

**FITOREMEDIASI PRODUK FISI STRONSIUM-90 YANG  
DIMODELKAN DENGAN STRONSIUM-88 MENGGUNAKAN BUNGA  
MATAHARI (*Helianthus annuus L.*) UNTUK DEKOMISIONING  
FASILITAS NUKLIR**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
MAULUDIAH NIKMATULLAH  
NIM.19640063**



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

**HALAMAN PENGAJUAN**

**FITOREMEDIASI PRODUK FISI STRONSIUM-90 YANG  
DIMODELKAN DENGAN STRONSIUM-88 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:  
MAULUDIAH NIKMATULLAH  
NIM.19640063**

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

## HALAMAN PERSETUJUAN

FITOREMEDIASI PRODUK FISI STRONSIUM-90 YANG DIMODELKAN  
DENGAN STRONSIUM-88 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI  
(*Helianthus annuus L.*) UNTUK DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR

### SKRIPSI

Oleh:  
MAULUDIAH NIKMATULLAH  
NIM.19640063

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada Tanggal: 16 Juni 2023

Pembimbing I



Dr. H. M. Tirono, M.Si  
NIP. 19641211 199111 1 001

Pembimbing II



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

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



Dr. Iman Fazi, M.Si  
NIP. 19670701 200312 1 002



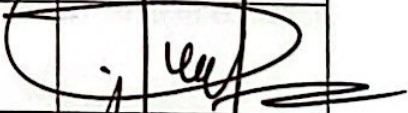

## HALAMAN PENGESAHAN

FITOREMEDIASI PRODUK FISI STRONSIUM-90 YANG DIMODELKAN  
DENGAN STRONSIUM-88 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI  
(*Helianthus annuus L.*) UNTUK DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR

### SKRIPSI

Oleh:  
MAULUDIAH NIKMATULLAH  
NIM.19640063

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 20 April 2023

Penguji Utama	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Ketua Penguji	<u>Arista Romadani, M.Sc</u> NIP. 19900905 201903 1 018	
Sekretaris Penguji	<u>Dr. H. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi



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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mauludiah Nikmatullah

NIM : 19640063

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Fitoremediasi Produk Fisi Stronsium-90 yang Dimodelkan dengan Stronsium-88 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 Juni 2023

Yang Membuat Pernyataan



Mauludiah Nikmatullah

NIM.19640063

## MOTTO

مَنْ جَدَّ وَجَدَ

“it ain't easy but i'll make it through”

“Kita nggak pernah mempersulit orang lain, insyaallah kita nggak akan dipersulit” – Umik

## HALAMAN PERSEMBAHAN

- Kepada Abi **Ahmad Zainurrifan** dan Ibu **Luluk Yuli Wulandari**, karya ini adalah buah kesabaran dan keikhlasan kalian dalam membesarkan penulis. Karya ini juga menjadi bukti dan pengingat bagi penulis bahwa di masa mendatang setiap kesulitan yang datang pasti akan mendapati jalan keluar.
- Kepada Mas **Akbar Hidayatullah** dan Adik **Akmal Rahmatullah** selaku supporter favorite saya.
- Kepada diri sendiri, terimakasih sudah bertahan sejauh ini.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Fitoremediasi Produk Fisi Stronsium-90 yang Dimodelkan dengan Stronsium-88 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir” Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kita dari zaman jahiliyah menuju zaman ilmiah seperti sekarang.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun Skripsi ini banyak mendapat dukungan, bimbingan bantuan dan kemudian dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Dengan ketulusan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H.M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.

5. Bapak Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku Dosen Pembimbing Integrasi Sains dan Islam yang senantiasa membantu memberikan arahan terhadap permasalahan integrasi dalam skripsi ini.
6. Bapak Prasetyo Haryo Sadewo, S.T selaku Dosen Pembimbing MBKM yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
7. Segenap pegawai Badan Riset dan Inovasi Nasional Bidang DPFK Reaktor Kartini yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu dalam proses penyusunan skripsi.
8. Umik, Abi, Kakak, dan Adik serta keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan agar penulis senantiasa diberikan kelancaran dalam melaksanakan segala hal.
9. Teman-teman saya yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.

Dalam penyusunan Skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, panulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain

Yogyakarta, 22 Oktober 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
مستخلص البحث.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Dekomisioning Fasilitas Nuklir.....	9
2.2 Stronsium-90.....	8
2.3 Fitoremediasi.....	14
2.4 Bunga Matahari ( <i>Helianthus annuus L.</i> ).....	19
2.5 Hipotesis.....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	21
3.3 Alat dan Bahan.....	21
3.3.1 Alat.....	21
3.3.2 Bahan.....	22
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	24
3.5.1 Penyiapan Tanaman Uji.....	24
3.5.2 Penyiapan Media Tanah.....	24
3.5.3 Pembuatan Larutan Kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .....	24
3.5.4 Penanaman Bunga Matahari.....	25

3.5.5 Pemaparan Kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada Tanah.....	25
3.5.6 Destruksi Sampel.....	26
3.5.7 Pengambilan Data.....	26
3.5.8 Analisis Data .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	30
4.1.1 Pengaruh Konsentrasi $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari.....	30
4.1.2 Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terhadap Nilai Faktor Transfer pada Tanaman Bunga Matahari.....	34
4.2 Pembahasan.....	37
4.3 Kajian Integrasi Islam .....	42
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran.....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Reaksi Fisi .....	6
Gambar 2. 2. Skema Peluruhan Stronsium-90 .....	9
Gambar 2. 3. Mekanisme Penyerapan Stronsium pada Tanaman.....	14
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian .....	23
Gambar 4. 1. Grafik Perbandingan Jumlah Akumulasi $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada Bunga Matahari dengan Konsentrasi Kontaminan.....	31
Gambar 4. 2. Grafik Perbandingan Faktor Transfer terhadap Jumlah Konsentrasi Kontaminan yang Diberikan.....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Pengambilan Data Konsentrasi Terakumulasi .....	27
Tabel 3. 2. Pengambilan Data Kandungan Stronsium dalam Tanah .....	28
Tabel 4. 1. Perbandingan Konsentrasi Kontaminan yang Terakumulasi Dengan Jumlah yang Diberikan .....	31
Tabel 4. 2. Hasil Uji Anova Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari .....	33
Tabel 4. 3. Data Uji Lanjut DMRT Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari.....	33
Tabel 4. 4. Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Nilai Faktor Transfer pada Tanaman Bunga Matahari.....	35
Tabel 4. 5. Analisis ANOVA Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Nilai Faktor Transfer pada Tanaman Bunga Matahari.....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Larutan Kontaminan .....	54
Lampiran 2. Perhitungan Jumlah kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang Diberikan .....	55
Lampiran 3. Data Konsentasi Tanaman .....	56
Lampiran 4. Data Konsentrasi Tanah.....	58
Lampiran 5. Data Konsentrasi Air .....	59
Lampiran 6. Data Faktor Transfer.....	60
Lampiran 7. Hasil Pengujian Kadar Stronsium (Sr) .....	65
Lampiran 8. Data Hasil Uji Statistik.....	67
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian.....	68

## ABSTRAK

Nikmatullah, Mauludiah. 2023. **Fitoremediasi Produk Fisi Stronsium-90 yang Dimodelkan dengan Stronsium-88 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus Annuus L*) untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. H. M. Tirono, M.Si (II) ) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

---

**Kata Kunci:** Fitoremediasi; Stronsium-90; Dekomisioning; Tanaman Bunga Matahari

Fasilitas nuklir yang tidak lagi digunakan harus didekomisioning karena dapat menimbulkan bahaya bagi lingkungan karena menghasilkan sejumlah zat dan produk radioaktif, salah satunya yaitu  $^{90}\text{Sr}$ . Tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) dapat dipertimbangkan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi  $^{90}\text{Sr}$  dari dekomisioning fasilitas nuklir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan terhadap akumulasi dan faktor transfer pada tanaman bunga matahari. Penelitian ini memodelkan produk fisi  $^{90}\text{Sr}$  dengan  $^{88}\text{Sr}$ . Tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) ditanam pada tanah yang diambil dari sekitar fasilitas nuklir yang setiap harinya diberi kontaminan dengan variasi 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm selama 28 hari. Banyaknya  $^{90}\text{Sr}$  yang diakumulasi oleh tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) diamati dengan cara mengukur aktivitas  $^{90}\text{Sr}$  dalam tanaman menggunakan X-ray fluorescence, sedangkan nilai faktor transfer ditentukan dengan cara membandingkan konsentrasi stronsium yang diakumulasi oleh tanaman terhadap konsentrasinya dalam tanah. Dari penelitian ini diperoleh nilai akumulasi stronsium tertinggi yaitu pada konsentrasi kontaminan 400 ppm sebesar 207.556 mg/kg. Faktor transfer tertinggi yaitu pada konsentrasi kontaminan 50 ppm sebesar 0.272. Variasi konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  berpengaruh terhadap konsentrasi akumulasi strontium pada tanaman bunga matahari. Semakin tinggi konsentrasi strontium dalam tanah, semakin banyak strontium yang diserap tanaman bunga matahari. Jumlah stronsium tertinggi yang dapat diakumulasi oleh tanaman bunga matahari sebesar 207.556 mg/kg diperoleh saat penambahan konsentrasi kontaminan 400 ppm dalam media tanam. Kadar strontium paling rendah ketika kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tidak ditambahkan ke dalam media tanam. Konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tidak berpengaruh pada faktor transfer tanaman bunga matahari. Kisaran faktor transfer strontium pada tanaman bunga matahari adalah 0,094-0,272. Nilai faktor transfer lebih dari 1 menunjukkan bahwa tanaman memiliki kemampuan meremediasi.

## ABSTRACT

Nikmatullah, Mauludiah. 2023. **Phytoremediation of Strontium-90 Fission Products Modeled on Strontium-88 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. Advisor : (I) Dr. H. M. Tirono, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

---

**Key word:** Phytoremediation; Strontium-90; Decommissioning; Sunflower Plants

Nuclear facilities that are no longer in use must be decommissioned. They can harm the environment because they produce some radioactive substances and products, one of which is  $^{90}\text{Sr}$ . Sunflower plants (*Helianthus annuus L.*) can be considered phytoremediators of soil contaminated with  $^{90}\text{Sr}$  from decommissioning nuclear facilities. This study aims to determine the effect of contaminant concentration on accumulation and transfer factors in sunflower plants. This study modeled the fission product  $^{90}\text{Sr}$  with  $^{88}\text{Sr}$ . Sunflower plants (*Helianthus annuus L.*) were planted in soil taken from around the nuclear facility, which was given contaminants every day with variations of 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, and 400 ppm for 28 days. The amount of  $^{90}\text{Sr}$  accumulated by sunflower plants (*Helianthus annuus L.*) observed by measuring the activity  $^{90}\text{Sr}$  in plants using X-ray fluorescence. At the same time, the transfer factor value was determined by comparing the strontium concentration accumulated by plants to its concentration in the soil. This study obtained the highest strontium accumulation value at a contaminant concentration of 400 ppm, amounting to 207,556 mg/kg. The highest transfer factor is at a contaminant concentration of 50 ppm of 0.272. Variations in the concentration of  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  contaminants affect the concentration of strontium accumulation in sunflower plants. The higher the concentration of strontium in the soil, the more strontium the sunflower plants absorb. The highest amount of strontium that can be accumulated by sunflower plants is 207,556 mg/kg obtained when a contaminant concentration of 400 ppm is added to the planting medium. Strontium levels were lowest when  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  was not added to the growing medium. The contaminant concentration of  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  had no effect on sunflower plant transfer factors. The range of strontium transfer factor in sunflower plants is 0.094-0.272. A transfer factor value of more than 1 indicates that the plant has the ability to remediate.

## مستخلص البحث

نعمة الله، ما لودية. ٢٠٢٣. المعالجة النباتية لمنتجات الانشطار  $^{90}\text{Sr}$  مع عباد الشمس (*Helianthus annuus L.*) لإيقاف تشغيل المرافق النووية. أطروحة. برنامج دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفون: (الدكتور محمد تيرونو الماجستير ٢ (احمد ابطاكي الماجستير).

**الكلمات الرئيسية:** العلاج بالنباتات؛  $^{90}\text{Sr}$ ؛ إيقاف نباتات عباد الشمس

يجب إيقاف تشغيل المنشآت النووية التي لم تعد قيد الاستخدام لأنها يمكن أن تشكل خطرًا على البيئة لأنها تنتج عددًا من المواد والمنتجات المشعة، أحدها  $^{90}\text{Sr}$ . يمكن اعتبار نبات عباد الشمس (*Helianthus annuus L.*) معالجًا نباتيًا للتربة الملوثة  $^{90}\text{Sr}$  من إيقاف تشغيل المنشآت النووية. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير تركيز الملوثات على عوامل التراكم والانتقال في نباتات عباد الشمس. نماذج هذا البحث مع  $^{88}\text{Sr}$  منتجات الانشطار  $^{90}\text{Sr}$ . زرعت نباتات عباد الشمس (*Helianthus annuus L.*) في تربة مأخوذة من المنطقة المجاورة للمنشأة النووية والتي تم إعطاؤها ملوثات كل يوم بتغيرات قدرها 0 جزء في المليون و 50 جزء في المليون و 100 جزء في المليون و 200 جزء في المليون و 400 جزء في المليون لمدة 28 يومًا. تمت ملاحظة الكمية  $^{90}\text{Sr}$  المتراكمة بواسطة نباتات عباد الشمس من خلال قياس النشاط ( $^{90}\text{Sr}$ ) في النباتات المستخدمة *X-ray fluorescence*، بينما تم تحديد قيمة عامل النقل بمقارنة تركيز السترونشيوم المتراكم بالنبات مع تركيزه في التربة. من هذه الدراسة، تم الحصول على أعلى قيمة لتراكم السترونشيوم عند تركيز الملوث 400 جزء في المليون من 207,556 مجم / كجم. كان أعلى عامل نقل عند 50 جزء في المليون من تركيز الملوثات البالغ 0.272. تؤثر الاختلافات في تركيز الملوثات  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  على تركيز السترونشيوم المتراكم في نباتات عباد الشمس. كانت نباتات عباد الشمس قادرة على امتصاص السترونشيوم بشكل أفضل عند تركيز 400 جزء في المليون من التربة الملوثة بالسترونشيوم. تتأثر قيمة عامل نقل السترونشيوم من التربة إلى نباتات عباد الشمس بتركيز الملوثات  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  المطبقة على التربة. تتأثر قيمة عامل نقل السترونشيوم بوفرة وجود الكالسيوم في التربة.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Fasilitas nuklir umumnya terdiri dari beberapa komponen, salah satunya, reaktor nuklir, fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, dll (Nuklir, 2003). Fasilitas nuklir yang berlokasi di Yogyakarta telah berusia lebih dari 30 tahun (Pandi, 2013), dimana usia tersebut tergolong tua dan dapat mengancam keselamatan fasilitas nuklir tersebut. Hal ini dikarenakan keselamatan pengoprasiaanya semakin menurun.

Setelah masa operasi fasilitas nuklir berakhir, maka fasilitas nuklir tersebut tidak aman untuk dioperasikan dan juga membahayakan keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan sekitar. Jadi, fasilitas nuklir segera dihentikan operasinya (Sutoto, 2011). Sebuah bangunan yang tidak lagi digunakan dan mengandung bahan radioaktif harus di dekomisioning (Hasriyasti Saptowati, 2011). Oleh karena itu perlu direncanakan dekomisioning pada fasilitas nuklir tersebut.

Menurut UU no.10 tahun 1997 dekomisioning adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya reaktor nuklir secara tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, pembongkaran komponen reaktor, dekontaminasi, dan pengamanan akhir. Di indonesia dekomisioning pernah satu kali dilakukan untuk fasilitas Pemurnian Asam Fosfat PT. Petrochemical Gresik (Zainus Salimin, 2008). Sedangkan pada fasilitas nuklir belum ada yang menyelesaikan proses dekomisioning. Fasilitas nuklir yang telah ditutup tetapi tidak di dekommissioning masih dapat menimbulkan bahaya bagi

lingkungan karena menghasilkan sejumlah zat dan produk radioaktif (Setiawati, 2004). Salah satunya yaitu  $^{90}\text{Sr}$ .

$^{90}\text{Sr}$  merupakan partikel radioaktif yang berasal dari reaktor, pembuangan limbah radioaktif, percobaan peledakan nuklir, atau kontaminasi oleh instalasi yang menggunakan bahan radioaktif tersebut.  $^{90}\text{Sr}$  memiliki waktu paruh 28,78 tahun, sehingga dapat mencemari air tanah dari waktu ke waktu karena dapat ditemukan baik di darat maupun di air (Ngasifudin Hamdani, 2000). Bahaya limbah  $^{90}\text{Sr}$  yang tertimbun di dalam tanah selama dekomisioning fasilitas nuklir perlu dikaji karena tanah harus dibersihkan dan diproses sebelum dapat digunakan kembali untuk tujuan baru (Hasriyasti Saptowati, 2011).

Tanah yang tercemar limbah radionuklida umumnya sulit untuk dipulihkan karena tidak mengalami biodegradasi. Pencemaran limbah radionuklida hanya dapat diremediasi dengan pengambilan atau pembuangan limbah radionuklida dari dalam tanah. Teknologi yang paling umum digunakan untuk membersihkan limbah radionuklida adalah dengan mengekstraksi dan menimbun tanah. Namun metode tersebut dapat merusak struktur tanah sehingga menurunkan produktivitas tanah, membutuhkan banyak energi, peralatan mahal, dan sulit digunakan dalam skala besar (Jadia, 2009).

Aktivitas manusia yang tidak memperhatikan keseimbangan ekosistem lingkungan membuat manusia menjadi sewenang-wenang dalam hubungannya dengan lingkungannya sendiri. Padahal ada banyak makhluk Allah SWT di muka bumi, akan tetapi hanya manusia yang disebut sebagai perusak bumi. Seperti halnya yang telah disebutkan dalam QS. Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

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

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).”

Ayat ini dengan jelas menyatakan bahwa segala kerusakan di muka bumi adalah akibat ulah manusia dan akibatnya akan kembali kepada manusia itu sendiri. Jika tidak segera dihentikan, akibat kehancuran ini akan dirasakan oleh seluruh penghuni bumi tanpa terkecuali. Dalam pengendalian limbah Stronsium-90 yang tercemar diperlukan metode lain yang lebih efisien dan murah salah satunya yaitu fitoremediasi.

Fitoremediasi adalah cara untuk membantu memulihkan kesehatan tanah dari kontaminan radioaktif dengan menggunakan tanaman sebagai bagian dari proses pemulihan (Poppy Intan Tjahaja, 2007). Keunggulan fitoremediasi dibandingkan metode pengolahan limbah lainnya adalah dapat dilakukan secara in-situ atau ex-situ sehingga lebih mudah dilaksanakan dan lebih murah. Fitoremediasi dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, dan dapat mengurangi sejumlah besar kontaminan (D. D. Santriyana, 2013).

Fitoremediasi umumnya menggunakan tumbuhan yang bersifat hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator memiliki tingkat laju penyerapan dan translokasi logam seratus kali lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan normal saat mengalami penurunan produksi atau keracunan logam (Hidayati, 2013). Tumbuhan hiperakumulator yang sering dimanfaatkan adalah tumbuhan non pangan seperti bunga matahari (*Helianthus annuus*, Less).

Pengaplikasian Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) sebagai remediator tanah telah dibuktikan pada tanah pasca bencana Chernoby terbukti mampu mengurangi  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  (Soudek, 2006). Begitupula pada penelitian yang dilakukan oleh (Rifaldi, 2022) Tanaman bunga matahari mampu menyerap Hg sebesar 0,0001 pada umur 2 minggu setelah tanam. Penelitian yang dilakukan oleh (Hadiyanto, 2018) menunjukkan bahwa  $^{134}\text{Cs}$  dan  $^{60}\text{Co}$  terakumulasi paling banyak pada bagian daun. dan akumulasi tertinggi  $^{60}\text{Co}$  diamati di bagian akar. Penelitian yang dilakukan oleh (Poppy Intan Tjahaja, 2007) mengatakan bahwa tanaman bunga matahari tetap tumbuh normal walau ditanam pada media tanah dengan konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  557 Bq/g, sehingga dapat dikatakan bahwa bunga matahari mempunyai radiosensitivitas tinggi.

Oleh karena itu tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) dapat dipertimbangkan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi  $^{90}\text{Sr}$  dari dekomisioning fasilitas nuklir. Upaya ini diharapkan dapat dilakukan secara cepat dan efisien guna menjaga kelestarian lingkungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi kontainan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap jumlah stronsium yang terakumulasi pada tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*)?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap faktor transfer pada tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*)?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang sesuai dengan judul pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontainan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap jumlah stronsium yang terakumulasi pada tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*).
1. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap faktor transfer pada tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*).

### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberi alternatif dekomisioning fasilitas nuklir di masa mendatang secara ramah lingkungan dengan menggunakan metode bioremediasi Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) dalam menyerap Stronsium-90.
2. Memberi informasi mengenai kemampuan bioremediasi Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) oleh produk fisi Stronsium-90.

### 3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang sesuai dengan judul pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tanaman Bunga Matahari yang digunakan berusia 3 minggu
2. Produk fisi yang digunakan hanya Stronsium-90 yang dimodelkan dengan Stronsium-88.
3. Penelitian ini menitikberatkan pada konsep dekomisioning dimasa yang akan datang dengan fitoremediasi.

## BAB II

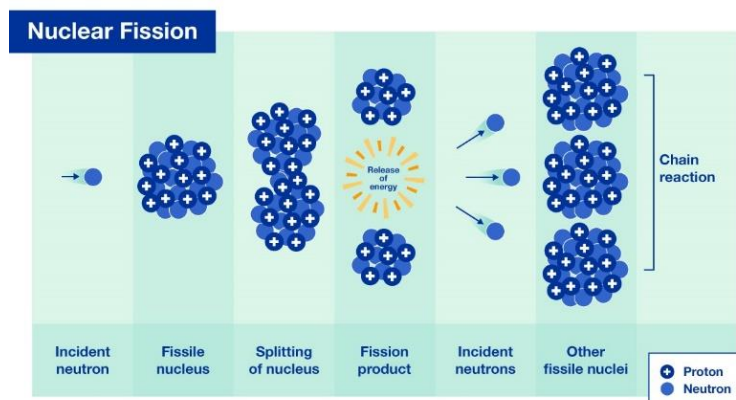
### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Dekomisioning Fasilitas Nuklir

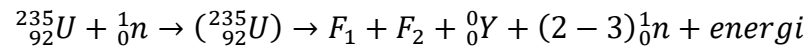
Sebuah fasilitas nuklir umumnya terdiri dari beberapa komponen, seperti: reaktor nuklir, fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan atau pengolahan ulang bahan nuklir bekas, serta fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan nuklir bekas (Nuklir, 2003).

Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi itu. Reaktor nuklir ditetapkan sebagai alat yang menggunakan materi nuklir sebagai bahan bakarnya. Materi fisi yang digunakan sebagai bahan bakar misalnya uranium, plutonium dan lain-lain. Untuk uranium digunakan uranium alam atau uranium diperkaya.

Reaksi inti berantai yang terjadi didalam reaktor adalah reaksi antara neutron ( ${}^1_0n$ ) dengan inti atom Uranium-235 ( ${}^{235}_{92}U$ ) yang disebut reaksi fisi sehingga menghasilkan energi, beberapa partikel neutron dan produk fisi (F1 F2) berdasarkan reaksi berikut (R.A, 1981):



**Gambar 2. 1.** Reaksi Fisi



Reaksi nuklir pada inti  ${}^{235}\text{U}$  menghasilkan dua inti baru yang merupakan pembelahan inti  ${}^{235}\text{U}$ . Reaksi inti disebut reaksi fisi sedangkan produknya disebut produk fisi. Produk fisi yang dihasilkan berupa berbagai jenis unsur yang sebagian besar bersifat radioaktif. Selain radiasi, sifat radioaktif ini menghasilkan panas sisa lama setelah reaksi fisi berakhir. Panas sisa ini dikaitkan dengan aktivitas peluruhan produk radioaktif yang menumpuk di inti, menghasilkan inti non-radioaktif yang lebih stabil. Oleh karena itu, ini disebut panas peluruhan (Anhar R. Antariksawan, 2017)

Selain itu, reaksi fisi juga menghasilkan 2-3 neutron per fisi. Akibatnya, rantai reaksi nuklir dapat terjadi karena neutron yang dihasilkan berinteraksi dengan inti  ${}^{235}\text{U}$  lainnya. Karena jumlah neutron yang dihasilkan lebih tinggi dari interaksi pertama, jumlah reaksi nuklir meningkat dengan cepat dan energi yang dihasilkan dari setiap interaksi terakumulasi menjadi jumlah yang sangat besar (Anhar R. Antariksawan, 2017). Produk fisi yang dihasilkan selama reactor beroperasi diantaranya  $\text{I}^{131}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  (Istofa, 2015) dan  ${}^{99}\text{Mo}$  (Puradwi Ismu Wahyono, 2020).

Reaktor nuklir dalam kondisi normal semestinya tidak melepaskan produk fisi, tetapi pada kenyataannya produk fisi dapat terlepas selama aliran air pendingin yang mengakibatkan kebocoran cairan atau uap yang terkontaminasi. Fasilitas pengolahan limbah dan laboratorium rentan terhadap kontaminasi oleh konstituen lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Akhirnya fasilitas tersebut memiliki bahan radioaktif dengan berbagai sifat dalam zat padat, cair, dan udara (Istofa,

2015). Oleh karena itu perlu direncanakan dekomisioning pada fasilitas nuklir tersebut.

Teknik dekomisioning reaktor riset umumnya memiliki tiga pilihan: penyimpanan yang aman, penguburan dan dekontaminasi. Umumnya pilihan ketiga dipilih yaitu dekontaminasi segera dan penggunaan tapak tanpa batas (IAEA, 1993). Teknik dekomisioning dengan metode dekontaminasi ini menggunakan tapak yang tidak dibatasi dan kegiatan ini mengekstraksi bahan bakar nuklir bekas dari teras reaktor untuk dibuang atau disimpan di lokasi yang lebih aman dan dimulai dengan pengangkutan. Pemindahan air pendingin yang terkontaminasi diikuti dengan dismantling atau pembongkaran semua komponen (IAEA, 1993). Fasilitas nuklir telah didekontaminasi dan didismantling menjadi radionuklida residu yang sangat rendah, memungkinkan penggunaan tapak yang tidak terbatas dan aman. (Sutoto, 2011)

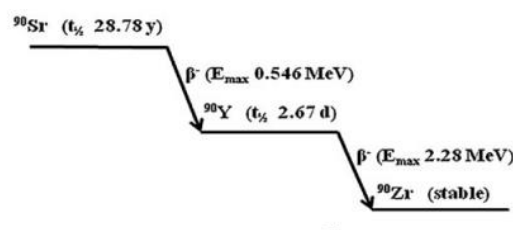
Pada dekomisioning suatu fasilitas nuklir, kontaminasi udara oleh zat radioaktif dapat berasal dari dekontaminasi, pembersihan dan pembongkaran komponen peralatan. Apabila disertai dengan pembongkaran dinding beton reaktor, maka tingkat pencemaran zat radioaktif akan lebih besar lagi (Wardhana, 1994). Radionuklida yang keluar pada saat dekomisioning dan dekontaminasi suatu fasilitas nuklir tergantung kepada jenis dan fungsi fasilitas nuklir tersebut. Sebagai contoh, pada saat dekomisioning reaktor daya nuklida-nuklida yang akan keluar adalah  $I^{131}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , dan  $\text{Cs}^{137}$  (Istofa, 2015).

## 2.2 Stronsium-90

Stronsium adalah unsur alami dan umum terjadi. Strontium dapat dijumpai dalam dua keadaan oksidasi: 0 dan +2. Pada keadaan oksidasi +2 stronsium cukup

stabil dalam kondisi lingkungan normal. Strontium murni adalah logam keras berwarna putih, tetapi tidak ditemukan di lingkungan. Sebaliknya, strontium biasanya ditemukan di alam dalam bentuk mineral. Strontium dapat membentuk berbagai senyawa. Jenis senyawa strontium ada dua yakni yang larut dalam air dan yang tidak. Strontium alami tidak mengandung radioaktif dan terbagi menjadi empat jenis isotop yang stabil. Masing-masing isotop dapat ditulis sebagai  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ , dan  $^{88}\text{Sr}$ . Keempat isotop berperilaku sama secara kimiawi, jadi kombinasi dari keempatnya akan memiliki efek kimiawi yang sama pada tubuh (Alfred F. Dorsey, 2004).

$^{90}\text{Sr}$  adalah isotop radioaktif paling berbahaya dari unsur kimia strontium. Strontium-90 adalah salah satu produk fisi utama dari  $^{235}\text{U}$  dengan hasil fisi sebesar 5,93%; dan dapat diklasifikasi sebagai larutan limbah cair tingkat tinggi (HLLW) yang memproses ulang bahan bakar nuklir berair. Larutan yang mengandung radioaktif tinggi setelah pemulihan Pu dan U dikenal sebagai HLLW, mengandung  $^{90}\text{Sr}$  bersama dengan produk fisi lainnya dan aktinida minor (Rubel Chakravarty, 2012). Setiap unsur radioaktif, termasuk strontium terus-menerus mengeluarkan radiasi dan mengubahnya menjadi isotop unsur lain atau isotop berbeda dari unsur yang sama. Proses ini disebut peluruhan radioaktif.



**Gambar 2. 2.** Skema Peluruhan Stronsium-90

$^{90}\text{Sr}$  mengeluarkan partikel beta atau radiasi beta dan berubah menjadi  $^{90}\text{Y}$ . Waktu paruh radioaktif adalah waktu yang dibutuhkan oleh setengah dari isotop

strontium radioaktif untuk melepaskan radiasinya dan berubah menjadi unsur yang berbeda.  $^{90}\text{Sr}$  memiliki waktu paruh 28,78 tahun.  $^{90}\text{Sr}$  penggunaannya terbatas dan dianggap sebagai produk limbah (Martell, 1959).

Senyawa strontium yang stabil dan radioaktif di udara dapat berupa debu. Sebagian besar strontium di udara dalam bentuk strontium stabil. Partikel debu yang sangat kecil dari strontium stabil dan radioaktif di udara jatuh dari udara ke permukaan air, permukaan tanaman, dan tanah baik dengan sendirinya atau saat hujan. Partikel strontium ini akhirnya berakhir kembali di tanah atau sungai (Alfred F. Dorsey, 2004).

Di air sebagian besar bentuk strontium stabil dan radioaktif dilarutkan. Strontium stabil yang larut dalam air berasal dari strontium di bebatuan dan tanah yang airnya mengalir terus menerus. Hanya sebagian kecil dari strontium yang ditemukan dalam air berasal dari pengendapan debu strontium di udara (Sri Murniasih, 2019). Beberapa strontium tersuspensi dalam air. Strontium ditemukan secara alami di tanah dalam jumlah yang bervariasi pada rentang yang luas, tetapi konsentrasi tipikal adalah 0,2 mg/kg tanah. Umumnya, jumlah  $^{90}\text{Sr}$  dalam tanah sangat kecil dan hanya sebagian kecil dari total konsentrasi strontium dalam tanah. Sebagian besar strontium yang stabil dan radioaktif dalam tanah larut dalam air, sehingga kemungkinan besar akan bergerak lebih dalam ke dalam tanah dan memasuki air tanah. Namun, senyawa strontium dapat tinggal di tanah selama bertahun-tahun tanpa bergerak ke bawah ke air tanah. Di lingkungan, reaksi kimia dapat mengubah senyawa strontium stabil dan radioaktif yang larut dalam air menjadi bentuk yang tidak larut. Dalam beberapa kasus, senyawa strontium yang

tidak larut dalam air dapat berubah menjadi bentuk yang larut. (Alfred F. Dorsey, 2004).

Stronsium-90 berperilaku biokimia seperti kalsium yang terakumulasi dalam tulang, sehingga memiliki konsekuensi biologis yang signifikan (Khakim, 2018). Stronsium juga dapat diserap oleh akar tanaman melalui tanah dan daun setelah pengendapan di udara (Flockhart DTT, 2015). Stronsium diambil oleh tanaman karena banyak senyawa yang sangat tersedia secara hayati untuk tanaman. Dengan demikian  $^{90}\text{Sr}$  masuk ke dalam rantai makanan dan dapat menimbulkan risiko radiologis bagi konsumen. Radionuklida ini juga bermigrasi cukup cepat di lingkungan terutama karena keberadaannya dalam bentuk kompleks yang larut dalam air (Gupta DK, 2018). Tanah dan air yang mengandung radiostrontium dapat memberikan efek kesehatan yang merugikan pada manusia, meningkatkan risiko kanker dan menyebabkan kelainan tulang karena kontak yang terlalu lama dengan  $^{90}\text{Sr}$  (Dahl SG, 2001).

Allah berfirman dalam Al-Qur'an Surat Al-A'raf Ayat 58:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًّا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ  
يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

Artinya: “Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan izin Tuhan; dan tanah yang buruk, tanaman-tanamannya yang tumbuh merana. Demikianlah Kami menjelaskan berulang-ulang tanda-tanda (kebesaran Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (QS. Luqman: 10).

Ayat ini menjelaskan jenis-jenis tanah di bumi, baik dan buruk. Tanah subur jika dicurahi hujan sedikit saja maka semua jenis tanaman dapat tumbuh dan menghasilkan makanan berlimpah. Tetapi ada juga yang tidak baik, meskipun hujan deras tanaman tetap merana dan tidak dapat bermanfaat. Karena keberadaan radionuklida di tanah sering mengancam stabilitas ekosistem dan menimbulkan

resiko serius bagi kesehatan (Dushenkov., 2003). Penting bagi kita untuk menjaga kesuburan tanah agar dapat bermanfaat bagi makhluk hidup.

Radiostrontium dilepaskan ke lingkungan sebagai konsekuensi dari dampak global karena uji coba senjata nuklir di atmosfer pada 1950-1960-an, dan kecelakaan yang melibatkan bahan nuklir, yang paling penting adalah Chernobyl (1986) dan Fukushima Daiich (2011). Jumlah yang dirilis  $^{90}\text{Sr}$  diperkirakan dalam 622 PBq untuk dampak global, 10 PBq untuk Chernobyl dan  $3,3 \times 10^3 - 0,14$  PBq untuk Fukushima Daiichi (UNSCEAR, 2000)

Dalam pengendaliannya stronsium-90 dapat dianalisis menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF). *X-ray fluorescence* (XRF) adalah alat uji untuk analisis unsur secara kualitatif dan kuantitatif yang terkandung dalam materi.

*X-ray fluorescence* (XRF) memiliki banyak keunggulan yaitu analisis yang tidak merusak, multi-elemen (Sumantry, 2009), preparasi sampel yang sederhana, waktu pengukuran relatif singkat (Rosika K., 2007) sampel yang diperlukan relatif kecil (sekitar 1 gram), dapat menentukan hampir semua kandungan mineral dalam material biologis, memiliki akurasi dan ketelitian yang tinggi (Algafari B. Manggara, 2018).

Prinsip kerja XRF adalah atom bertabrakan dengan permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-x. Interaksi ini menghasilkan efek fotolistrik pada atom-atom di permukaan material. Dalam interaksi ini, elektron pada orbital K-shell akan dikeluarkan dan kekosongan elektron muncul pada kulit. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbit di atasnya. Transfer elektron ini diikuti oleh sinar-X karakteristik, tergantung pada atom mana yang mengalami proses tersebut (Agus Jamaludin, 2012).

### 2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi diartikan sebagai pencucian kontaminan yang dimediasi tanaman seperti pohon, rumput, dan tanaman. Pencucian berarti menghancurkan, menonaktifkan atau imobilisasi kontaminan dengan cara yang tidak berbahaya (RL, 1995). Fitoremediasi mampu menyerap tanah/air yang terkontaminasi oleh radionuklida, logam beracun dan organik (Pradhan, 1998).

Fitoremediasi adalah cara remediasi tanah yang efektif, tidak mengganggu, dan murah (Wiltse, 1998). Ini lebih hemat biaya daripada metode mekanis atau kimia alternatif untuk menghilangkan senyawa berbahaya dari tanah (Bollag et al., 1994). Selain itu, fitoremediasi adalah teknologi murah yang alami dan estetis (Pradhan, 1998). Ini diterima secara sosial oleh masyarakat sekitar dan badan pengatur sebagai teknologi yang berpotensi elegan dan indah.

Fitoremediasi umumnya menggunakan tumbuhan yang bersifat hiperakumulator (Hidayati, 2013). Tanaman hiperakumulasi logam tidak hanya mengambil logam (berat) dalam jumlah yang lebih tinggi dari biasanya dari tanah tetapi juga mengkonsentrasikan polutan tersebut di dalam pucuk. Sebagai nilai ambang batas, 1% dari basis massa kering pucuk telah ditentukan (Qi L, 2015).

(Wang X, 2017) mempelajari fitoremediasi tanah tercemar Sr dengan *Sorgum bicolor*. Studi ini memeriksa profil fisiologis tingkat komunitas mikroba tanah, di mana ditemukan bahwa tanah terkontaminasi Sr telah meningkatkan keragaman dan aktivitas mikroba tanah dengan peningkatan yang cukup besar pada tinggi dan berat biomassa batang tanaman (dengan kandungan Sr) pada jaringan menurun urutan daun > akar > batang).

Tingkat akumulasi radionuklida oleh tanaman sangat berbeda tergantung pada sifat fisik dan kimia tanah (Tarsitano D, 2011) dan spesies tumbuhan (IAEA, 2012). Ketersediaan biologis  $^{90}\text{Sr}$  yang relatif tinggi menyebabkan stronsium ditransfer dengan cepat ke dalam sistem biotik dan dapat masuk ke dalam rantai makanan (Lee SY, 2014).

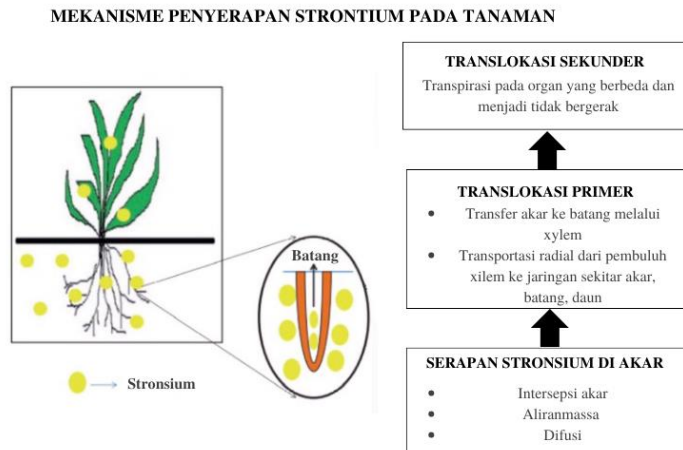
Faktor transfer dari  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  diselidiki untuk kontaminasi pada empat tahap pertumbuhan untuk selada dan gandum musim dingin (Al Attar L, Uptake and distribution of stable strontium in 26 cultivars of three crop species: oats, wheat, and barley for their potential use in phytoremediation, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah terkontaminasi dengan  $^{90}\text{Sr}$  pada tahap awal menghasilkan Fv tertinggi untuk kedua tanaman.

### **2.3.1 Faktor Transfer $^{90}\text{Sr}$ ke dalam Tanaman**

Tanaman menggunakan mekanisme terkoordinasi yang kompleks untuk mekanisme toleransi logam yang melibatkan proses biokimia dan fisiologis. Untuk mengatasi efek toksik radionuklida, tanaman dapat menghindari (membatasi penyerapan logam) atau mentolerir (bertahan dengan adanya konsentrasi logam internal yang tinggi) kondisi stres (Chatterjee S, 2017b). Berdasarkan data eksperimen pada sereal dan beras (Colle C, 2009) stronsium diklasifikasikan sebagai elemen bergerak sedang dalam tanaman.

Aliran massa dan difusi adalah dua proses yang mendistribusikan Stronsium dalam tanah. Kata difusi berarti dispersi yang disebabkan oleh gerakan termal acak sebagai gerak Brown partikel koloid. Dalam hal ini, pergeseran terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi kedua larutan pada jarak tertentu dimana terjadi perpindahan dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi

rendah. Aliran massa, atau konveksi, berbeda dari difusi dalam gerakan yang disebabkan oleh pergerakan air atau gas (Hillel, 1980).



**Gambar 2. 3.** Mekanisme Penyerapan Stronsium pada Tanaman

Proses aliran massa dan difusi disebabkan oleh sifat fisika yang berbeda dan arah gerakan yang berbeda. Aliran massa zat dalam larutan tanah bergerak dari daerah berair ke daerah kering. Difusi adalah kebalikannya, yaitu dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah (di daerah berair prosesnya berbeda, tetapi di tanah mereka terjadi secara bersamaan atau bersama-sama) (Wild, 1981). Serapan  $^{90}\text{Sr}$  tanah ke akar tergantung pada berbagai faktor fisiko-kimia dari komponen tanah dan bentuk radionuklida yang larut dalam air (Asgari K, 2015).

Serapan  $^{90}\text{Sr}$  juga diamati pada permukaan daun karena diendapkan dari kabut atmosfer yang bersentuhan dengan daun.  $^{90}\text{Sr}$  secara aktif dan pasif diangkut melalui epidermis daun untuk penyerapan karena translokasi dari daun ke bagian lain dari tanaman jarang terjadi. Translokasi aktif dan pasif terjadi untuk serapan  $^{90}\text{Sr}$  melalui epidermis daun, karena translokasi dari daun ke bagian tanaman lain tidak umum (Gupta DK, 2018). Setelah logam masuk ke dalam tubuh tanaman, logam tersebut dapat terakumulasi di dalam jaringan

daun, sedangkan akumulasi logam dalam biji dan buah biasanya rendah (Asgari K, 2015).  $^{90}\text{Sr}$  juga mudah terakumulasi dalam tanaman, tergantung pada karakteristik tanah, kondisi iklim, dan khususnya spesies tanaman (subspesies), dll. (Gupta DK, 2018).

Bahkan akar menunjukkan aktivitas yang lebih rendah di akumulasi dan translokasi Sr dibandingkan dengan tunas (Wang X, 2017). (NJ, 2014) telah melaporkan temuan serupa dimana tanaman menunjukkan lebih banyak Sr di pucuk hijau daripada bagian berkayu, yang mungkin karena aktivitas dan aliran nutrisi yang lebih tinggi di bagian hijau tanaman. Hampir 80% dari  $^{90}\text{Sr}$  biasanya terletak di pucuk (Dushenkov., 2003).

Rasio serapan tinggi yang berkorelasi positif dengan konsentrasi Sr dalam larutan. Dilaporkan juga bahwa konsentrasi Sr yang tinggi menghambat kandungan klorofil karena stres oksidatif, sedangkan konsentrasi rendah mendorong sintesis klorofil pada lumut Spanyol (Zheng G, 2016).

### 2.3.2 Faktor Transfer $^{90}\text{Sr}$ ke dalam Tanah

Proses transfer tanah ke tanaman dapat diukur dengan berbagai cara. Penggunaan koefisien transfer ( $F_t$ ) adalah salah satu metode yang paling umum dan didefinisikan sebagai rasio konsentrasi radionuklida dalam tanaman dan tanah (IAEA., 2010).

$$F_t = \frac{\text{Konsentrasi radionuklida dalam tanaman } \frac{mg}{kg}}{\text{Konsentrasi radionuklida dalam tanah } \frac{mg}{kg}}$$

Faktor transfer tanah-tanaman memperhitungkan serapan radionuklida oleh akar tanaman dan menunjukkan rasio konsentrasi aktivitas radionuklida

per unit tanaman (mg/kg) terhadap konsentrasinya di dalam tanah, yang dinyatakan sebagai kenaikan Ft (Poppy Intan Tjahaja, 2007).

Mengenai konsentrasi radionuklida dalam tanah, kedalaman lapisan tanah yang diperhitungkan dalam perhitungan sangat penting untuk radionuklida yang diendapkan di tanah dan dengan distribusi kedalaman yang tidak homogen seperti  $^{90}\text{Sr}$ . Untuk mengurangi pengaruh variabel ini, International Union of Radioecology (IUR) merekomendasikan standar lokasi akar di dalam tanah, dengan asumsi bahwa semua akar dan semua radionuklida yang ada di zona perakaran berada di lapisan tanah itu, 0–10 cm untuk rumput dan 0–20 cm untuk semua tanaman lain termasuk pohon (Guillen, 2018).

Nilai FT mencerminkan translokasi strontium dalam berbagai bagian tanaman. Dari sudut pandang formal, translokasi menggambarkan distribusi di dalam tanaman setelah deposisi daun dan penyerapan oleh daun (Guillen, 2018). Meskipun deposisi daun tidak sepenuhnya terkait dengan transfer tanah ke tanaman, itu terkait dengan mobilitas radionuklida di dalam tanaman. Jumlah radionuklida yang ditranslokasikan sangat tergantung pada tahap perkembangan di mana pengendapan terjadi (Thiessen KM, 1999), yang juga mencerminkan kebutuhan nutrisi bagian tanaman yang berbeda di setiap tahap.

Derajat mobilitas ini dapat diperkirakan karena strontium adalah unsur alkali tanah, secara kimiawi analog dengan kalsium, yang dapat dianggap sebagai unsur struktural.  $^{90}\text{Sr}$  memiliki mobilitas yang lebih besar dan berpindah lebih cepat ke bawah dan ke dalam tanah (terutama pada tanah

mineral (berpasir) dan organik) dibandingkan dengan radionuklida lain seperti  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  (Solovitch-Vella N, 2007).

#### 2.4 Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*)

Salah satu bentuk ciptaan Allah SWT yang dapat dimanfaatkan oleh manusia adalah tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan menyimpan beragam manfaat untuk kehidupan manusia sebagaimana disebutkan dalam QS. Luqman ayat 10 yang berbunyi:

وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: “Dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik.” (QS. Luqman: 10).

Tumbuh-tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang membawa manfaat bagi manusia dan makhluk lain yang ada di bumi. Keanekaragaman tumbuhan yang ada membawa beragam manfaat bagi makhluk lain termasuk manusia. Salah satu contoh tumbuhan yang bermanfaat untuk menyelesaikan masalah manusia adalah Bunga Matahari.

Bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) adalah tumbuhan asli Amerika Utara bagian timur (Smith, 2014). Bunga matahari merupakan tanaman cepat tumbuh dengan produksi biomassa yang tinggi (Purnama Dewi Rohana, 2020). Selain itu bunga matahari juga merupakan tanaman hiperakumulator yang artinya dapat menyerap logam berat dalam tanah (Hidayati, 2013). Sehingga dapat digunakan untuk fitoremediasi logam beracun pada tanah yang terkontaminasi.

Menurut (Benson, 1957) bunga matahari dapat diklasifikasi sebagai berikut:

*Kingdom* : Plantae

*Divisi* : Magnoliopyta

<i>Kelas</i>	: Magnoliopsida
<i>Ordo</i>	: Asterales
<i>Famili</i>	: Asteraceae
<i>Genus</i>	: Helianthus
<i>Spesies</i>	: Helianthus annuus L.

Bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) terbukti mampu mengurangi  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  radioaktif pada tanah pasca bencana Chernobyl (Soudek, 2006). Mengingat bunga matahari merupakan tanaman terestrial, maka kemampuannya untuk fitoremediasi radiostrontium dari tanah yang terkontaminasi radiostrontium di iklim tropis perlu diuji.

## 2.5 Hipotesis

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

- H<sub>01</sub> : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap konsentrasi stronsium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)
- H<sub>11</sub> : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap konsentrasi stronsium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)
- H<sub>02</sub> : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap nilai faktor transfer stronsium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)

H<sub>12</sub> : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O terhadap nilai faktor transfer stronsium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah eksperimen fitoremediasi menggunakan produk fisi Stronsium-90 dengan Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) untuk dekomisioning fasilitas nuklir. Penelitian ini memodelkan produk fisi  $^{90}\text{Sr}$  dengan  $^{88}\text{Sr}$  menggunakan instrument X-ray fluorescence (XRF) serta uji statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL).

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Oktober – November 2022 di Kawasan Sains dan Edukasi Achmad Baiquni Babarsari, Yogyakarta

#### **3.3 Alat dan Bahan**

##### **3.3.1 Alat**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. XRF RIGAKU NEX QC
2. XRF *Sample Cup*
3. *Liquid Sample Holder*
4. Timbangan Analitik
5. Gelas Ukur
6. *Beaker Glass*
7. Jirigen
8. Spuit 20 mL
9. Pipet Ukur 5 m

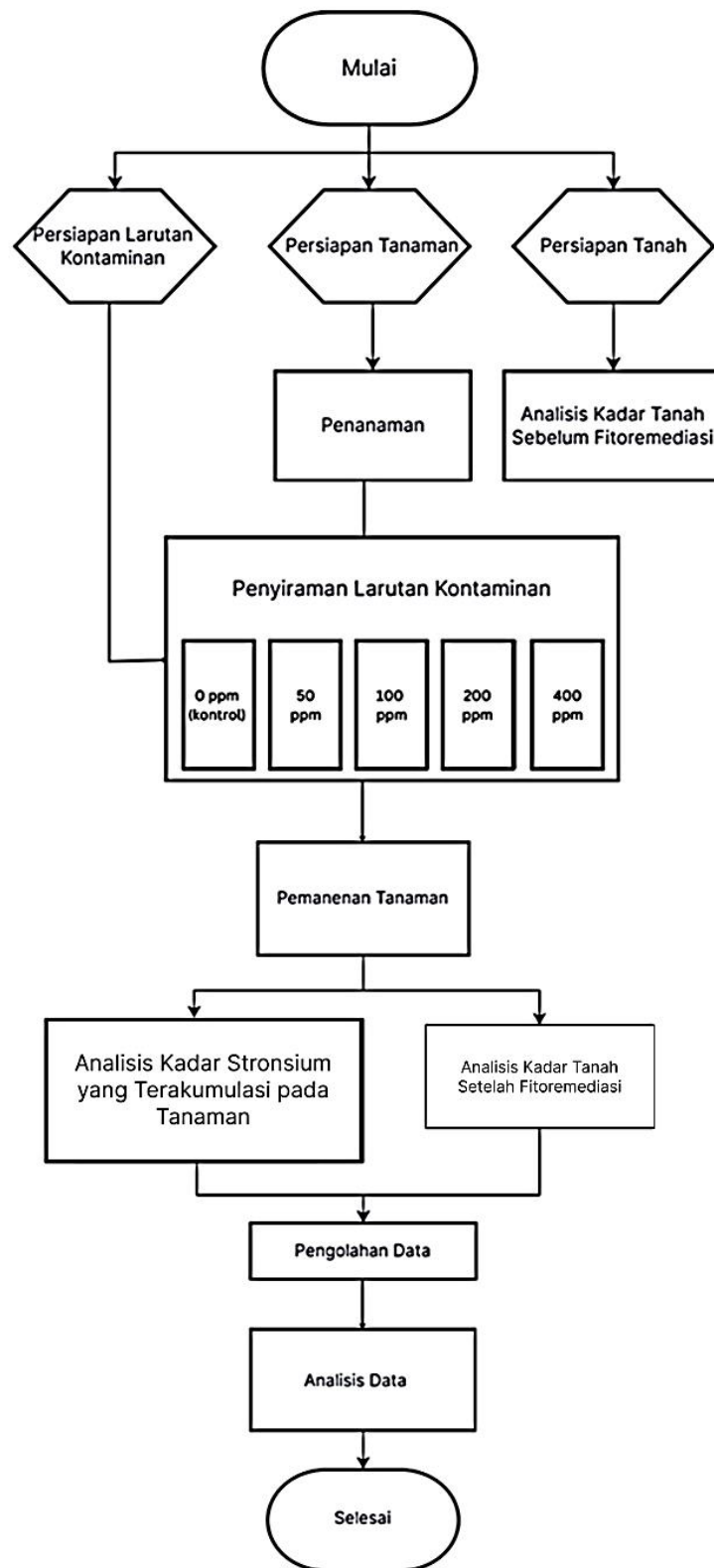
10. Corong

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Tanaman Bunga Matahari
2. Tanah disekitar fasilitas nuklir
3. Stronsium Klorida Heksahidrat ( $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
4. Asam Nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 70%
5. Air
6. Plastik Klip
7. Kertas Merang
8. Tissue
9. *Plastic Mylar*
10. *Poly Bag*

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 1.** Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Penyiapan Tanaman Uji

Tanaman Bunga Matahari yang berusia 3 minggu diaklimasi terlebih dahulu selama 7 hari guna tanaman beradaptasi di tempat yang akan dilakukann penelitian.

#### 3.5.2 Penyiapan Media Tanah

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari halaman fasilitas nuklir BRIN Yogyakarta. Tanah tersebut dibersihkan dari batuan dan akar-akaran. Kemudian dipindahkan ke dalam *polybag*. *Polybag* yang telah dibersihkan diisi dengan 500 g tanah kemudian disiram dengan air. Selanjutnya tanah yang sudah dibersihkan ditimbang sebanyak 5 g untuk dianalisis kadar stronsium pada tanah awal dengan menggunakan XRF.

#### 3.5.3 Pembuatan Larutan Kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Terlebih dahulu menentukan konsentrasi yang diinginkan. Kemudian melarutkan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  pada masing-masing konsentrasi sebanyak 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm dan 400 ppm ke dalam air, sehingga volume akhir menjadi 2 liter. Perhitungan pembuatan larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  pada masing-masing konsentrasi sebagai berikut:

Berat Molekul (Mr)  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  : 266,6193 g/mol

Berat Atom (Ar)  $^{88}\text{Sr}$  : 87,62 g·mol<sup>-1</sup>

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,05 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 0,3043 \text{ gram}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 100 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,1 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 0,6086 \text{ gram}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 200 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,2 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 1,2172 \text{ gram}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 400 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,4 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 2,4343 \text{ gram}$$

#### 3.5.4 Penanaman Bunga Matahari

Tanaman Bunga Matahari yang sebelumnya telah di aklimasi selama 7 hari sehingga berusia 4 minggu ditanam dalam *pollybag* tepat ditengah dengan kedalaman 2-2,5cm dari permukaan. Setiap *pollybag* diisi dengan 1 tanaman dengan dengan total 15 tanaman. Tanaman disiram dengan air setiap harinya pada pagi hari.

#### 3.5.5 Pemaparan Kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada Tanah

Larutan kontaminan yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam spuit 20 ml kemudian disiramkan ke tanah. Penyiraman kontaminan sesuai dengan

konsentrasi satu hari sekali pada sore hari. Pemaparan dilakukan selama 28 hari kemudian dipanen selanjutnya dilakukan pengujian.

### 3.5.6 Destruksi Sampel

Bunga Matahari yang telah dipanen dicuci dengan air mengalir kemudian sampel tanaman diangin-anginkan selama beberapa jam. Kemudian sampel dilarutkan kedalam  $\text{HNO}_3$  70% dan didiamkan hingga sampel larut.  $\text{HNO}_3$  akan mendestruksi sampel secara memadai. (Agus Setiabudi, 2012).

Setelah digesti sampel cair, dilakukan pengujian menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF) dengan cara sebagai berikut: Dinyalakan perangkat XRF dengan menekan tombol HT On (*X-ray On*), tekan tombol Minipal untuk menyalakan komputer dan buka program komputer kemudian tunggu sekitar 5-10 menit hingga berfungsi. Siapkan sampel yang telah di digesti. Kemudian siapkan *liquid sampel holder* selanjutnya pasarkan plastic mylar pastikan tidak ada celah agar sampel tidak tumpah. Tuangkan sampel pada *xrf cup* lalu tutup bagian atasnya dan pasangkan pada instrument XRF. Pada program Minipal buka menu Measure, Measure Standardless dan tuliskan nama sampel pada kolom ID dan tunggu proses pengukuran selesai. Hasilnya ditampilkan di menu hasil, setelah itu hasil yang diharapkan dicetak (Gia Rahayu Ningsih, 2022).

### 3.5.7 Pengambilan Data

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai konsentrasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman bunga matahari. Adapun parameter yang diukur adalah jumlah stronsium yang terakumulasi, faktor transfer dan berat tanaman bunga matahari dengan konsentrasi

kontaminan 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm. Hasil pengukuran dicatat pada tabel berikut:

### 3.5.7.1 Jumlah Akumulasi Stronsium

Data konsentrasi stronsium yang terakumulasi dibandingkan dengan jumlah  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  yang diberikan, kemudian dicatat pada tabel berikut:

**Tabel 3. 1.** Pengambilan Data Konsentrasi Terakumulasi

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Jumlah $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang Diberikan	Konsentrasi Stronsium yang Terakumulasi	Rata-rata
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			

### 3.5.7.2 Faktor Transfer

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

**Tabel 3. 2.** Pengambilan Data Kandungan Stronsium dalam Tanah

Doping	Konsentrasi Tanaman (mg/kg)	Konsentrasi Tanah (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-rata
0 ppm				
50 ppm				
100 ppm				
200 ppm				
400 ppm				

### 3.5.8 Analisis Data

#### 3.5.8.1 Teknik Analisis Data Jumlah Akumulasi Stronsium

Analisis data jumlah akumulasi stronsium dalam penelitian ini menggunakan analisis anova dan DMRT dengan IBM SPSS untuk mengetahui Pengaruh Nilai Konsentrasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari

#### 3.5.8.2 Teknik Analisis Data Faktor Transfer

Faktor transfer tanah ke tanaman dihitung melalui serapan radionuklida oleh tanaman dengan menunjukkan rasio konsentrasi aktivitas radionuklida per-unit tanaman (mg/kg) terhadap konsentrasinya di dalam tanah.

$$Ft = \frac{\text{Konsentrasi radionuklida dalam tanaman } \frac{mg}{kg}}{\text{Konsentrasi radionuklida dalam tanah } \frac{mg}{kg}}$$

Kemudian di analisis menggunakan anova dan DMRT dengan IBM SPSS untuk mengetahui pengaruh nilai konsentrasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap faktor transfer pada tanaman bunga matahari.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Pengaruh Konsentrasi $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari

Pengukuran kadar  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  yang terakumulasi pada tanah dilakukan dengan menggunakan metode fitoremediasi dengan memanfaatkan bunga matahari untuk mengurangi Stronsium pada tanah. Kontaminan yang diberikan pada bunga matahari divariasikan konsentrasinya sebesar 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm. Perlakuan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri atas ( $S_0$ ) sebagai control, ( $S_1$ ), ( $S_2$ ), ( $S_3$ ), dan ( $S_4$ ) yang diperlakukan atas 3 kali pengulangan. Berdasarkan hasil penelitian dari jumlah  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan tingkat akumulasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  menggunakan fitoremediasi pada tanaman bunga matahari menunjukkan hasil pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pemberian kontaminan selama masa tanam pada konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm dan 400 ppm mengakibatkan perubahan konsentrasi stronsium yang terakumulasi. Jumlah akumulasi berturut-turut dari tertinggi sampai terendah untuk 5 perlakuan ( $S_4$ ), ( $S_3$ ), ( $S_2$ ), ( $S_1$ ) dan ( $S_0$ ) adalah sebesar 207.556 mg/kg, 129.248 mg/kg, 116.549 mg/kg, 113.979 mg/kg, 33.680 mg/kg. Data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan pengaruh antara jumlah pemberian konsentrasi kontaminan terhadap konsentrasi

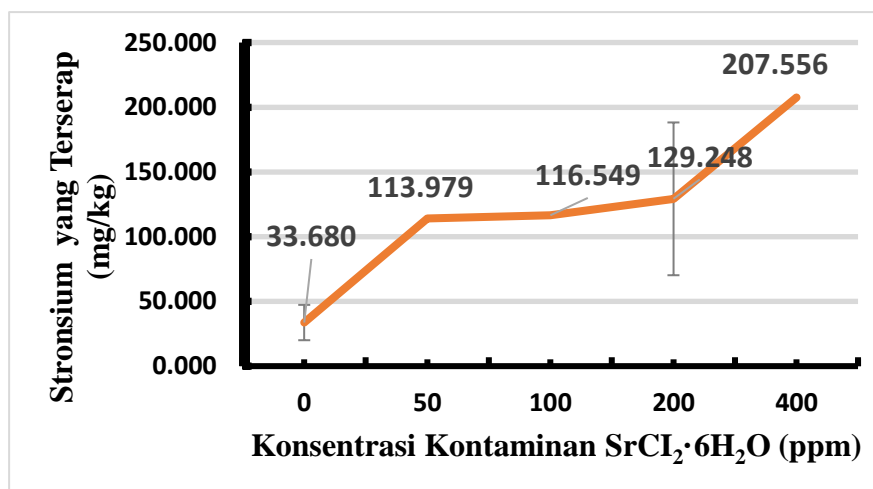
stronsium yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

**Tabel 4. 1.** Perbandingan Konsentrasi Kontaminan yang Terakumulasi Dengan Jumlah yang Diberikan

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Jumlah Pemberian Stronsium (mg)	Konsentrasi Stronsium Terakumulasi oleh Tanaman (mg/kg)	Rata Rata (mg/kg)	Standart Deviasi
0 ppm	1	0	22.157	33.680	13.650
	2		30.127		
	3		48.755		
50 ppm	1	60.86	160.118	113.979	59.022
	2		134.348		
	3		47.471		
100 ppm	1	121.72	124.090	116.549	42.811
	2		155.088		
	3		70.468		
200 ppm	1	243.44	162.837	129.248	69.687
	2		175.780		
	3		49.128		
400 ppm	1	486.86	204.615	207.556	17.930
	2		226.775		
	3		191.278		

Gambar 4.1 menunjukkan tingkat akumulasi stronsium pada bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Dari grafik tersebut terlihat bahwa penanaman bunga matahari dapat meningkatkan penyerapan Stronsium dalam tanah. Pada Gambar 4.1 dapat diketahui adanya garis standrat deviasi, apabila jumlah akumulasi berada diantara garis tersebut maka dikatakan jumlah akumulasi stronsiumnya normal, apabila melebihi garis standart deviasi maka jumlah akumulasi stronsium lebih besar dan apa bila berada dibawah standart deviasi jumlah akumulasi stronsium lebih kecil. Jumlah akumulasi Stronsium paling besar terjadi pada konsenrasi 400 ppm yaitu 207.556 mg/kg dan paling rendah yaitu pada tanmaan

kontrol 0 ppm yaitu 33.680 mg/kg. Hal ini dapat dikatakan bahwa semakin besar konsentrasi kontaminan maka jumlah akumulasi stronsium pada tanaman bunga matahari semakin tinggi.



**Gambar 4. 1.** Grafik Prebandingan Jumlah Akumulasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  pada Bunga Matahari dengan Konsentrasi Kontaminan

Hasil penelitian pengaruh nilai konsentrasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap jumlah stronsium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari dianalisis menggunakan uji Anova satu ara (One Way Anova) menggunakan IBM SPSS. Apabila hasil analisis menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  terhadap jumlah stronsium yang terakumulasi, maka dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT (Duncan Multiple Range Test) untuk mengetahui perbedaan antar konsentrasi  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 menunjukkan hasil analisis uji ANOVA terkait pengaruh nilai konsentrasi kontaminan terhadap jumlah stronsium yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L). Data menunjukkan nilai signifikansi (Sig) = 0.001 dimana nilai probabilitas signifikansi  $0.001 < 0.05$ ,

maka hipotesis H0 ditolak dan H1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya konsentrasi kontaminan yang diberikan berpengaruh nyata terhadap konsentrasi stronsium yang terakumulasi. Selanjutnya dilakukan uji lanjut DMRT (Duncan Multiple Range Test) untuk mengetahui jumlah akumulasi stronsium yang paling efektif dari variasi konsentrasi kontaminan yang diberikan. Hasil uji DMRT ditunjukkan pada Tabel 4.3

**Tabel 4. 2.** Hasil Uji Anova Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari

	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan (df)	Rata-rata Kuadrat Stronsium Terakumulasi	F Hitung	Sig.
Antar Grup	45752.233	4	11438.058	5.355	0.014
Dalam Grup	21360.911	10	2136.091		
Total	67113.144	14			

**Tabel 4. 3.** Data Uji Lanjut DMRT Pengaruh Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari

Akumulasi Stronsium	Notasi*
0 ppm	a
50 ppm	ab
100 ppm	ab
200 ppm	bc
400 ppm	c

*Keterangan\*: haruf (a, b, c) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT*

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa tanaman yang tidak diberi kontaminan memiliki notasi berbeda dengan tanaman yang diberi kontaminan. Hal ini dapat diartikan

bahwa terdapat perbedaan konsentrasi kontaminan yang cukup signifikan antara sampel kontrol dengan sampel tanaman yang diberikan kontaminan. Pada konsentrasi kontaminan 0 ppm dan 400 ppm memiliki perbedaan nyata. Pada konsentrasi 0 ppm, 50 ppm, dan 200 ppm tidak memiliki perbedaan nyata. Sedangkan pada konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, dan 200 ppm juga diketahui tidak memiliki perbedaan nyata. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi kontaminan terhadap kadar stronsium yang terakumulasi efektif pada konsentrasi 400 ppm.

#### **4.1.2 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Terhadap Faktor Transfer pada Tanaman Bunga Matahari**

Faktor transfer adalah nilai yang dapat menggambarkan kemampuan bunga matahari dalam menyerap stronsium dari dalam tanah. Nilai faktor transfer dapat diperoleh dengan membandingkan konsentrasi stronsium pada bunga matahari dengan stronsium yang terdapat dalam tanah. Nilai faktor transfer stronsium ditunjukkan pada Tabel 4.4.

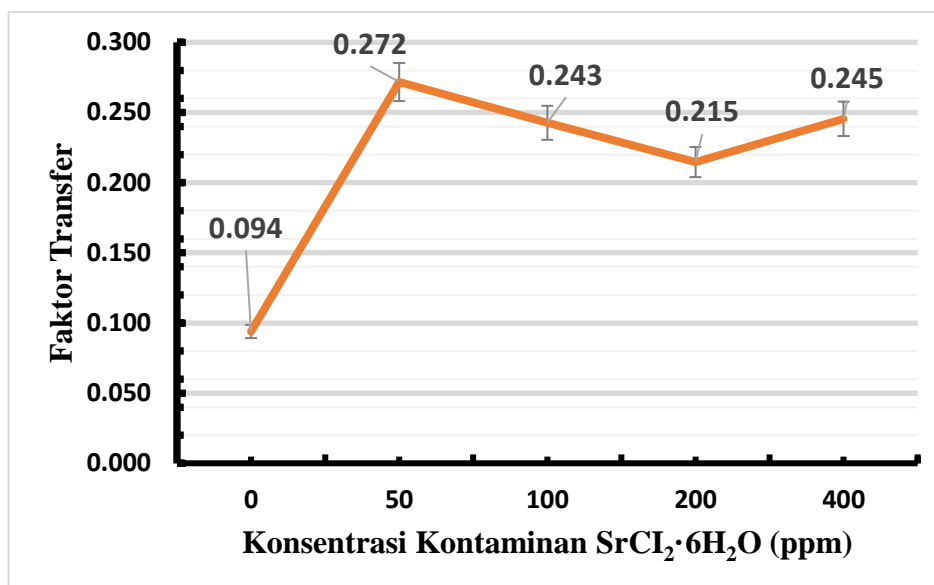
Tabel 4.4 menunjukkan nilai faktor transfer tanah ke tanaman bunga matahari terserap dari rentang 0,094 – 0,245 mg/kg. Nilai faktor transfer lebih dari 1 menunjukkan bahwa tanaman memiliki kemampuan meremediasi. Apabila tanaman memiliki nilai faktor transfer lebih dari 20 menandakan bahwa tanaman tersebut ekonomis dan efektif untuk pengaplikasiannya sebagai agen fitoremediator. Pada penelitian ini besarnya faktor transfer pada semua perlakuan yaitu kurang dari 1. Nilai faktor transfer tertinggi yaitu pada konsentrasi 50 ppm. Dimana pada konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, dan 400 ppm diketahui tanaman mengalami kejenuhan dalam proses faktor transfer tanah ke tanaman. Hal ini

mungkin dikarenakan proses transfer tanah ke tanaman terhambat oleh kelimpahan dan kehadiran kalsium dalam tanah.

**Tabel 4. 4.** Nilai Konsentrasi Kontaminan terhadap Nilai Faktor Transfer pada Tanaman Bunga Matahari

Konsentrasi Kontaminan	Konsentrasi Tanah (mg/kg)	Konsentrasi Tanaman (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-Rata Faktor Transfer	Standart Deviasi
0	358.612	22.157	0.062	0.094	0.0381
		30.127	0.084		
		48.755	0.136		
50	419.472	160.118	0.382	0.272	0.1407
		134.348	0.320		
		47.471	0.113		
100	480.332	124.090	0.258	0.243	0.0891
		155.088	0.323		
		70.468	0.147		
200	602.052	162.837	0.270	0.215	0.1157
		175.780	0.292		
		49.128	0.082		
400	845.472	204.615	0.242	0.245	0.0212
		226.775	0.268		
		191.278	0.226		

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa faktor transfer Stronsium dari tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L*). Faktor transfer Stronsium mengalami kenaikan pada konsentrasi kontaminan 50 ppm dan melandai pada konsentrasi 100 ppm dan 200 ppm. Kemudian mengalami kenaikan lagi pada konsentrasi 400 ppm. Hal ini dapat dikatakan bahwa faktor transfer paling tinggi yaitu pada konsentrasi kontaminan 50 ppm yaitu 0.272 dan faktor transfer paling rendah yaitu pada konsentrasi kontaminan 0 ppm yaitu 0.094.



**Gambar 4. 2.** Grafik Perbandingan Faktor Transfer terhadap Jumlah Konsentrasi Kontaminan yang Diberikan

Hasil penelitian pengaruh nilai konsentrasi kontaminan SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O terhadap nilai faktor transfer pada tanaman bunga matahari dianalisis menggunakan uji Anova satu arah (One Way Anova) menggunakan IBM SPSS. Apabila hasil analisis menunjukkan adanya pengaruh nilai konsentrasi kontaminan SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O terhadap nilai faktor transfer pada tanaman bunga matahari, maka dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT (Duncan Multiple Range Test) untuk mengetahui perbedaan antar konsentrasi SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 4.5:

**Tabel 4. 5.** Analisis ANOVA Pengaruh Konsentrasi Kontaminan terhadap Faktor Transfer pada Tanaman Bunga Matahari

	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan (df)	Rata-rata Kuadrat Faktor Tansfer	F Hitung	Sig.
Antar Grup	0.059	4	0.015	1.704	0.225
Dalam Grup	0.086	10	0.009		
Total	0.145	14			

Tabel 4.5 menunjukkan hasil analisis uji ANOVA terkait pengaruh nilai konsentrasi kontaminan terhadap nilai faktor transfer tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L). Data menunjukkan nilai signifikansi (Sig) = 0.225 dimana nilai probabilitas signifikansi  $0.225 > 0.05$ , maka hipotesis  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya konsentrasi kontaminan yang diberikan tidak berpengaruh nyata terhadap faktor transfer tanah ke tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L). Karena  $H_0$  diterima maka tidak diperlukan uji lanjut DMRT (Duncan Multiple Range Test).

## 4.2 Pembahasan

Penelitian ini menggunakan tanaman bunga matahari karena bunga matahari merupakan tanaman cepat tumbuh dengan produksi biomassa yang tinggi (Purnama Dewi Rohana, 2020). Selain itu bunga matahari juga merupakan tanaman hiperakumulator yang artinya dapat menyerap logam berat dalam tanah (Hidayati, 2013). Ketika tanaman terpapar radionuklida, efek seluler dan molekuler terjadi, melibatkan kerusakan langsung makromolekul atau reaksi radiolitik tidak langsung yang menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) (Gupta DK, 2018). Pemindahan radiostrontium dari tanah yang terkontaminasi ke tanaman merupakan proses yang kompleks. Untuk mengatasi efek toksik radionuklida, tanaman dapat menghindari (membatasi penyerapan logam) atau mentolerir (bertahan hidup dengan adanya konsentrasi logam internal yang tinggi) kondisi stres (Chatterjee S, 2017b). Mekanisme penghindaran tanaman melibatkan pengurangan konsentrasi logam yang masuk ke dalam sel melalui presipitasi ekstraseluler, biosorpsi ke dinding sel, pengurangan serapan, dan/atau peningkatan penghabisan.

Mekanisme serapan Stronsium ( $\text{Sr}^{2+}$ ) berlangsung dalam tiga tahap: mengangkut logam dari lingkungan eksternal ke akar internal; translokasi di dalam akar dan/atau dari akar ke pucuk melewati xilem; dan pelepasan  $\text{Sr}^{2+}$  dari pembuluh xilem ke dalam jaringan xilem (parenkim) di sekeliling akar, batang, daun, dan bunga atau buah. Distribusi radial  $\text{Sr}^{2+}$  di dalam dan di luar pembuluh xilem dapat diatur oleh proses metabolisme. Mobilitas  $\text{Sr}^{2+}$  sebagian besar terhambat ketika memasuki organ tertentu melalui transpirasi (Gupta DK, 2018). Strontium bukanlah elemen penting bagi organisme hidup, dan ketika memasuki organisme hidup apa pun, ia menciptakan tingkat toksisitas yang lebih tinggi bagi organisme hidup. Pada tumbuhan seperti pada tanah, jalur Sr bergantung terutama pada kemiripan strukturalnya dengan Ca (Mishra S, 2014). Hilangnya Stronsium pada media tanam tidak terserap seluruhnya oleh tanaman tersebut, Stronsium yang masuk ke dalam tubuh tanaman dikeluarkan melalui gugurnya daun-daun tua sehingga menurunkan kandungan Sr.

Penelitian ini menemukan bahwa Sr tidak berpengaruh signifikan terhadap biomassa dan tidak memiliki efek toksik yang signifikan terhadap biomassa kumulatif dari sebagian besar bunga matahari yang diuji. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Wen FP, 2009). *Plant Growth-promoting Rhizobacteria* (PGPR) berperan penting dalam perkembangan dengan mengurangi stres fisiologis pada tanaman, ketika tumbuh di tanah yang terkontaminasi. Akumulasi sedang  $^{90}\text{Sr}$  dari tanah dapat dikompensasi oleh biomassa yang tinggi dan pertumbuhan yang cepat (Hernandez-Allica J, 2008). (Zheng G, 2016) melaporkan bahwa konsentrasi Sr yang tinggi menghambat kandungan klorofil karena stress oksidatif, sedangkan konsentrasi rendah

mendorong sintesis klorofil dalam lumut Spanyol. Presentase Sr yang dihilangkan dari tanah oleh tanaman bunga matahari saat panen meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Sr di dalam tanah (Gambar 4.1). Hal ini karena rasio Sr terhadap kalsium dalam tanah meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Sr tanah. Kalsium memiliki aksi yang mirip dengan Sr (Moyen C, 2010), sehingga tanaman lebih berpeluang untuk menyerap Sr pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu pada konsentrasi 400 ppm sebesar 207.556 mg/kg.

(Al Attar L, 2016) meneliti pada tanaman selada, melalui tahap perkecambahan dengan adanya  $Sr^{2+}$ , massa akar merambat bersama dengan migrasi Sr melalui lapisan tanah.  $Sr^{2+}$  tidak membentuk kompleks yang kuat dengan matriks tanah karena kurangnya bahan organik yang dapat bertindak sebagai ligan. Sr menjadi tersedia untuk serapan akar pada kedalaman 2-20 cm tanah selama periode pengembangan tanaman. Bagaimanapun, ketika kontaminasi terjadi pada tahap perkembangan daun (S2), tanaman menunjukkan aktivitas fisiologis tertinggi, faktor transfer dari  $^{90}Sr$  berkurang > 40% dibandingkan dengan tahap perkecambahan (S1). Hal ini mungkin disebabkan oleh pengenceran radionuklida dalam biomassa tanaman yang meningkat.

Jumlah radionuklida yang ditranslokasikan sangat tergantung pada tahap perkembangan di mana pengendapan terjadi, yang juga mencerminkan kebutuhan nutrisi bagian tanaman yang berbeda di setiap tahap. Pada Sr rasio konsentrasi dapat bervariasi berdasarkan urutan besarnya, tidak hanya tergantung pada spesies tanaman tetapi juga pada karakteristik tanah tertentu dan kondisi lingkungan dan eksperimen yang berbeda (IAEA., 2010). Perpindahan radionuklida dari tanah ke

tanaman diukur dengan rasio konsentrasi atau faktor transfer, antara tanah dan kompartemen tanaman (IAIE, 2009).

$$Ft = \frac{\text{Konsentrasi radionuklida dalam tanaman } \frac{mg}{kg}}{\text{Konsentrasi radionuklida dalam tanah } \frac{mg}{kg}}$$

Faktor transfer tanah-tanaman memperhitungkan serapan radionuklida oleh akar tanaman dan menunjukkan rasio konsentrasi aktivitas radionuklida tanaman (mg/kg) terhadap konsentrasinya di dalam tanah. 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. Nilai Ft mencerminkan translokasi strontium dalam berbagai bagian tanaman. Dari sudut pandang formal, translokasi menggambarkan distribusi di dalam tanaman setelah deposisi daun dan penyerapan oleh daun (Guillen, 2018). Meskipun deposisi daun tidak sepenuhnya terkait dengan transfer tanah ke tanaman, itu terkait dengan mobilitas radionuklida di dalam tanaman.

Pada penelitian ini nilai faktor transfer terkecil terdapat pada tanaman kontrol (0 ppm) yaitu sebesar 0.0094 dan nilai faktor transfer terbesar terdapat pada tanaman dengan konsentrasi kontaminan 50 ppm yaitu sebesar 0.272. Pada konsentrasi kontaminan 50 ppm nilai faktor transfer lebih besar karena tanaman masih dalam keadaan adaptasi dan masih mampu mentransfer strontium dari tanah ke tanaman bunga matahari. Namun, dengan meningkatnya konsentrasi kontaminan, tanaman juga akan menyerap lebih banyak strontium, tetapi jumlah strontium yang diserap tanaman tidak berbanding lurus dengan kandungan

strontium dalam tanah, sehingga nilai faktor transfer akan berfluktuasi. Tanaman mungkin jenuh selama faktor transfer tanah-tanaman. (Gerstmann U, 2006) menemukan nilai rata-rata 0,151, 0,205, dan 0,060 untuk 28 kultivar gandum musim dingin, sedangkan (Schimmack W, 2007) menemukan nilai rata-rata dari 0,071 hingga 0,273 untuk tiga kultivar gandum musim dingin selama tiga tahun. Faktor utama yang menyebabkan variabilitas radionuklida tertentu mungkin adalah jenis tanaman dan jenis tanah (IAIE, 2009). Perbedaan ini menunjukkan bahwa kapasitas tanaman untuk menyerap stronsium tidak sederhana melibatkan faktor-faktor individual tetapi merupakan hasil interaksi diantara mereka.

Penelitian ini memodelkan  $^{90}\text{Sr}$  dengan  $^{88}\text{Sr}$  dimana nilai faktor transfer yang didapat digunakan sebagai refesensi dekomisioning fasilitas nuklir di masa mendatang karena secara teori dimungkinkan untuk mendapatkan faktor transfer yang relevan dengan menentukan kandungan nuklida radioaktif di dalam tanah dan tanaman yang tumbuh di tanah. Nuklida stabil dan nuklida radioaktif memiliki sifat kimia dan karakteristik biologis yang identik (Ding Kuke, 2016). Para ilmuwan telah menggunakan nuklida stabil sebagai pengganti nuklida radioaktif dalam penelitian, yang berfungsi untuk mengkonfirmasi korelasi signifikan antara dua jenis nuklida. Selama tanaman ditanam di tanah, mereka akan menyerap strontium tanpa membedakan antara bentuk stabil dan radioaktifnya. Misalnya, sampel tanah dan tumbuhan yang dikumpulkan dari lokasi pembangkit listrik tenaga nuklir atau dari lapangan uji coba nuklir mengandung strontium yang stabil dan radioaktif (Ding Kuke, 2016).

Dalam studi lain (Choi YH, 2011) faktor transfer Cs dan Sr radioaktif ke daun kedelai selama enam tahap pertumbuhan menunjukkan pola yang sama;  $^{85}\text{Sr}$

menurun, sementara  $^{137}\text{Cs}$  berfluktuasi, meskipun pada tingkat lebih rendah yang. Dalam kasus jerami, sedikit peningkatan faktor transfer diamati  $^{90}\text{Sr}$  pada tahap anakan (S2) dibandingkan tahap sebelumnya, perkembangan daun (S1). Faktor transfer dari  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  diselidiki untuk kontaminasi pada empat tahap pertumbuhan selada dan gandum musim dingin (Al Attar L, 2016). Hasil menunjukkan bahwa tanah terkontaminasi dengan  $^{90}\text{Sr}$  pada tahap awal menghasilkan yang tertinggi Ft untuk kedua tanaman, yang menjadi perhatian radiologis potensial.

Literatur tentang fitoremediasi tanah menunjukkan bahwa serapan radiostrontium yang hampir lengkap dari lokasi yang terkontaminasi dimungkinkan karena sifatnya reversibel di dalam tanah. Namun, serapan lengkap sangat terhambat oleh kalsium yang melimpah dan ada di mana-mana di dalam tanah. Hal ini menyebabkan perlunya spesies tanaman untuk fitoremediasi, yang sangat membedakan serapan kalsium dari serapan stronsium. Tanaman berperan penting dalam pembersihan habitat perairan dan darat yang terkontaminasi oleh logam berat dan/atau radionuklida. Beberapa faktor yang bertanggung jawab untuk pengamatan faktor transfer: (a) aktivitas fisiologis tanaman pada saat pengendapan, (b) ketersediaan spesies radionuklida untuk serapan akar, dan (c) mobilitasnya melalui tubuh tanaman (Al Attar L, 2016). Tingkat akumulasi radionuklida ini oleh tanaman sangat berbeda tergantung pada sifat fisik dan kimia tanah dan spesies (IAEA, 2012).

### **4.3 Kajian Integrasi Islam**

Allah SWT menciptakan alam semesta ini dengan sangat sempurna. Untuk mengatur kelangsungan kehidupan makhluk-Nya di muka bumi, Allah telah

memberikan kepercayaan kepada manusia untuk memakmurkan dan mengelolanya dengan cara yang baik sehingga tidak terjadi bencana di muka bumi (QS. Hud [11]: 61).

وَالِي تَمُودَ أَخَاهُمْ صَالِحًا قَالَ يَا قَوْمِ اعْبُدُوا اللَّهَ مَا لَكُمْ مِنْ إِلَهٍ غَيْرُهُ هُوَ أَنْشَأَكُمْ مِنَ الْأَرْضِ  
وَاسْتَعْمَرَكُمْ فِيهَا فَاسْتَغْفِرُوا لَهُ ثُمَّ تُوْبُوا إِلَيْهِ إِنَّ رَبِّي قَرِيبٌ مُجِيبٌ ﴿٦١﴾

Artinya “Dan kepada Tsamud (kami utus) saudara mereka shaleh. Shaleh berkata: "Hai kaumku, sembahlah Allah, sekali-kali tidak ada bagimu Tuhan selain Dia. Dia telah menciptakan kamu dari bumi (tanah) dan menjadikan kamu pemakmurnya, karena itu mohonlah ampunan-Nya, kemudian bertobatlah kepada-Nya, Sesungguhnya Tuhanku Amat dekat (rahmat-Nya) lagi memperkenankan (doa hamba-Nya)”

Di dalam ayat tersebut, kata *وَاسْتَعْمَرَكُمْ* manusia berarti diperintahkan untuk memakmurkan bumi, karena manusia mempunyai potensi dan memiliki kesiapan untuk menjadi makhluk yang membangun. Memakmurkan bumi pada hakikatnya adalah pengelolaan lingkungan secara benar dengan cara melaksanakan pembangunan dan mengolah bumi. Karena alam harus dijaga dan dilestarikan supaya tidak punah sehingga dapat dimanfaatkan oleh generasi mendatang.

Pada jaman yang semakin modern ini banyak sekali kemajuan yang diciptakan oleh manusia, dan tidak sedikit pula yang berakibat buruk pada lingkungan sekitar. Kemajuan dibidang nuklir salah satu contoh kemutaakhiran teknologi yang manfaatnya sangat baik bila diolah dengan benar. Pada fasilitas nuklir yang memakai bahan bakar uranium memiliki resiko meluapkan bahan bakar yang dilepaskan melalui cerobong asap yang akan mengalir air dan mengendap di tanah. Apabila hal ini dibiarkan maka hal buruk tidak hanya akan di rasakan manusia namun makhluk hidup lainnya juga merasakannya. Peristiwa

tersebut yang membuat manusia lalai seolah-olah menemukan perbaikan padahal dia sendiri yang mencemari lingkungan. Allah berfirman pada (Q.S Al-Baqarah [2]: 11-12).

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ (١١) أَلَا إِنَّهُمْ هُمُ الْمُفْسِدُونَ  
وَلَكِنْ لَا يَشْعُرُونَ (١٢)

Artinya “Dan bila dikatakan kepada mereka, "Janganlah kalian membuat kerusakan di muka bumi:" Mereka menjawab, "Sesungguhnya kami orang-orang yang mengadakan perbaikan." Ingatlah, sesungguhnya mereka itulah orang-orang yang membuat kerusakan tetapi mereka tidak menyadarinya.”

Sebagai hamba Allah maka manusia seharusnya bertanggung jawab sebagai pemakmur bumi seperti yang disebutkan dalam QS Hud: 61, bukan menjadi perusak bumi dan perusak lingkungan hidup. Untuk mengatasi dampak dari penyerapan radioaktif bahan bakar nuklir dilakukan dekomisining dengan menggunakan fitoremediasi bunga matahari. Hasil fitoremediasi pada bunga matahari menunjukkan bahwa bunga matahari dapat mengakumulasi Sr paling efektif pada konsentrasi kontaminan 400 ppm. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa tanaman diciptakan bukan tanpa tujuan, sebagaimana dijelaskan dalam (Q.S Al-An'am [6]: 99).

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ  
حَبًّا مُتَرَاكِبًا

Artinya: “Dan Dialah yang menurunkan air dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan, maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau”

Sebagaimana Allah menciptakan bunga matahari yang sebagian orang masih beranggapan bahwa tanaman tersebut hanya memiliki nilai estetika karena memiliki bunga yang cantik dan bijinya yang dapat dimanfaatkan untuk minyak, namun dengan adanya penelitian ini dapat kita ketahui bahwa bunga matahari memiliki manfaat besar dalam menjaga dan melestarikan alam. Dengan demikian,

agar kita mengetahui bahwa Allah mengetahui segala sesuatu dengan kebesarannya.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  berpengaruh terhadap konsentrasi akumulasi strontium pada tanaman bunga matahari. Semakin tinggi konsentrasi strontium dalam tanah, semakin banyak strontium yang diserap tanaman bunga matahari. Jumlah strontium tertinggi yang dapat diakumulasi oleh tanaman bunga matahari sebesar 207.556 mg/kg diperoleh saat penambahan konsentrasi kontaminan 400 ppm dalam media tanam. Kadar strontium paling rendah ketika kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tidak ditambahkan ke dalam media tanam.
2. Konsentrasi kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tidak berpengaruh pada faktor transfer tanaman bunga matahari. Kisaran faktor transfer strontium pada tanaman bunga matahari adalah 0,094-0,272. Nilai faktor transfer lebih dari 1 menunjukkan bahwa tanaman memiliki kemampuan meremediasi.

#### **5.2 Saran**

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya diamati anatomi jaringan pada akar, batang, dan daun pada tanaman bunga matahari agar dapat diketahui lokalisasi strontium pada tanaman bunga matahari.
2. Pada saat penanaman sebaiknya dibawah polybag/pot diberi wadah untuk penampungan air dan kontaminan yang diberikan agar diketahui berapa kontaminan yang tidak terserap.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus Jamaludin, D. A. (2012). Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresence (XRF). BATAN, 19-28.
- Agus Setiabudi, R. H. (2012). Karakteristik Material. Bandung: UPI PRESS.
- Al Attar L, A.-O. M. (2015). Uptake and distribution of stable strontium in 26 cultivars of three crop species: oats, wheat, and barley for their potential use in phytoremediation. *Int J Phytoremediation*, 17:264–271.
- Al Attar L, A.-O. M. (2016). Ageing Impact on The Transfer Factor of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  to Lettuce and Winter wheat. *J Environ Radioact*, 164:19–25.
- Alfred F. Dorsey, D. M. (2004). Toxicological Profile for Stronsium. Georgia: U.S. Department of Health and Human Services.
- Algafari B. Manggara, M. S. (2018). Analisis Kandungan Mineral Daun Kelor (*Moringa oleifera* Lamk.) Menggunakan Spektrometer XRF (X-Ray Fluorescence). *Akta Kimia Indonesia*, 104-111.
- Anhar R. Antariksawan, M. J. (2017). Keselamatan Reaktor Nuklir. Jakarta: BATAN Press.
- Asgari K, C. W. (2015). Heavy metal accumulation in soils and grains, and health risks associated with use of treated municipal wastewater in subsurface drip irrigation. *Environ Monit Assess*, 187:410.
- Benson, L. (1957). *Plant Classification*. Boston: D. C Heath and Co.
- Carlip, S. (2015). Black Hole Thermodynamics. Arxiv.
- Chatterjee S, S. S. (2017b). Arsenic and its effect on major crop plants: stationary awareness to paradigm with special reference to rice crop. In: Gupta DK, Chatterjee S (eds) *Arsenic contamination in the environment: The issues and solutions*. New York: Springer.
- Choi YH, L. K. (2011). Time-dependent transfer of  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  from a sandy soil to soybean plants. *Nucl Sci Technol*, 1:392–395.
- Colle C, M.-E. C. (2009). Foliar transfer into the biosphere: review of translocation factors to cereal grains. *J Environ Radioact*, 100:683–689.
- Cruz-Dombriz, A. d., Dobado, A., & Maroto, A. L. (2009). Black Holes in f(R) theories. Arxiv.
- D. D. Santriyana, R. H. (2013). Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1-11.

- Dahl SG, A. P. (2001). Incorporation and distribution of strontium in bone. *Bone*, 28:446–453.
- Ding Kuke, L. S. (2016). Simulating the Transfer of Strontium-90 from Soil to Leafy Vegetables by Using Strontium-88. *Water Air Soil Pollut*, 227: 414.
- Dushenkov., S. (2003). Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*, 167-175.
- Fitri, A. E. (2014). Simulasi Monitoring Emisi Gas So<sub>2</sub> sebagai Indikator Bahaya Letusan Gunung Api untuk Melatihkan Tindakan Evakuasi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*.
- Flockhart DTT, K. T. (2015). Experimental evidence shows no fractionation of strontium isotopes (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) among soil, plants, and herbivores: implications for tracking wildlife and forensic science. *Isot Environ Health Stud*, 51:372–381.
- Gerstmann U, S. W. (2006). Soil-to-grain Transfer of Fallout <sup>90</sup>Sr for 28 Winter Wheat Cultivars. *Radiat Environ Biophys*, 45:187–194.
- Gia Rahayu Ningsih, I. G. (2022). Determination of Calcium Levels with XRF and Literature Review of its Bioavailability in Vitro of Dahlia Tubers Syrop (*Dahlia Pinnata Cav.*). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 146-159.
- Guillen, J. (2018). Factors Influencing the Soil to Plant Transfer of Strontium. *Behaviour of Strontium in Plants and the Environment*, 19 - 31.
- Gupta DK, D. U. (2018). Strontium in the ecosystem: transfer in plants via root system. Springer, Germany: In: Gupta DK, Walther C (eds) *Behaviour of strontium in plants and the environment*.
- Hadiyanto, A. C. (2018). Root Uptake and Distribution of Radionuclides <sup>134</sup>Cs and <sup>60</sup>Co in Sunflower Plants *Helianthus annuus L.* E3S Web of Conferences, 1-4.
- Hasriyasti Saptowati, U. (2011). Perencanaan Green Land Setelah Kegiatan Dekomisioning Gedung Pabrik Bahan Bakar Nuklir. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN*, 202-210.
- Hernandez-Allica J, B. J. (2008). Assessment of The Phytoextraction Potential of High Biomass Crop Plants. *Environ Pollut*, 152:32–40.

- Hidayati, N. (2013). Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 75-82.
- IAEA. (1993). *Planning and Management for the Decommissioning of Research Reactors and Other Small Nuclear Facilities*. Vienna: Technical Report Series No. 351.
- IAEA. (2012). *Guidelines for remediation strategies to reduce the radiological consequences of environmental contamination*. Vienna: IAEA Technical Report Series No.475.
- IAEA. (2010). *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environment* Technical Reports Series n°. Vienna: IAEA.
- IAIE. (2009). *Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments*. Vienna: TECTOC 1616.
- Istofa, L. Y. (2015). *Perekayasaan Perangkat Pemantau Radiasi Lingkungan Instalasi Nuklir*. Prima, 1-8.
- Jadia, C. a. (2009). *Phytoremediation of Heavy Metals: Recent Techniques*. *African Journal of Biotechnology*, 921-928.
- Khakim, A. (2018). *Identifikasi Produk Fisi Penting pada Fasilitas Uji SAMOP*. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, 351-358.
- Kutner, M. (2003). *Astronomy: A Physical Pespevtive*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lee SY, J. K. (2014). *Photosynthetic biomineralization of radioactive Sr via microalgal CO<sub>2</sub> absorption*. *Bioresour Technol*, 172:449–452.
- Martell, E. A. (1959). *Atmospheric Aspects of Stronsium-90 Fallout*. *Science*, 1197-1206.
- Mishra S, S. S. (2014). *Activity Ratio of Caesium, Strontium and Uranium with Site Specific Distribution Coefficients in Contaminated Soil near Vicinity of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*. *Chromatography Separation Techniques*, 1-6.
- Moyen C, R. G. (2010). *Uptake and Translocation of Strontium in Hydroponically Grown Maize Plants, and Subsequent Effects on Tissue Ion Content, Growth and Chlorophyll a/b Ratio: Comparison with Ca Effects*. *Environ Exp Bot*, 68:247–257.

- Ngasifudin Hamdani, S. I. (2000). Teknik Pemisahan Kimia Stronsium-90 dalam Air Tanah Sebagai Baku Analisis Radioaktivitas Lingkungan. P3TM-BATAN, 322-327.
- NJ, W. (2014). Soil to plant transfer of radionuclides: predicting the fate of multiple radioisotopes in plants. *J Environ Radioact*, 133:31–34.
- Nuklir, K. B. (2003). Pedoman Rencana Penanggulangan Keadaan Darurat. Jakarta: Kepala Badan Pengawa Tenaga Nuklir Nomor 05-P/Ka-BAPETEN/I-03.
- Pandi, L. Y. (2013). Pengaruh Sosial Ekonomi Akibat Dekomisioning Reaktor Nuklir di PLTN Vandellos I. Seminar Keselamatan Nuklir 2013 (pp. 146-156). Jakarta: BAPETEN.
- Poppy Intan Tjahaja, P. S. (2007). Penyerapan  $^{134}\text{Cs}$  dari tanah oleh Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus*, Less). Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir (pp. 289-298). Bandung: PTNBR – BATAN.
- Pradhan, S. C. (1998). Potential of phytoremediation for treatment of PAHs in soil at MGP sites. *J. Soil Contam*, 7, 467-480.
- Puradwi Ismu Wahyono, S. (2020). Analisis Produksi  $^{99}\text{Mo}$  Berbasis Waktu Iradiasi Larutan Uranil Nitrat Pada Fasilitas Reaktor Kartini. *Risalah Fisika*, 15-18.
- Purnama Dewi Rohana, S. d. (2020). Pengaruh Antara Waktu Penyerapan Terhadap Konsentrasi Cemar Pb pada Daun Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L). *Jurnal Ilmiah Biologi UMA*, 46-50.
- Qi L, Q. X. (2015). Uptake and distribution of stable strontium in 26 cultivars of three crop species: oats, wheat, and barley for their potential use in phytoremediation. *Int J Phytoremediation*, 17:264–271.
- R.A, K. (1981). *Nuclear Energy Technology*. Hemisphere Publishing Corporation.
- Ramadan, H. S., Prasetyo, I., & Kusuma, A. M. (2018). Higher-dimensional black holes with Dirac-Born-Infels (DBI) global defect. *General Relativity and Gravitation*, 96.
- Rifaldi, I. (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*, 132-139.
- RL, C. (1995). Potential use of metal hyperaccumulators. *Mining Environ Manag*, 3:9-11.

- Rosika K., D. A. (2007). Pengujian Kemampuan XRF Tambang Emas Komposisi Unsur Paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*, 161-166.
- Rubel Chakravarty, A. D. (2012). Availability of Yttrium-90 from Strontium-90: A Nuclear Medicine Perspective. *Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals*, 621-640.
- Sarkar, S. (2019). Black Hole Thermodynamics: General Relativity & Beyond. *Arxiv*.
- Schimmack W, G. U. (2007). Intra-cultivar Variability of The soil-to-grain Transfer of Fallout  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  for Winter Wheat. *J Environ Radioactiv*, 94:16–30.
- Setiawati, E. (2004). Kajian Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Sebagai Fitoremedia  $^{134}\text{Cs}$ . *Berkala Fisika*, 11-15.
- Smith, B. (2014). The domestication of *Helianthus annuus* L. (sunflower). *Veget Hist Archaeobot*, 23:57–74.
- Solovitch-Vella N, P. L.-L. (2007). Comparative migration behaviour of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239} + ^{240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  in mineral and organic soils of France. *Appl Geochem*, 22:2526–2535.
- Soudek, P. V. (2006).  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions. *J. Environ Radioactivity*, 1-15.
- Sri Murniasih, S. (2019). Distribusi Radionuklida Alam pada Sampel Tanah, Air dan Tanaman di Sekitar PLTU Palembang. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, 1-9.
- Sumantry, T. (2009). Aplikasi XRF untuk Identifikasi Lempung pada Kegiatan Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII*, 279-282.
- Sutoto, S. (2011). Konsep Pengelolaan Limbah Radioaktif Program Dekomisioning Reaktor Riset. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX*, 211-216.
- Tarsitano D, Y. S. (2011). Evaluating and reducing a model of radiocaesium soil-plant uptake. *J Environ Radioact*, 102: 262–269.
- Thiessen KM, T. M. (1999). Modelling radionuclide distribution and transport in the environment. *Environ Pollut*, 100:151–177.

- UNSCEAR. (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: UNSCEAR 2000 report to the general assembly, with scientific annexes.
- Wang X, C. C. (2017). Phytoremediation of strontium contaminated soil by *Sorghumbicolor* (L) Moench and soil microbial community-level physiological profiles (CLPPs). *Environ Sci Pol Res*, 24:7668–7678.
- Wardhana, W. A. (1994). Teknik Analisis Radioaktivitas Lingkungan. Yogyakarta: Andi Offset.
- Wen FP, W. D. (2009). Uptake and Distribution of  $^{133}\text{Cs}$  and  $^{88}\text{Sr}$  in Sunflower (*Helianthus annuus*L.). *Bull Bot Res* 29(5):592–596.
- Wiltse, C. R. (1998). Greenhouse Evaluation of Agronomic and Crude Oil-phyto-remediation Potential Among Alfalfa Genotypes. *J. Environ. Quality*, 169-173.
- Zainus Salimin, d. (2008). Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Asam Fosfat Petrokimia Gresik. Jakarta.
- Zheng G, P. R. (2016). Bioindicating Potential of Strontium Contamination with Spanish Moss *Tillandsia Usneoides*. *J Environ Radioact*, 152:23–27.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Pembuatan Larutan Kontaminan

Larutan stronsium pencemar dibuat dari  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  dengan perhitungan berikut:

Berat Molekul (Mr)  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  : 266,6193 g/mol

Berat Atom (Ar)  $^{88}\text{Sr}$  : 87,62 g·mol<sup>-1</sup>

- a. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,05 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 0,3043 \text{ gram}$$

- b. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 100 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,1 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 0,6086 \text{ gram}$$

- c. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 200 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,2 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 1,2172 \text{ gram}$$

- d. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 400 ppm sebanyak 2 L:

$$m \text{ SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} = \frac{Mr_{\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}}}{Ar_{\text{Sr}}} \times C \left( \frac{g}{l} \right) \times V(l) = \frac{266,6193 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)}{87,62 \left( \frac{g}{\text{mol}} \right)} \times 0,4 \left( \frac{g}{l} \right) \times 2(l) = 2,4343 \text{ gram}$$

**Lampiran 2.** Perhitungan Jumlah kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  yang Diberikan

Jumlah kontaminan  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  yang diberikan selama proses fitoremediasi yaitu 0,02 L perhari dan proses ini dilakukan selama 20 hari.

- a. Jumlah stronsium yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 50 ppm

$$\frac{0.3043 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0.06086 \text{ gram}$$

- b. Jumlah stronsium yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 100 ppm

$$\frac{0.6086 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0,12172 \text{ gram}$$

- c. Jumlah stronsium yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 200 ppm

$$\frac{1.2172 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0,24344 \text{ gram}$$

- d. Jumlah stronsium yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 400 ppm

$$\frac{2.4343 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0.48686 \text{ gram}$$

**Lampiran 3.** Data Konsentrasi Tanaman**Tabel 1.** Data Konsentrasi Stronsium pada Tanaman Bunga Matahari

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Berat Tanaman (kg)	Volume Pelarut (L)	Konsentrasi Stronsium (ppm)	Kadar Stronsium Pada Tanaman Sebenarnya
0	1	0.01270	0.01	28.139	22.157
	2	0.01210	0.01	36.454	30.127
	3	0.01150	0.01	56.068	48.755
50	1	0.00710	0.01	113.684	160.118
	2	0.01320	0.01	177.34	134.348
	3	0.01950	0.01	92.568	47.471
100	1	0.00580	0.01	71.972	124.090
	2	0.00430	0.01	66.688	155.088
	3	0.01420	0.01	100.064	70.468
200	1	0.00380	0.01	61.878	162.837
	2	0.00400	0.01	70.312	175.780
	3	0.01230	0.01	60.428	49.128
400	1	0.00790	0.01	161.646	204.615
	2	0.00680	0.01	154.207	226.775

	3	0.01540	0.01	294.568	191.278
--	---	---------	------	---------	---------

1. Konsentras kontaminan 0 ppm

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{28.139 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0127 \text{ kg}} = 22.1575 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{36.454 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0121 \text{ kg}} = 30.127 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{56.068 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0115 \text{ kg}} = 48.755 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

2. Konsentras kontaminan 50 ppm

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{113.684 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0071 \text{ kg}} = 160.118 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{177.34 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0132 \text{ kg}} = 134.348 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{92.568 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0195 \text{ kg}} = 47.471 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

3. Konsentras kontaminan 100 ppm

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{71.978 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.58 \text{ kg}} = 124.090 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{66.688 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0043 \text{ kg}} = 155.088 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{100.064 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0142 \text{ kg}} = 70.468 \text{ mg/kg}$$

4. Konsentras kontaminan 200 ppm

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

$$= \frac{61.878 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0038 \text{ kg}} = 162.837 \text{ mg/kg}$$

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

$$= \frac{70.312 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.004 \text{ kg}} = 175.78 \text{ mg/kg}$$

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

$$= \frac{60.428 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0123 \text{ kg}} = 49.128 \text{ mg/kg}$$

4. Konsentras kontaminan 400 ppm

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

$$= \frac{161.646 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0079 \text{ kg}} = 204.615 \text{ mg/kg}$$

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

$$= \frac{154.207 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0068 \text{ kg}} = 226.775 \text{ mg/kg}$$

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

$$= \frac{294.568 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.0154 \text{ kg}} = 191.278 \text{ mg/kg}$$

#### Lampiran 4. Data Konsentrasi Tanah

**Tabel 2.** Data Konsentrasi Stronsium 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	179.31	186.453	349.23	372.906
50	0.005	0.01		192.75		385.496
100	0.005	0.01		188.58		377.168
200	0.005	0.01		184.73		369.454
400	0.005	0.01		177.42		354.832

1. Kadar stronsium pada tanah sebelum dilakukan fitoremediasi

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

$$= \frac{179.306 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{358.612 \text{ kg}} = 358.612 \text{ mg/kg}$$

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

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

$$= \frac{186.453 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 372.91 \text{ mg/kg}$$

3. Kadar stronsium pada tanah setelah dilakukan fitoremediasi  
- 50 ppm

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

$$= \frac{192.748 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 385.50 \text{ mg/kg}$$

4. Kadar stronsium pada tanah setelah dilakukan fitoremediasi  
- 100 ppm

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

$$= \frac{188.584 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 377.17 \text{ mg/kg}$$

5. Kadar stronsium pada tanah setelah dilakukan fitoremediasi  
- 200 ppm

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{184.727 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 369.45 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

6. Kadar stronsium pada tanah setelah dilakukan fitoremediasi  
- 400 ppm

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{177.416 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 354.83 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

### Lampiran 5. Data Konsentrasi Air

**Tabel 3.** Data Konsentrasi Stronsium pada Air Penyiraman Tanaman Bunga Matahari

Kadar Stronsium Pada Air (ppm)	Jumlah Pemberian Pada Tanaman (L)	Volume Pengujian (L)	Kadar Stronsium pada air sebenarnya (mg/l)	Rata-Rata
7.521	1.80	0.05	270.76	312.68
8.273	1.80	0.05	297.83	
10.263	1.80	0.05	369.47	

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{7.521 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 1.8 \text{ L}}{0.05 \text{ kg}} = 270.76 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{8.273 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 1.8 \text{ L}}{0.05 \text{ kg}} = 297.83 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar sebenarnya} &= \frac{\text{kadar terbaca instrument} \times \text{volume larutan}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{10.263 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 1.8 \text{ L}}{0.05 \text{ kg}} = 369.47 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

### Lampiran 6. Data Faktor Transfer

**Tabel 4.** Data Nilai Faktor Transfer Stronsium dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari

Konsentrasi Kontaminan	Tanaman	Konsentrasi Stronsium Pada Tanah Awal (mg/kg)	Jumlah Pemberian Kontaminan (mg)	Konsentrasi Stronsium Pada Tanaman (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-Rata			
0	1	358.612	0	22.157	0.062	0.093916			
	2			30.127	0.084				
	3			48.755	0.136				
50	1		358.612	60.86	160.118	0.382	0.271721		
	2				134.348	0.320			
	3				47.471	0.113			
100	1			358.612	121.72	124.090	0.258	0.242642	
	2					155.088	0.323		
	3					70.468	0.147		
200	1				358.612	243.44	162.837	0.270	0.21468
	2						175.780	0.292	
	3						49.128	0.082	
400	1	358.612				486.86	204.615	0.242	0.245491
	2						226.775	0.268	
	3						191.278	0.226	

- Konsentrasi Kontaminan 0 ppm

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{22.157 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+0 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.0618 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{30.127 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+0 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.0840 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{48.755 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+0 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.1359 \end{aligned}$$

- Konsentrasi Kontaminan 50 ppm

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{160.1182 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+60.86) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.3817\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{134.348 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+60.86) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.3203\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{47.471 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+60.86) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.1132\end{aligned}$$

- Konsentrasi Kontaminan 100 ppm

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{124.090 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+121.72) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.2583\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{155.088 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+121.72) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.3229\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{70.468 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{358.612+121.72) \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} = 0.14671\end{aligned}$$

- Konsentrasi Kontaminan 200 ppm

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

$$= \frac{162.83684210526314 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{358.612+243.44) \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0.2705$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{175.78 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{358.612+243.44) \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0.292 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{49.128 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{358.612+243.44) \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0.082 \end{aligned}$$

- Konsentrasi Kontaminan 400 ppm

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{204.615 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{358.612+486.86) \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0.242 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{226.775 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{358.612+486.86) \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0.268 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Transfer} &= \frac{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanaman}}{\text{Konsentrasi Stronsium pada tanah}} \\ &= \frac{191.27792207792206 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{358.612+486.86) \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0.226 \end{aligned}$$

## Lampiran 7. Hasil Pengujian Kadar Stronsium (Sr)



**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-ptk@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 8. Data Hasil Uji Statistik

### a. Uji One Way ANOVA

- Konsentrasi Kontaminan Terhadap Jumlah Stronsium yang Terakumulasi

#### ANOVA

Akumulasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45752.233	4	11438.058	5.355	.014
Within Groups	21360.911	10	2136.091		
Total	67113.144	14			

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

#### ANOVA

FaktorTransfer

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.059	4	.015	1.704	.225
Within Groups	.086	10	.009		
Total	.145	14			

### b. Uji Lanjutan DMRT

- Konsentrasi Kontaminan Terhadap Konsentrasi Stronsium Terakumulasi

#### Akumulasi




Duncan<sup>a</sup>




doping	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0	3	33.6797		
50	3	113.9790	113.9790	
100	3	116.5487	116.5487	
200	3		129.2483	129.2483
400	3			207.5560
Sig.		.062	.708	.065

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.






a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian**

Alat dan Bahan	Gambar
XRF Rigaku Nex QC	
XRF Liquid Sample Cup & Holder	
Jirigen	

Sprit	 Four clear plastic syringes are shown standing upright on a dark, textured surface. The syringes have graduated scales and are labeled with 'SINGLE USE ONLY' and 'CC/ML'. The scales range from 0 to 10 or 20 mL.
Pipet Ukur	 A close-up photograph shows a person's hand wearing a white nitrile glove. The hand is holding a glass pipette and is in the process of transferring a small amount of liquid into a small, clear plastic container. The background shows a laboratory setting with a table and other equipment.
<i>Beaker Glass</i>	 A photograph showing a tray filled with numerous small, clear glass beakers. The beakers are arranged in a grid pattern on a light-colored surface. Some of the beakers contain a small amount of liquid, while others are empty.

Timbangan Analitik	 A photograph of an analytical balance scale, model GT410, with a digital display showing 0.004 g. A clear glass beaker is placed on a white paper on top of the scale's weighing pan.
Kertas merang	 A photograph of a single sheet of yellowish-brown, textured paper, likely used for weighing or as a barrier.
<i>Plastic Mylar</i>	 A photograph of a white plastic package for Mylar Thin-Film. The label includes the text: "Mylar® Thin-Film", "CAT. NO. 258", "Thin-Film WADs, 3 1/2\" data-bbox="468 454 748 548"/>
<i>Poly bag</i>	 A photograph of three black polyethylene bags. Two are standing upright, and one is lying flat in front of them.

Prosedur Penelitian	Dokumentasi
Aklisasi Tanaman Bunga Matahari	
Penyiapan Media Tanah	
Penanaman Bunga Matahari	
Pembuatan Larutan Kontaminan	
Preparasi Sampel	

Sampel yang telah di digesti



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 50 ppm



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 100 ppm



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 200 ppm



Tanaman dengan konsentrasi kontaminan 400 ppm



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
**JURUSAN FISIKA**

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. / Fax. (0341) 558933  
Website : <http://fisika.uin-malang.ac.id>, e-mail : [Fis@uin-malang.ac.id](mailto:Fis@uin-malang.ac.id)

**BUKTI KONSULTASI  
SKRIPSI**

**Nama** : Mauludiah Nikmatullah  
**NIM** : 19640063  
**Fakultas/Program Studi** : SAINTEK/Fisika  
**Judul Skripsi** : Fitoremediasi Produk Fisi Stronsium-90 yang Dimodelkan dengan Stronsium-88 Menggunakan Bunga Matahari (*Helianthus Annuus L.*) untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir  
**Pembimbing 1** : Dr. H. M. Tirono, M.Si  
**Pembimbing 2** : Ahmad Abtokhi, M.Pd

• **Konsultasi Fisika**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	7 September 2022	Konsultasi Judul	
2.	15 Oktober 2022	Konsultasi BAB I	
3.	10 November 2022	Konsultasi BAB II	
4.	15 November 2022	Konsultasi BAB III	
5.	3 Februari 2023	Konsultasi Revisi	
6.	10 Mei 2023	Konsultasi BAB IV dan V	
7.	19 Mei 2023	Konsultasi BAB IV dan V	

• **Konsultasi Integrasi**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	3 Februari 2023	Konsultasi Integrasi BAB I	
2.	7 Februari 2023	Konsultasi Integrasi BAB II	
3.	25 Maret 2023	Konsultasi Revisi	
4.	22 Mei 2023	Konsultasi integrasi BAB IV	

Malang, 24 Mei 2023  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan,

Dr. In'am Tazi, M.Si

NIP. 19740730 200312 1 002