-	-	193,64
56	H1416	-	-	223,751
57	I57	281,368	-	-
58	I810	296,428	-	-
59	I1113	275,378	-	-
60	I1416	296,219	-	-
61	Air 1	16,669	7,521	9,109
62	Air 2	17,497	8,273	16,255
63	Air 3	16,206	10,263	14,766

Laboran,

TT ELEKTRONIK

Ivana Octavianita, A.Md
NIP. 199510212019022002

Lampiran 5. Data Hasil Uji Statistik

a. Uji One Way ANOVA

- Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Samarium Terserap

ANOVA

KonsentrasiTerserap

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	127394.857	4	31848.714	4.202	.030
Within Groups	75788.968	10	7578.897		
Total	203183.824	14			

- Konsentrasi Kontaminan Terhadap Nilai Faktor Transfer Samarium Dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari

ANOVA

FaktorTransfer

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.938	4	.235	5.545	.013
Within Groups	.423	10	.042		
Total	1.362	14			

b. Uji Lanjutan DMRT

- Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Samarium Terserap

KonsentrasiTerserap

Duncan^a

KonsentrasiDopping	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0	3	270.09333	
400	3	302.17667	
50	3	306.16667	
100	3	439.32000	439.32000
200	3		508.27000
Sig.		.051	.355

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

- Konsentrasi Kontaminan Terhadap Nilai Faktor Transfer Samarium Dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari

FaktorTransfer

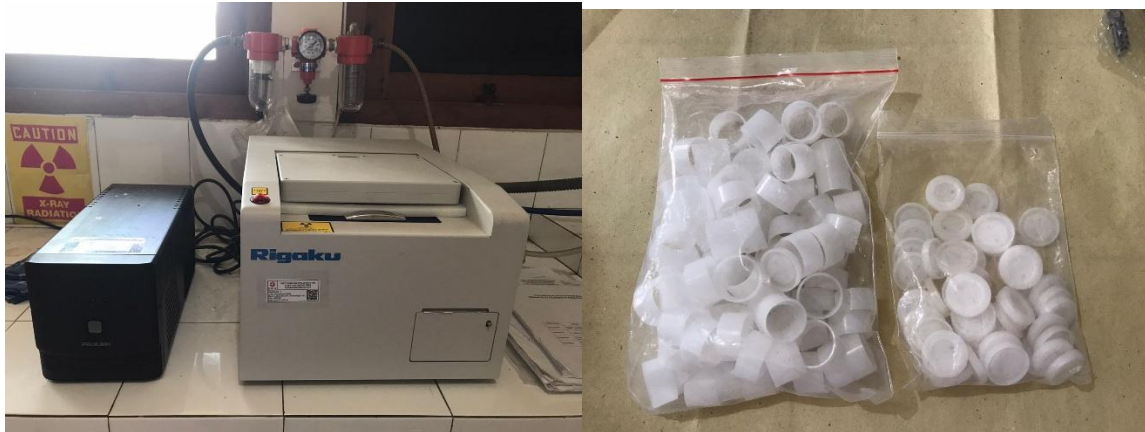
Duncan^a

KonsentrasiKontaminan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
400	3	.28933	
0	3		.77333
50	3		.77400
200	3		.95033
100	3		.99400
Sig.		1.000	.248

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian



Alat XRF (X-Ray Flourence) dan Sampel cup



Proses Aklimatisasi Tanaman



Pembuatan cairan kontaminan



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 50 ppm



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 100 ppm



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 200 ppm



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 400 ppm



Sampel siap uji



Sampel siap destruksi