

**FITOREMEDIASI PRODUK FISI IODINE-129 YANG DIMODELKAN
DENGAN IODINE-127 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI UNTUK
DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR**

SKRIPSI

Oleh:

ANIFATUR ROSYIDAH WAHYUNINGSIH
NIM. 19640027



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

**FITOREMEDIASI PRODUK FISI IODINE-129 YANG DIMODELKAN
DENGAN IODINE-127 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI
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:

Anifatur Rosyidah Wahyuningsih
NIM. 19640027

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

LEMBAR PERSETUJUAN

FITOREMEDIASI PRODUK FISI IODINE-129 YANG DIMODELKAN
DENGAN IODINE-127 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI UNTUK
DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR

SKRIPSI

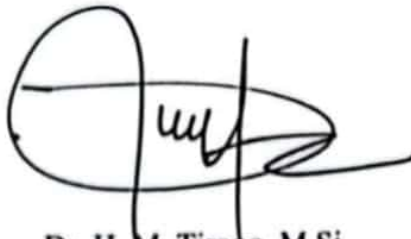
Oleh:

Anifatur Rosyidah Wahyuningsih
NIM. 19640027

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji:
Pada Hari/Tanggal: Jumat, 16 Juni 2023

Menyetujui,

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. Umar Fazi, M.Si
NIP. 19750901 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

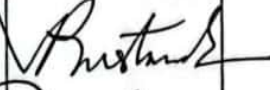
FITOREMEDIASI PRODUK FISI IODINE-129 YANG DIMODELKAN DENGAN IODINE-127 MENGGUNAKAN BUNGA MATAHARI UNTUK DEKOMISIONING FASILITAS NUKLIR

SKRIPSI

Oleh:

Anifatur Rosyidah Wahyuningsih
NIM. 19640027

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Skripsi dan diterima sebagai salah
satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Hari, Tanggal: Selasa, 20 Juni 2023

Ketua Penguji	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Anggota Penguji	<u>Drs. Cecep Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D</u> NIP. 19590729 198602 1 001	
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. Muhammad Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anifatur Rosyidah Wahyuningsih
NIM : 19640027
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Fitoremediasi Produk Fisi Iodine-129 yang
dimodelkan dengan Iodine-127 menggunakan Bunga
Matahari Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir

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

Malang, 20 Juni 2023

Yang membuat pernyataan



Anifatur Rosyidah Wahyuningsih
NIM. 19640017

MOTTO

"Dan ketahuilah, sesungguhnya kemenangan itu beriringan dengan kesabaran. Jalan keluar beriringan dengan kesukaran. Dan sesudah kesulitan, pasti akan datang kemudahan." - **HR. Tirmidzi**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan:

1. Kepada kedua orang tua tercinta **Bapak Ali Amri** dan **Ibu Ana Fatmawati** yang telah melahirkan, membesarkan dengan tulus dan penuh keikhlasan serta senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan sepenuh hati;
2. Kepada adek saya I'anutul Maghfiroh yang tidak berperan apapun;
3. Kepada YE yang telah memberikan bantuan secara penuh selama pengerjaan skripsi ini;
4. dan kepada diri sendiri yang telah berusaha dan berjuang sejauh ini.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Swt. yang telah memberikan nikmat serta hidayah-Nya terutama nikmat kesempatan dan kesehatan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **Fitoremediasi Produk Fisi Iodine-129 yang dimodelkan dengan Iodine-127 menggunakan Bunga Matahari Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir**”. Sholawat serta salam kita sampaikan kepada Nabi besar kita Muhammad saw. yang telah memberikan pedoman hidup yakni Al-Qur'an dan sunah untuk keselamatan umat di dunia. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Sains (S. Si) di Progam Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Ucapan terimakasih penulis haturkan kepada pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian ini, antara lain:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, dan hidayahnya sehingga penyusun dapat menyusun skripsi dengan baik.
2. Kedua orang tua dan keluarga besar yang telah memberi dukungan dan do'a serta semangat yang tiada henti selama pengerjaan skripsi
3. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Progam Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

6. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si dan Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah membimbing saya dalam menyusun skripsi ini.
7. Drs. Cecep Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D dan Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku dewan penguji.
8. Umar Sahiful Hidayat, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing MBKM yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu penyusunan skripsi.
9. Prasetyo Haryo Sadewo, S.T. selaku Dosen Pembimbing Proyek Dekomisioning yang telah bersedia mengajak ikut serta dan membantu dalam penyusunan skripsi.
10. 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
11. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses penyusunan skripsi.

Yogyakarta, 22 Oktober 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGAJUAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Dekomisioning Fasilitas Nuklir	7
2.2 Produk Fisi Iodine-129.....	9
2.3 Fitoremediasi	11
2.4 Tanaman bunga matahari (<i>Helianthus annuus L.</i>)	15
2.5 Hipotesis Penelitian.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Jenis Penelitian	18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.3 Alat dan Bahan	18
3.3.1 Alat	18
3.3.2 Bahan	19
3.4 Variabel Penelitian	19
3.4.1 Variabel bebas	19
3.4.2 Variabel terikat	19
3.4.3 Variabel kontrol.....	19
3.5 Rancangan Penelitian	20
3.6 Diagram Alir	21
3.7 Langkah-Langkah Penelitian.....	20
3.8 Metode Penelitian.....	22
3.8.1 Persiapan Tanaman Uji.....	22
3.8.2 Pengambilan Sampel Tanah	22
3.8.3 Analisis Awal Kadar Unsur Tanah Menggunakan XRF	22

3.8.4 Pembuatan larutan kontaminan KI	22
3.8.5 Penanaman Tanaman.....	23
3.8.6 Pemaparan Larutan Kontaminan	24
3.8.7 Destruksi Sampel tanaman	24
3.8.8 Penentuan Kadar Iodine	24
3.8.9 Analisis Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Jumlah Iodine yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari	29
4.2 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Nilai Faktor Transfer Tanaman Bunga Matahari	32
4.3 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Berat Tanaman Bunga Matahari Setelah Proses Fitoremediasi.....	35
4.4 Pembahasan.....	40
4.4.1 Mekanisme Akumulasi Iodine oleh Tanaman Bunga Matahari	40
4.4.2 Faktor Transfer Iodine dari tanah ke Tanaman Bunga Matahari ..	41
4.4.3 Pengaruh Kontaminan Terhadap Berat Tanaman Bunga Matahari	42
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaksi Fisi	7
Gambar 2. 2 Lintasan pelepasan radionuklida ke lingkungan	9
Gambar 2. 3 Proses penyerapan iodine oleh tumbuhan	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4. 1 Pengaruh konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi	30
Gambar 4. 2 Faktor transfer iodine pada tanaman bunga matahari	34
Gambar 4. 3 Berat tanaman bunga matahari setelah fitoremediasi.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Tabel pengumpulan data jumlah kontaminan KI yang diberikan dan jumlah Iodine yang terakumulasi	28
Tabel 3. 2	Tabel pengumpulan data kandungan Iodine dalam tanah	28
Tabel 4. 1	Kadar iodine dalam tanaman bunga matahari	29
Tabel 4. 2	Hasil Uji one way anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap jumlah Iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari	31
Tabel 4. 3	Hasil Uji DMRT pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap jumlah Iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari	32
Tabel 4. 4	Nilai faktor transfer iodine dari tanah ke tanaman bunga matahari ...	33
Tabel 4. 5	Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari.....	35
Tabel 4. 6	Berat tanaman setelah proses fitoremediasi	36
Tabel 4. 7	Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari setelah fitoremediasi	38
Tabel 4. 8	Hasil Uji DMRT pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan larutan kontaminan KI	53
Lampiran 2 Perhitungan Jumlah Kontaminan KI yang diberikan.....	54
Lampiran 3 Data Hasil Penelitian	55
Lampiran 4 Dokumentasi Alat.....	65
Lampiran 5 Dokumentasi Tanaman.....	69
Lampiran 6 Analisis Statistik.....	71

ABSTRAK

Wahyuningsih, Anifatur Rosyidah. 2023. Fitoremediasi Produk Fisi Iodine-129 yang dimodelkan dengan Iodine-127 menggunakan Bunga Matahari Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: (1) Dr. H. M Tirono, M. Si (2) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Fitoremediasi; Produk Fisi; Iodine; Bunga Matahari; Dekomisioning

Fasilitas nuklir yang sudah dihentikan perlu didekomisioning untuk menghilangkan residu yang berpotensi memiliki bahaya radiasi yang masih ada di lingkungan fasilitas nuklir agar bisa digunakan kembali dengan aman tanpa membahayakan masyarakat dan lingkungan. Metode yang dapat digunakan untuk pemulihan tanah yang terkontaminasi adalah teknologi fitoremediasi. Teknologi fitoremediasi memanfaatkan kemampuan alami tanaman untuk menyerap berbagai unsur kimia. Pada penelitian ini digunakan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*, Less) untuk melihat efektivitas penyerapannya terhadap iodine dari dalam tanah yang nantinya dapat dipertimbangkan menjadi fitoremediator lingkungan yang terkontaminasi iodine. Tanaman bunga matahari ditanam pada tanah yang diberi variasi konsentrasi 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm dan 800 ppm selama 28 hari. Setelah 28 hari sampel tanaman dan tanah didestruksi menggunakan HNO_3 kemudian diukur menggunakan instrument XRF. Hasil pengujian XRF berupa konsentrasi iodine dalam tanaman dan tanah dianalisis untuk memperoleh nilai faktor transfer (FT). Dari penelitian ini diperoleh nilai FT sebesar 0,389; 0,618; 0,494; 0,535; 0,568. Nilai faktor transfer yang rendah menunjukkan bahwa unsur tersebut tidak mudah dipindahkan dari tanah ke tanaman sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman bunga matahari tidak dapat digunakan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi radionuklida iodine. Konsentrasi iodine dalam tanah berbanding lurus dengan konsentrasi iodine dalam tanaman, akumulasi iodine pada tanah yang diberi kontaminan KI 800 ppm yaitu sebesar 567,931 mg/kg dan tanaman memiliki berat terkecil yaitu 0,006220 kg. Sehingga akumulasi iodine pada tanah berbanding terbalik dengan berat tanaman, semakin meningkat kontaminan KI yang diberikan semakin turun berat tanaman.

ABSTRACT

Wahyuningsih, Anifaturosyidah. 2023. Phytoremediation of Iodine-129 Fission Products Modeled by Iodine-127 Using Sunflowers for Nuclear Facility Decommissioning. Undergraduate Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang.

Supervisor: (1) Dr. H. M Tirono, M.Si (2) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keyword: Phytoremediation; Fission Products; Iodine; Sunflower; Decommissioning

Nuclear facilities that have been discontinued need to be decommissioned to remove residues that have the potential to have a radiation hazard that still exist in the environment of nuclear facilities so that they can be reused safely without endangering society and the environment. The method that can be used for the recovery of contaminated soil is phytoremediation technology. Phytoremediation technology utilizes the natural ability of plants to absorb various chemical elements. In this study, the sunflower plant (*Helianthus annuus*, Less) was used to see the effectiveness of its absorption of iodine from the soil which can later be considered as a phytoremediator for iodine-contaminated environments. Sunflower plants were planted in soil with varying concentrations of 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm and 800 ppm for 28 days. After 28 days the plant and soil samples were destroyed using HNO₃ and then measured using an XRF instrument. The results of the XRF test in the form of iodine concentrations in plants and soil were analyzed to obtain transfer factor (FT) values. From this study, the FT values were 0.389; 0.618; 0.494; 0.535; 0.568. The low value of the transfer factor indicates that the element is not easily transferred from the soil to the plant so that it can be said that sunflower plants cannot be used as a phytoremediator in soil contaminated with radionuclide iodine. The concentration of iodine in the soil is directly proportional to the concentration of iodine in the plant, the accumulation of iodine in the soil given 800 ppm KI contaminants is 567.931 mg/kg and the plants have the smallest weight of 0.006220 kg. So that the accumulation of iodine in the soil is inversely proportional to the weight of the plant, the more the KI contaminants are given the lower the plant weight.

مستخلص البحث

واهيونيع سية ،انيفتور راشيدة، ٢٠٢٣ ، المعالجة النباتية لمنتجات اليود -129 الانشطارية على غرار اليود -127 باستخدام عباد الشمس لإيقاف تشغيل المرفق النووي. أطروحة. برنامج دراسة الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. (المشرف: ١) الدكتور محمد تيزونو الماجستير (٢) احمد ابطاكي الماجستير

الكلمة الرئيسية: العلاج بالنباتات؛ منتجات الانشطار اليود؛ دوار الشمس؛ وقف التشغيل

يجب إيقاف تشغيل المنشآت النووية التي تم إيقافها لإزالة المخلفات التي يحتمل أن يكون لها خطر إشعاعي لا يزال موجودًا في بيئة المنشآت النووية بحيث يمكن إعادة استخدامها بأمان دون تعريض المجتمع والبيئة للخطر. الطريقة التي يمكن استخدامها لاستعادة التربة الملوثة هي تقنية المعالجة النباتية. تستخدم تقنية المعالجة النباتية القدرة الطبيعية للنباتات على امتصاص العناصر الكيميائية المختلفة. في هذه الدراسة ، تم استخدام نبات عباد الشمس (*Helianthus annuus*, Less) لمعرفة مدى فعالية امتصاصه لليود من التربة والذي يمكن اعتباره لاحقًا وسيطًا نباتيًا للبيئة الملوثة باليود. زرعت نباتات عباد الشمس في التربة بتركيزات متفاوتة من 0 جزء في المليون و 100 جزء في المليون و 200 جزء في المليون و 400 جزء في المليون و 800 جزء في المليون لمدة 28 يومًا. بعد 28 يومًا ، تم إتلاف عينات النبات والتربة باستخدام HNO ثم قياسها باستخدام أداة XRF. تم تحليل نتائج اختبار XRF على شكل تركيزات اليود في النباتات والتربة للحصول على قيم عامل النقل (FT) من هذه الدراسة ، تم الحصول على قيمة FT ، وهي 0.389; 0.618; 0.494; 0.535; 0.568. تعتبر قيمة عامل التحويل التي تزيد عن واحد هي أقل عتبة للمصنع الذي يشار إليه على أنه تراكم عنصري. من نتائج هذه الدراسة يمكن القول أن نباتات عباد الشمس يمكن أن تستخدم كمعالج نباتي للتربة الملوثة باليود النويدات المشعة. تركيز اليود في التربة يتناسب طرديًا مع تركيز اليود في النبات ، وتراكم اليود في التربة نظرًا ل 800 جزء في المليون من ملوثات KI هو 567.931 مجم / كجم والنباتات لها أصغر وزن 0.006220 كجم. بحيث يتناسب تراكم اليود في التربة عكسيًا مع وزن النبات ، فكلما زادت ملوثات الكلور كلما انخفض وزن النبات.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fasilitas nuklir Reaktor Kartini di Yogyakarta telah beroperasi sejak tahun 1979, menggunakan reaktor bertipe TRIGA (Training, Research and Isotopes by General Atomic). Pengoperasian reaktor kartini digunakan untuk menghasilkan sumber berkas neutron yang dimanfaatkan untuk pembuatan radionuklida dan penelitian material (Antariksawan & Juarsa, 2018). Selama reaktor nuklir beroperasi, menghasilkan unsur-unsur radioaktif produk hasil fisi yang akan terus terbentuk dan terakumulasi pada perangkat bahan bakar nuklir (Rohanda et al., 2018). Produk fisi merupakan hasil dari reaksi fisi atau pembelahan antara neutron (1_0n) dengan inti atom uranium (${}^{235}_{92}U$) yang terjadi pada teras reaktor nuklir (Antariksawan & Juarsa, 2018). Terdapat beberapa produk fisi penting yang dihasilkan dalam bahan bakar selama reaktor beroperasi, salah satunya yaitu ${}^{129}I$ (Malaka, 2019).

${}^{129}I$ dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui rantai makanan, air minum dan menghirup udara (Magill et al., 2003). Namun, Radioisotop ini memiliki waktu paruh yang panjang dan bersifat volatile sehingga jika memasuki lingkungan perairan atau terdeposisi dalam tanah hingga memasuki rantai makanan dapat membahayakan kesehatan (Yan et al., 2020), selain itu iodine dapat memberikan dosis radiasi yang signifikan pada tiroid dan dapat mengendap pada kelenjar tiroid hal ini karena tiroid dapat menampung iodine baik yang bersifat stabil maupun radioaktif (Khakim, 2018).

Reaktor yang masa beroperasinya sudah habis akan mengalami penurunan produktivitas pengoperasian dan jika tetap dioperasikan akan membahayakan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan disekitarnya sehingga reaktor tersebut segera distop, untuk tidak dioperasikan dan selanjutnya didekomisioning (Sutoto et al., 2017). Program dekomisioning fasilitas nuklir adalah suatu kegiatan untuk menghentikan secara tetap beroperasinya fasilitas atau instalasi yang memanfaatkan bahan nuklir antara lain pemindahan dan pengelolaan limbah radioaktif komponen fasilitas nuklir setelah dilakukan dekontaminasi dan dismantling (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2002). Tujuan dekomisioning adalah untuk menghilangkan residu yang berpotensi memiliki bahaya radiasi yang masih ada di lingkungan fasilitas nuklir, dengan cara membongkar bagian-bagian yang mengandung zat radioaktif (mothbaling), kemudian membongkar komponen-komponen lainnya dan bahan-bahan struktur teras reaktor (entombment), dan akhirnya membongkar semua bagian reaktor dan dekontaminasi (dismantling) gedung reaktor. Fasilitas yang telah dihentikan dan tidak didekomisioning dapat berpotensi menimbulkan bahaya radiologis terhadap lingkungan di masa mendatang. Pada reaktor nuklir Iodine memiliki mobilitas yang tinggi dan memiliki dampak yang sangat besar, sehingga diperlukan pengelolaan dekomisioning yang tepat untuk menghilangkan sisa Iodine dari lingkungan reaktor nuklir agar bisa digunakan kembali dengan aman.

Metode yang dapat dilakukan untuk memulihkan tanah yang terkontaminasi yaitu dengan metode pengerukan atau penggalian tanah (Dushenkov, 2003), pencucian tanah (Alaboudi et al., 2018), menggunakan ekstraksi kimia seperti natrium karbonat dan asam sitrat (Yan et al., 2020). Namun, metode ini

memerlukan mesin khusus yang harganya mahal dan rumit serta penggunaan bahan kimia yang dapat meresap kedalam air tanah yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan lebih lanjut (Yan et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan upaya alternatif yang lebih efektif dan efisien untuk memulihkan tanah dari polutan, salah satunya dengan metode biologis yaitu fitoremediasi.

Fitoremediasi merupakan pemanfaatan tumbuhan untuk mentransfer, menyerap atau mengakumulasi radionuklida berbahaya dari lingkungan dan mengubahnya menjadi polutan yang tidak berbahaya (Anshar Kenna, Asmawati, 2017). Keunggulan metode fitoremediasi dibandingkan dengan metode pengolahan limbah lainnya adalah proses pengolahannya yang mudah serta dalam pelaksanaannya tidak memerlukan biaya yang tinggi. Fitoremediasi juga dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik dan dapat mengurangi polutan secara signifikan. Selain itu, fitoremediasi merupakan metode pengolahan limbah yang ramah lingkungan (Soheti et al., 2020). Tanaman fitoremediasi yang dapat digunakan salah satunya yaitu tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.)

Tanaman bunga matahari merupakan salah satu tanaman hiperakumulator (Rachmatulloh et al., 2015). Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan polutan di dalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi (Irhamni et al., 2017). Hal tersebut sudah dibuktikan dengan berbagai penelitian, contohnya yaitu Penelitian yang telah dilakukan oleh Rifaldi (2022) dengan judul penelitian *fitoremediasi tanaman bunga matahari (helianthus annus l.) dan akar wangi (vetiveria zizanioides l.) dalam mengikat logam berat merkuri (hg) pada limbah tailing*

tambang emas poboya menunjukkan bahwa tanaman bunga matahari mampu menyerap Hg sebesar 0,0001 mg/kg pada umur 2 minggu setelah tanam. Penelitian yang dilakukan Chen et al., (2020) dengan judul *Phytoremediation of Uranium and Cadmium Contaminated Soils by Sunflower (Helianthus annuus L.)* hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan Uranium dan cadmium mencapai 177,48% dan 181,51% namun mengakibatkan efek merugikan pada tanaman bunga matahari dengan menurunnya biomassa tanaman. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Achmad & Hadiyanto, 2018) dengan judul *Root Uptake and Distribution of Radionuclides ^{134}Cs and ^{60}Co in Sunflower Plants (Helianthus annuus. L)* menunjukkan bahwa akumulasi konsentrasi tertinggi ^{134}Cs berada di daun, kemudian di dalam batang dan paling rendah di akar sedangkan akumulasi konsentrasi ^{60}Co paling banyak di akar, kemudian di dalam daun dan terendah di dalam batang.

Allah SWT telah menjelaskan manfaat dari berbagai macam tumbuhan dalam Al-Qur'an Q.S Asy-Syu'ara ayat 7 yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

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

Dari ayat diatas maka kita dapat memanfaatkan berbagai macam tumbuhan yang indah dan berguna yang telah diciptakan oleh Allah SWT salah satunya yaitu tanaman bunga matahari. Tanaman bunga matahari memiliki banyak manfaat dalam dalam berbagai bidang, salah satunya penghasil minyak di banyak Negara (Wahyudi et al., 2022). Selain penghasil minyak, tanaman bunga

matahari juga dapat dimanfaatkan sebagai tumbuhan fitoremediasi untuk mendegradasi polutan seperti radionuklida dan logam berat lainnya pada tanah.

Berdasarkan latar belakang diatas tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan tanaman bunga matahari dalam menyerap radionuklida Iodine-129 dari dalam tanah guna konsep perencanaan dekomisioning reaktor nuklir di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Seberapa besar pengaruh nilai konsentrasi kontaminan KI (Kalium Iodide) terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)?
2. Seberapa besar pengaruh nilai konsentrasi kontaminan KI (Kalium Iodide) terhadap nilai faktor transfer pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)?
3. Seberapa besar pengaruh nilai konsentrasi kontaminan KI (Kalium Iodida) terhadap berat tanaman bunga matahari (*helianthus annus L.*) setelah proses fitoremediasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan KI (Kalium Iodide) terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)

2. Untuk mengetahui pengaruh nilai konsentrasi kontaminan KI (Kalium Iodide) terhadap nilai faktor transfer pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*)
3. Untuk mengetahui pengaruh nilai konsentrasi kontaminan KI (Kalium Iodida) terhadap berat tanaman bunga matahari (*helianthus annus L.*) setelah proses fitoremediasi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mendegradasi produk fisi Iodine-129 dari dalam tanah menggunakan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus L.*) sebagai konsep perencanaan dekomisioning fasilitas nuklir di masa mendatang.

1.5 Batasan Masalah

1. Tanaman bunga matahari yang digunakan berusia 3 minggu
2. Produk fisi yang digunakan hanya Iodine-129 yang dimodelkan dengan Iodine-127
3. Penelitian ini menitik beratkan pada konsep dekomisioning di masa yang akan datang dengan fitoremediasi

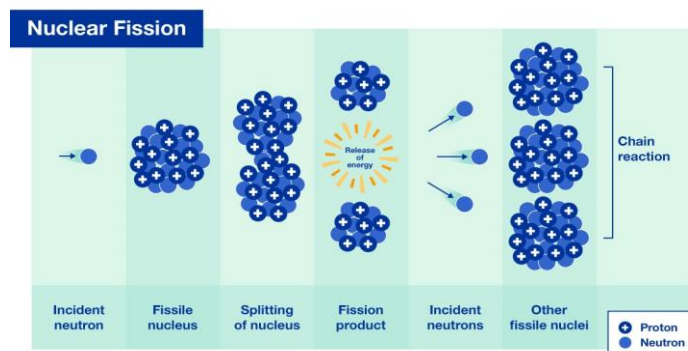
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

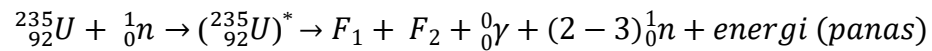
2.1 Dekomisioning Fasilitas Nuklir

Fasilitas nuklir meliputi reaktor nuklir, fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir, pengolahan ulang bahan nuklir bekas, fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan nuklir bekas (NUKLIR, 2003). Reaktor nuklir adalah alat atau instalasi yang dijalankan dengan bahan bakar nuklir yang dapat menghasilkan reaksi inti berantai yang terkendali dan digunakan untuk pembangkit daya, atau penelitian, dan/ atau produksi radioisotope (Antariksawan & Juarsa, 2018).

Pengoperasian reaktor akan menyebabkan terjadinya reaksi fisi atau pembelahan antara neutron (1_0n) dengan inti atom uranium (${}^{235}_{92}U$) yang terjadi pada teras reaktor nuklir sehingga menghasilkan energi, beberapa partikel neutron (1_0n) dan produk fisi (F1 dan F2) seperti pada reaksi berikut: (Antariksawan & Juarsa, 2018).



Gambar 2. 1 Reaksi Fisi



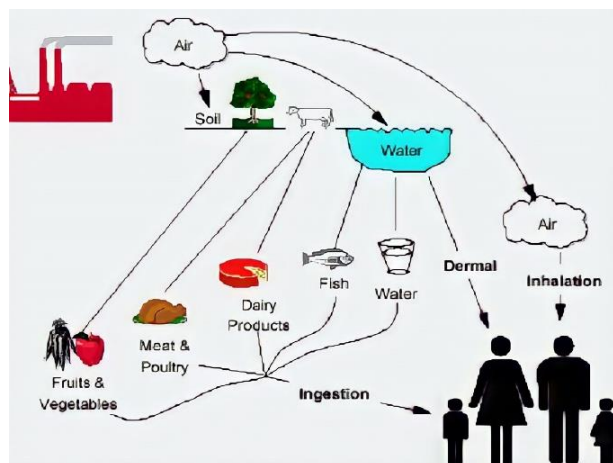
Satu reaksi inti pada satu inti atom ${}^{235}\text{U}$ menghasilkan 2 inti baru yang merupakan pembelahan dari inti ${}^{235}\text{U}$. Reaksi inti tersebut merupakan reaksi fisi atau pembelahan dan produk yang dihasilkan disebut produk fisi. Produk fisi yang dihasilkan berbentuk berbagai jenis unsur yang sebagian besar bersifat radioaktif (Antariksawan & Juarsa, 2018). Reaksi fisi juga menghasilkan 2-3 neutron per fisi. Inilah yang membuat reaksi ini berlangsung secara berantai karena neutron yang dihasilkan tersebut berinteraksi dengan inti atom ${}^{235}\text{U}$ yang lain. Karena jumlah neutron yang dihasilkan lebih besar dari interaksi awal, jumlah reaksi inti akan meningkat dengan cepat, dan energi yang dihasilkan dari setiap interaksi akan terakumulasi dalam jumlah sangat besar. Terdapat beberapa produk fisi penting yang dihasilkan dalam bahan bakar selama reaktor beroperasi, seperti I-129, Cs-137, Kr-85, I-135, I-131 dan Sr-90 (Khakim, 2018).

Bangunan atau struktur yang mengandung bahan radioaktif yang telah dinonaktifkan dan tidak lagi digunakan harus didekomisioning agar bisa digunakan kembali (Saptowati & Utomo, 2011). Dekomisioning didefinisikan sebagai serangkaian tindakan yang dilakukan pada akhir usia fasilitas nuklir dalam hal tidak dapat digunakan lagi, dengan memperhatikan kesehatan dan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan, atau serangkaian proses untuk menghentikan pengoperasian instalasi nuklir secara tetap (Suwardiyono, 2011). Tujuan akhir dari dekomisioning adalah untuk membebaskan bekas lokasi instalasi nuklir atau fasilitas radiasi dari kontaminasi radioaktif, sehingga membuat lahan menjadi aman untuk kepentingan umum tanpa membahayakan masyarakat dan lingkungan.

2.2 Produk Fisi Iodine-129

Iodine terdapat di lingkungan dalam bentuk stabil (^{127}I) dan dalam bentuk radioaktif (Magill et al., 2003). Iodine-127 adalah isotop iodine yang stabil dengan massa atom relative 126,904468. Iodine alam terkandung di tanah dan air, kemudian dioksidasi oleh sinar matahari sehingga menguap di udara dan akan dibawa kembali ke tanah oleh air hujan (Suparyanto dan Rosad, 2020). Secara keseluruhan rata-rata konsentrasi iodine dalam tanah adalah 2,6 mg/kg (Medrano-Macías et al., 2016).

Iodine-129 merupakan salah satu radionuklida yang memiliki waktu paruh panjang yaitu $1,59 \times 10^7$ tahun, bersifat volatile radiotoksitas dan memiliki mobilitas yang tinggi dari hasil siklus bahan bakar nuklir yang dilepaskan ke lingkungan (Magill et al., 2003). ^{129}I diproduksi oleh fisi yang diinduksi neutron dari ^{235}U dan ^{239}Pu dalam pengoperasian reaktor nuklir (Hou et al., 2009). ^{129}I meluruh dengan memancarkan partikel beta (150 keV), γ -foton (40 keV) dan radiasi sinar-X (30, 34 keV) (Magill et al., 2003).



Gambar 2. 2 Lintasan pelepasan radionuklida ke lingkungan

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) mempertimbangkan beberapa jalur masuk iodine ke manusia (UNSCEAR, 2021) yaitu melalui inhalasi rata-rata asupan harian $0,29 \mu\text{g}$ per hari; konsumsi air sebesar $5,3 \mu\text{g}$ per hari; konsumsi ikan laut dan kerang sebesar $11 \mu\text{g}$ per hari; pengendapan pada tanaman yang dikonsumsi langsung oleh manusia atau dicerna oleh hewan kemudian dicerna oleh manusia sebesar $6,6 \mu\text{g}$ per hari; dan serapan akar dari tanah diikuti oleh konsumsi tanaman dan produk hewani sebesar $200 \mu\text{g}$ per hari (Levchuk et al., 2023). Penyerapan iodine radioaktif dalam tubuh akan diambil dan diakumulasi oleh kelenjar tiroid yang hiperaktif atau oleh tumor tiroid yang berdiferensiasi. Konsentrasi tinggi yodium radioaktif menghancurkan jaringan kelenjar tiroid dan mengurangi produksi hormon. Hal ini karena tiroid mampu mengakumulasi iodine baik bersifat radioaktif maupun stabil. Karena waktu paruhnya yang panjang, ^{129}I secara signifikan dapat memengaruhi situasi radioekologi di Bumi dan berkontribusi pada paparan dosis kolektif jangka panjang pada manusia.

Metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi konsentrasi iodine dalam sampel berupa padatan, cair maupun bubuk dapat digunakan instrument X-Ray Fluorescence (XRF) (Brouwer, 2010). XRF merupakan teknik analisis nuklir yang telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang untuk analisis kualitatif dan kuantitatif unsur yang terkandung dalam sampel (Nengsih et al., 2022). Prinsip pengukuran X-ray Fluorescence berdasarkan atas terjadinya proses eksitasi elektron pada kulit atom bagian dalam ketika atom suatu unsur tersebut dikenai sinar-X, kekosongan elektron tersebut akan diisi oleh elektron bagian luar dengan melepaskan energi yang spesifik untuk setiap unsur (Saksono, 2002). Keuntungan

dari metode XRF diantaranya yaitu peralatan mudah dioperasikan (Nengsih et al., 2022), multi unsur, mampu menganalisis unsur dari nomor atom rendah sampai dengan nomor atom tinggi dari range konsentrasi % sampai ppm dengan proses yang cepat dan tidak merusak sampel (Faathir et al., 2022)

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi berdasarkan istilah kebahasaan berasal dari kata Phytoremediation (Inggris) dan terdiri dari dua bagian, yaitu phyto dari kata Yunani phyton (artinya tumbuhan) dan restorasi dari kata latin remediasi (artinya menyembuhkan) (Kartika & Fibriyanto, 2014). Teknologi fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai pemanfaatan tanaman secara efektif untuk menghilangkan, mendetoksifikasi atau menonaktifkan polutan lingkungan dalam substrat pertumbuhan (tanah, air atau sedimen) melalui aktivitas dan proses alami, biologis, kimia atau fisik tanaman (Jadia dan Fulekar, 2008). Fitoremediasi memanfaatkan kemampuan alami tanaman untuk menyerap berbagai unsur kimia melalui sistem akar, ditransfer ke jaringan pengangkut, dan mengangkut serta memilah unsur-unsur radioaktif dalam biomassa. Biomassa di atas tanah yang menyerap radionuklida dipanen, diproses untuk mengurangi volume dan konsentrasi radionuklida lebih lanjut, dan dibuang sebagai limbah radioaktif (Dushenkov, 2003)

Keuntungan menggunakan teknologi fitoremediasi yaitu biaya yang dibutuhkan sangat terjangkau, dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama serta ramah lingkungan tanpa merusak struktur tanah (Dietz & Schnoor, 2001). Fitoremediasi juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu diperlukan proses pembersihan yang relatif lama dan berbahaya apabila akumulasi logam atau radionuklida pada tanaman yang dapat masuk ke dalam rantai makanan jika

tanaman tersebut termakan oleh makhluk hidup. Selain itu, kelemahan metode fitoremediasi adalah keefektifannya dipengaruhi musim serta serangan hama dan penyakit tanaman, dan apabila konsentrasi kontaminan tinggi dapat menyebabkan fitotoksik dan menghambat pertumbuhan tanaman (Sukmabuana, 2007).

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاجْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ۝ ١٩٠
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ ۖ
رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا ۖ سُبْحَنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۝ ١٩١

Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal. (Yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka." (QS. Al-Imran 3 :190-191)

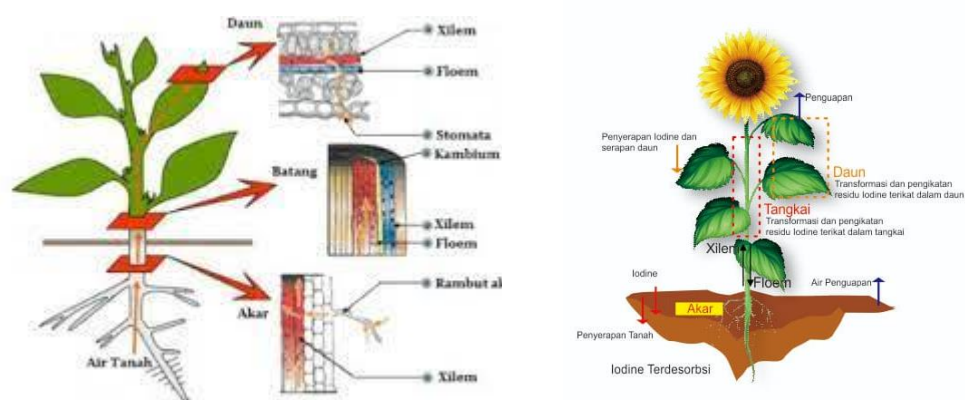
Berdasarkan ayat diatas dapat diartikan bahwa manusia diciptakan senantiasa dibekali dengan kelebihan akal sehingga dapat mempergunakan akalnya untuk menciptakan atau mempergunakan segala sesuatu yang telah diciptakan allah swt karena pada dasarnya setiap makhluk hidup di muka bumi tidak diciptakan dalam keadaan yang sia-sia. Seperti halnya tumbuh-tumbuhan yang memiliki banyak manfaat untuk kehidupan manusia. Salah satu bentuk pemanfaatan tumbuhan oleh manusia yaitu teknologi fitoremediasi. Dimana teknologi ini memanfaatkan proses alami tumbuhan untuk mereduksi polutan yang ada di tanah tanpa merusak struktur tanah.

Menurut Irhamni et al., (2017) mekanisme fitoremedisi meliputi fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, fitodegradasi dan rizodegradasi.

- a. Fitoekstraksi juga disebut fitoakumulasi dimana pada proses ini tumbuhan menarik zat kontaminan yang ada di tanah dengan akar tanaman kemudian

mentranslokasikan dan mengakumulasikan disekitar bagian tumbuhan yang dapat dipanen seperti tunas.

- b. Fitostabilisasi merupakan proses tumbuhan untuk mengakumulasikan kontaminan di dalam tanah ke bagian akar karena tidak dapat diteruskan ke bagian lain tanaman. Kontaminan tersebut akan stabil menempel pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air.
- c. Fitovolatilisasi yaitu proses transpirasi kontaminan oleh tumbuhan dan kemudian diuapkan ke atmosfer dalam bentuk yang tidak berbahaya.
- d. Fitodegradasi yaitu proses yang dilakukan oleh tumbuhan dalam mendegradasi kontaminan dengan bantuan enzim pada jaringan tanaman dan diuraikan menjadi molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tanaman itu sendiri.
- e. Rizodegradasi merupakan proses tumbuhan dalam mendegradasi kontaminan dengan bantuan aktivitas mikroorganisme yang ada disekitar akar tumbuhan seperti ragi, fungi dan bakteri.



Gambar 2. 3 Proses penyerapan iodine oleh tumbuhan

Iodine merupakan unsur yang dapat diserap oleh akar maupun stomata, baik dalam bentuk terlarut maupun dalam bentuk gas. Pada tanah, yodium masuk melalui penyerapan rambut akar ke dalam sel bersama dengan air dengan cara difusi, hal ini karena adanya perbedaan konsentrasi air dari dalam tanah dan dalam jaringan akar, sehingga air bergerak dari daerah yang konsentrasi airnya lebih banyak ke daerah yang konsentrasi airnya lebih sedikit. Kandungan air dalam tanah relatif tidak terbatas daripada air di jaringan akar hal itulah yang menyebabkan masuknya air tanah menuju jaringan akar (Nur, 2013). Setelah yodium diserap akan diangkut melalui xylem yang didorong oleh transpirasi daun (Mageshen et al., 2022). Iodine terredistribusi lebih rendah melalui floem hal ini menyebabkan yodium terakumulasi lebih banyak di daun. Setelah diserap, diangkut dan terakumulasi dalam organ tanaman yang berbeda, yodium menjadi tidak stabil sehingga tanaman akan menguapkan yodium sebagai metil iodida (CH_3I) menggunakan enzim halide ion metiltransferase (HMT) penguapan bisa lebih cepat karena yodium meningkatkan konsentrasinya di substrat dan terjadi di semua organ. Aksi metiltransferase terus menerus mengurangi simpanan yodium yang ada pada tanaman sehingga konsentrasi yodium pada tanaman dapat menurun secara eksponensial (Medrano-Macías et al., 2016)

Efektivitas tanaman dalam menyerap kontaminan dapat dilihat dengan pengujian pada medium tanam. Hasil pengujian yang terukur akan dihitung faktor transfer. Faktor transfer merupakan perpindahan radionuklida di lingkungan. Faktor transfer digunakan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menyerap radionuklida dari dalam tanah. Beberapa hal yang mempengaruhi faktor transfer adalah jenis radionuklida, jenis tanaman, jenis tanah, sifat fisika tanah (tekstur

tanah) dan sifat kimia tanah (pH tanah, kandungan bahan organik tanah, dan kapasitas tukar kation tanah) (Nirwani, 2010). Nilai faktor transfer adalah nilai yang dapat digunakan untuk menilai transfer radioiodine termasuk ^{129}I dari dalam tanah ke dalam komponen makanan yang dikonsumsi manusia jika terjadi pelepasan radioiodine ke lingkungan hal ini karena nuklida stabil dan nuklida radioaktif memiliki sifat kimia dan karakteristik biologis yang identik (Levchuk et al., 2023).

Sukmabuana, (2007) telah melakukan penelitian mengenai penyerapan ^{134}Cs dari tanah oleh tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*, Less). Dalam penelitiannya, Tanaman bunga matahari ditumbuhkan pada medium tanah yang dikontaminasi dengan ^{134}Cs dengan konsentrasi bervariasi dan tanah kontrol yang tidak dikontaminasi selama 45 hari, kemudian dilakukan pengamatan 5 hari sekali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Faktor Transfer (FT) tertinggi diperoleh pada hari ke-26 sebesar 1,89 untuk tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang dikontaminasi dengan ^{134}Cs sebesar 117,2 Bq/g. Nilai faktor transfer lebih dari satu merupakan batas ambang terendah suatu tanaman disebut sebagai akumulator unsur. Nilai faktor transfer lebih besar dari 20 telah dicapai nilai ekonomis karena dapat menghemat biaya pembersihan hingga 95%. Dari hasil penelitian ini dapat dikatakan bahwa tanaman bunga matahari dapat digunakan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi radionuklida Cs meskipun kurang ekonomis.

2.4 Tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.)

Bunga matahari merupakan tumbuhan musim pendek yang tergolong ke dalam famili Asteraceae dan genus *Helianthus* dengan lebih dari 70 spesies yang dikenal di seluruh dunia. Tanaman bunga matahari Biasanya ditanam di musim panas ketika ada curah hujan yang cukup. Bunga matahari identik dengan bunga yang besar

berwarna kuning (mengandung achenes berkembang menjadi biji matang) menghadap langsung sinar matahari, memiliki akar tunggang panjang, batang berbulu, dan daun kasar (Adeleke & Babalola, 2020). Tanaman bunga matahari dapat mempertahankan kelembapan karena memiliki akar tunggang yang panjang dan dalam sehingga memungkinkan tanaman pulih dengan cepat dari kehilangan kelembapan, dan tahan dalam kondisi stres (Adeleke & Babalola, 2020)

Tanaman bunga matahari merupakan tanaman hiperakumulator, yaitu tanaman yang memiliki kemampuan yang sangat tinggi untuk mengangkut pencemaran (Rachmatulloh et al., 2015). Semua tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap logam maupun radioaktif di dalam tanah tetapi dalam konsentrasi yang berbeda-beda (Irhamni et al., 2017). Tumbuhan menyerap elemen dari lingkungannya. Dalam penyerapan zat tersebut tumbuhan menunjukkan selektivitas namun kadang tumbuhan menyerap elemen yang sesungguhnya tidak diperlukan. Beberapa unsur radionuklida dalam tanah pada dosis rendah dapat menjadi nutrient untuk tanaman tersebut namun dalam dosis yang lebih tinggi dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan tanaman (Jadia & Fulekar, 2008).

2.5 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian pustaka maka dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

H01 : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari.

H11 : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari .

H02 : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer pada tanaman bunga matahari

H12 : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer pada tanaman bunga matahari.

H03 : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari

H13 : Terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental dengan pemodelan produk fisi Iodine-129 menggunakan Iodine-127 yang memanfaatkan tumbuhan bunga matahari untuk pemulihan tanah halaman Reaktor Karini Yogyakarta sebagai konsep dekomisioning dimasa yang akan datang.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober sampai dengan November 2022 di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Yogyakarta

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Timbangan analitik
2. Spuit 20mL
3. Botol jirigen
4. *X-Ray Fluorescence RIGAKU*
5. Beaker glass
6. Corong
7. XRF sample cup
8. Liquid sampel holder
9. Pipet
10. Gelas ukur

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Tanah yang berasal dari fasilitas nuklir reaktor kartini Yogyakarta
2. Bibit tanaman bunga matahari
3. Air
4. Kalium Iodide (KI)
5. Asam Nitrat (HNO_3) 70%
6. Plastik mylar
7. Plastik klip
8. Polybag
9. Kertas merang

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Konsentrasi kontaminan KI 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm, 800 ppm

3.4.2 Variabel terikat

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah:

1. Jumlah iodine yang terakumulasi
2. Faktor transfer
3. Berat tanaman

3.4.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah tanaman bunga matahari yang hanya disiram air

3.5 Rancangan Penelitian

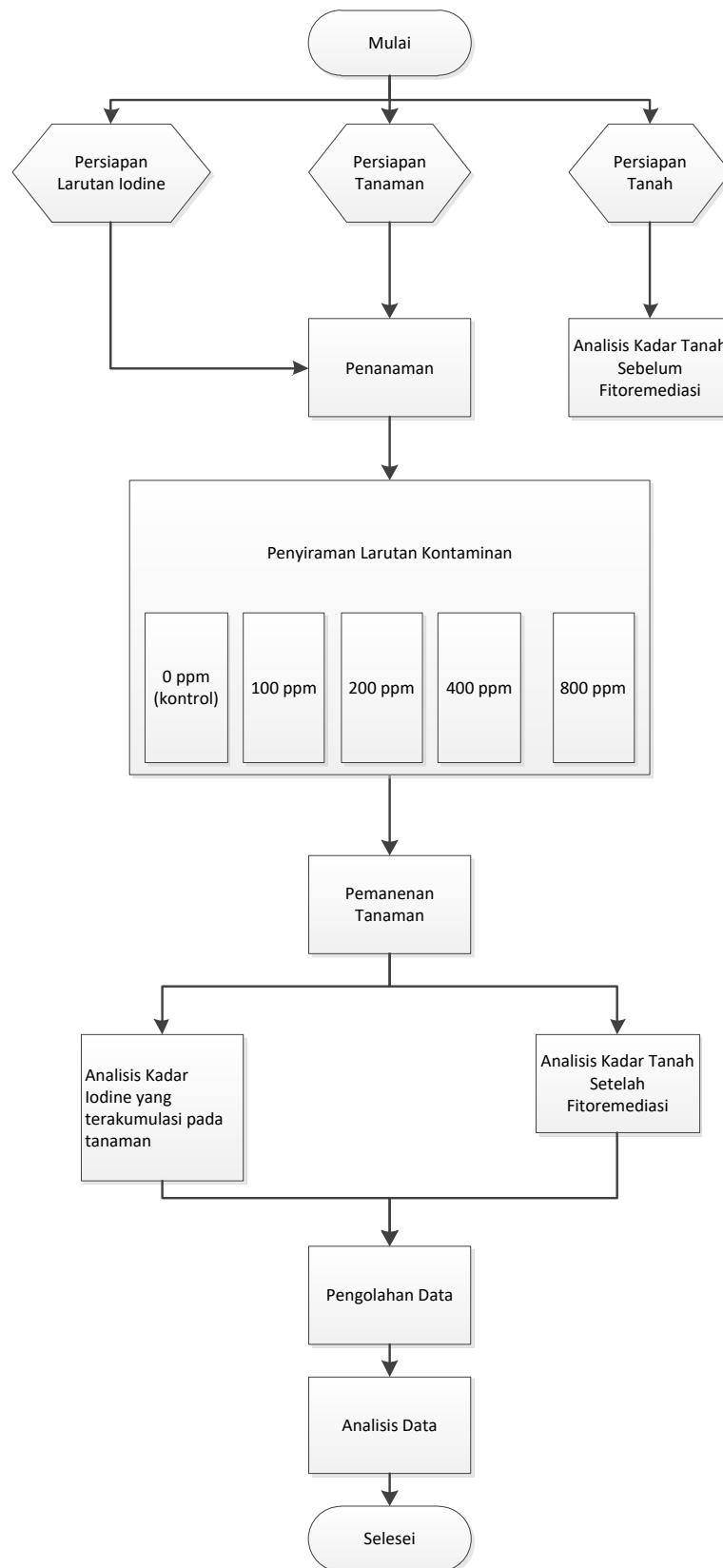
Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor variasi konsentrasi kontaminan KI yang diberikan dan setiap konsentrasi terdiri dari 3 sample. Faktor variasi konsentrasi kontaminan KI terdiri dari 4 variasi yaitu: A1 = 100 ppm; A2 = 200 ppm; A3 = 400 ppm; dan A4 = 800 ppm. Analisis menggunakan instrumen XRF (X-Ray Fluorescence) serta uji statistik ANOVA menggunakan software SPSS untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak antara berbagai variasi percobaan.

3.6 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah dari penelitian ini yaitu:

1. Persiapan tanaman uji
2. Pengambilan sample tanah
3. Analisis awal kadar unsur tanah
4. Pembuatan larutan KI sesuai dosis yang akan diberikan yakni, 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm, 800 ppm. Kemudian dilarutkan dengan air sebanyak 2 liter dan dikocok
5. Penanaman tanaman
6. Pemaparan larutan KI ke tanaman setiap hari 1 kali selama 5 hari.
7. Destruksi sample
8. Analisis kadar iodine pada tanah dan tanaman bunga matahari setelah 28 hari setelah tanam
9. Analisis data.

3.7 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.8 Metode Penelitian

3.8.1 Persiapan Tanaman Uji

Sebelum dilakukan proses fitoremediasi tanaman yang digunakan harus melalui tahap aklimasi dengan tujuan proses penyesuaian tanaman dengan lingkungan baru agar tidak terjadi shock dan kematian pada tanaman (Nurmalinda et al., 2018). Pada tahap ini tanaman uji diaklimasi selama 7 hari dengan disiram air setiap hari pada sore hari.

3.8.2 Pengambilan Sampel Tanah

Sample tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari halaman badan tenaga nuklir nasional (BATAN) Yogyakarta. Pengambilan tanah dilakukan dengan menggunakan sekop kemudian dibersihkan dari batuan dan akar-akaran yang ada.

3.8.3 Analisis Awal Kadar Unsur Tanah Menggunakan XRF

Tanah yang telah dibersihkan dan akan digunakan untuk media penanaman diambil sebanyak 5 gram untuk dianalisis kandungan awal pada tanah sebelum dilakukan fitoremediasi. Analisis kandungan tanah awal sebelum ditanami dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi iodine pada tanah dengan menggunakan instrumen XRF.

3.8.4 Pembuatan larutan kontaminan KI

Larutan iodine pencemar dibuat dari padatan KI dengan perhitungan berikut:

$$\text{Berat molekul KI (Mr KI)} = 166 \text{ g/mol}$$

$$\text{Berat atom I (Ar I)} = 127 \text{ g/mol}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 100 ppm sebanyak 2L:

Massa

$$KI = \frac{M_r KI}{A_r KI} \times C(g/l) \times V(l) = \frac{166 \left(\frac{g}{mol}\right)}{127 \left(\frac{g}{mol}\right)} \times 0,1 \left(\frac{g}{l}\right) \times 2(l) = 0,261 \text{ gram}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 200 ppm sebanyak 2L:

Massa

$$KI = \frac{M_r KI}{A_r KI} \times C(g/l) \times V(l) = \frac{166 \left(\frac{g}{mol}\right)}{127 \left(\frac{g}{mol}\right)} \times 0,2 \left(\frac{g}{l}\right) \times 2(l) = 0,522 \text{ gram}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 400 ppm sebanyak 2L:

Massa

$$KI = \frac{M_r KI}{A_r KI} \times C(g/l) \times V(l) = \frac{166 \left(\frac{g}{mol}\right)}{127 \left(\frac{g}{mol}\right)} \times 0,4 \left(\frac{g}{l}\right) \times 2(l) = 1,045 \text{ gram}$$

Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 800 ppm sebanyak 2L:

Massa

$$KI = \frac{M_r KI}{A_r KI} \times C(g/l) \times V(l) = \frac{166 \left(\frac{g}{mol}\right)}{127 \left(\frac{g}{mol}\right)} \times 0,8 \left(\frac{g}{l}\right) \times 2(l) = 2,091 \text{ gram}$$

3.8.5 Penanaman Tanaman

Tanaman bunga matahari yang berusia 3 minggu dan telah diaklimasi selama 7 hari dipindahkan kedalam pollybag dengan media tanah yang diambil dari halaman reaktor kartini Yogyakarta dan telah diuji kadar awalnya. Setiap pot di isi 1 tanaman, dengan jumlah sampel tanaman sesuai dengan variasi dosis dengan

masing-masing variasi terdiri 3 pengulangan dan 3 individu kontrol yaitu berjumlah 15 tanaman. tanaman disiram air setiap pagi hari

3.8.6 Pemaparan Larutan Kontaminan

Setelah tanaman dipindahkan, larutan kontaminan di aplikasikan setiap hari 1 kali pada sore hari dan disiram air di pagi hari, setiap pemaparan larutan kontaminan sebanyak 20 mL setiap tanaman. Pengaplikasian kontaminan dilakukan selama 28 hari lalu dipanen untuk dilakukan pengujian.

3.8.7 Destruksi Sampel tanaman

Sampel tanaman diambil untuk dilakukan pengujian setelah 28 hari pemaparan kontaminan KI. Sampel tanaman dicuci bersih dengan air mengalir. Tanaman yang telah bersih diangin-anginkan beberapa jam kemudian dilakukan penimbangan berat tanaman dan kemudian di destruksi. Proses destruksi dilakukan untuk mendapatkan suatu larutan yang telah bercampur sempurna dengan iodine yang terkandung dalam sampel tanaman dengan cara melarutkan sampel ke dalam 5ml asam nitrat (HNO_3). Penambahan asam HNO_3 mempunyai tujuan tersendiri yaitu untuk mendestruksi zat organik pada suhu rendah dengan maksud menghindari kehilangan mineral akibat penguapan (Asmorowati, Dian Sri. Sumarti, Sri Susilogati. Kristanti, 2020). Setelah sampel larut, pindahkan larutan sampel ke dalam vial untuk dianalisis dengan XRF

3.8.8 Penentuan Kadar Iodine

3.8.8.1 Penentuan Kadar Iodine Dalam Sampel Tanaman Bunga Matahari

Sampel dalam vial dimasukkan ke perangkat XRF, pada program Minipal, buka menu Measure, kemudian Measure Standardless lalu menuliskan nama sampel pada kolom ID atau Sampel Ident and Measure dan tunggu selama 30 detik

hingga proses pengukuran selesai. Hasil dapat dilihat pada menu hasil, dan selanjutnya hasil yang dapat dicetak.

3.8.8.2 Penentuan Kadar Iodine dalam tanah setelah Fitoremediasi

Tanah media proses fitoremediasi diambil dan dipisahkan dari akar-akar tanaman kemudian ditimbang sebanyak 5 gram. Setelah itu sampel dilarutkan ke dalam larutan asam nitrat (HNO_3) sebanyak 5 ml. Selanjutnya larutan sampel dimasukkan kedalam vial untuk dilakukan pengukuran menggunakan XRF.

3.8.9 Analisis Data

3.8.9.1 Analisis data hasil XRF

Hasil pengukuran sampel menggunakan XRF berupa angka dengan satuan ppm, hasil tersebut merupakan besarnya konsentrasi iodine yang terakumulasi pada tanaman bunga matahari setelah melalui proses destruksi. Kemudian di plot grafik hubungan antara konsentrasi KI yang diberikan pada proses fitoremediasi terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman.

3.8.9.2 Analisis Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Jumlah Iodine yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari

Penentuan konsentrasi kontaminan KI yang diberikan terhadap jumlah iodine yang terkumulasi dalam tanaman pada setiap konsentrasi kontaminan yang diberikan dianalisis pada SPSS menggunakan jenis ANOVA yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari. Dengan hipotesis:

- a. H_0 diterima, jika signifikan $> 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

- b. H_0 ditolak, jika signifikan $< 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

3.8.9.3 Analisis Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Nilai Faktor Transfer Tanaman Bunga Matahari

Data konsentrasi Iodine dalam bagian tanaman dan tanah dianalisis untuk memperoleh nilai faktor transfer (F_t). Nilai faktor transfer dihitung dari rasio konsentrasi radionuklida pada tanaman terhadap konsentrasi radionuklida dalam tanah.

$$F_t = \frac{C_2}{C_1}$$

Dengan:

F_t = faktor transfer

C_1 = konsentrasi radionuklida dalam tanah (mg/kg)

C_2 = konsentrasi radionuklida dalam tanaman (mg/kg)

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.

Data yang diperoleh dianalisis dengan pada SPSS menggunakan jenis ANOVA yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari. Dengan hipotesis:

- c. H_0 diterima, jika signifikan $> 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari
- d. H_0 ditolak, jika signifikan $< 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari

3.8.9.4 Analisis Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Berat Tanaman Bunga Matahari

Pengukuran berat basah tanaman sesaat setelah panen karena berat tanaman dianggap sebagai hasil dari semua proses atau peristiwa yang terjadi selama pertumbuhan tanaman (Yulianti, 2021). Berat tanaman diperoleh dengan menimbang tanaman sesaat setelah panen. Data hasil penimbangan dilakukan analisis menggunakan SPSS untuk mengetahui adanya pengaruh pemberian kontaminan KI terhadap berat tanaman. Dengan hipotesis:

- 1. H_0 diterima, jika signifikan $> 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari
- 2. H_0 ditolak, jika signifikan $< 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari

Tabel 3. 1 Tabel pengumpulan data jumlah kontaminan KI yang diberikan dan jumlah Iodine yang terakumulasi

Konsentrasi Kontaminan KI	Pengulangan Tanaman	Jumlah kontaminan KI yang diberikan	Jumlah Iodine yang terakumulasi
0 ppm	1		
	2		
	3		
100 ppm	1		
	2		
	3		
200 ppm	1		
	2		
	3		
400 ppm	1		
	2		
	3		
800 ppm	1		
	2		
	3		

Tabel 3. 2 Tabel pengumpulan data kandungan Iodine dalam tanah

Konsentrasi Kontaminan KI	Kadar Iodine pada tanah awal	Kadar iodine pada tanah akhir
0 ppm		
100 ppm		
200 ppm		
400 ppm		
800 ppm		

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

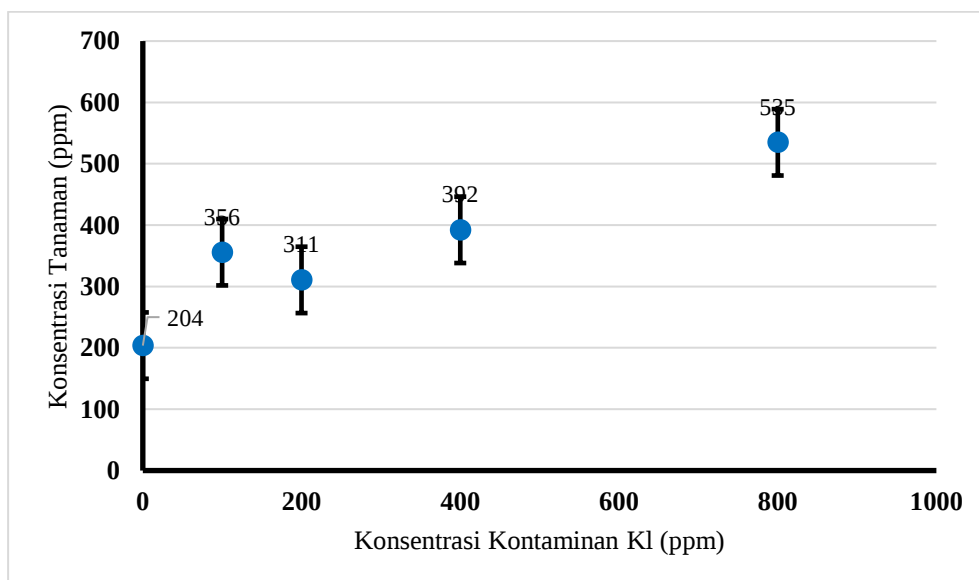
4.1 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Jumlah Iodine yang Terakumulasi dalam Tanaman Bunga Matahari

Tanaman bunga matahari diberikan penambahan kontaminan KI dengan variasi konsentrasi 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm dan 800 ppm untuk mengetahui adanya pengaruh penambahan konsentrasi kontaminan terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman. Tanaman yang telah dipanen di destruksi dalam larutan HNO_3 sebanyak 10 ml hingga terbentuk larutan yang jernih dan tidak mengandung endapan. Kemudian dilakukan pengukuran menggunakan instrument XRF.

Tabel 4. 1 Kadar iodine dalam tanaman bunga matahari

Konsentrasi Kontaminan KI	Pengulangan Tanaman	Jumlah kontaminan KI yang diberikan (mg)	Jumlah Iodine yang terakumulasi (mg/kg)	Rata-rata jumlah iodine yang terakumulasi (mg/kg)	Standar Deviasi
0 ppm	1	0	203,837	203,667	3,754376
	2		199,831		
	3		207,334		
100 ppm	1	52	490,735	355,853	122,1369
	2		324,085		
	3		252,739		
200 ppm	1	104,4	240,427	310,776	63,23353
	2		329,017		
	3		362,884		
400 ppm	1	209	437,866	392,326	45,03142
	2		391,291		
	3		347,821		
800 ppm	1	418,2	548,130	534,960	41,16695
	2		488,820		
	3		567,931		

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari kontrol lebih sedikit dibandingkan dengan yang diberikan kontaminan KI. Akumulasi iodine pada tanaman kontrol rata-rata sebesar 203,667 mg/kg dan standar deviasi $\pm 3,754376$, pada tanaman yang diberikan penambahan KI 100 ppm rata-rata iodine yang terakumulasi sebesar 355,853 mg/kg dan standar deviasi $\pm 122,1369$, tanaman yang diberikan penambahan KI 200 ppm rata-rata iodine yang terakumulasi sebesar 310,776 mg/kg dan standar deviasi $\pm 63,23353$, tanaman dengan penambahan KI 400 ppm mengakumulasi iodine rata-rata sebesar 392,326 mg/kg dan standar deviasi $\pm 45,03142$ sedangkan tanaman yang diberikan penambahan KI 800 ppm mengakumulasi iodine rata-rata sebesar 534,960 mg/kg dan standar deviasi $\pm 41,16695$.



Gambar 4. 1 Pengaruh konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa terdapat proses penyerapan iodine oleh tanaman bunga matahari namun dengan jumlah yang bervariasi. Penyerapan iodine oleh tanaman bunga matahari dipengaruhi oleh tingkat ketersediaan iodine dalam tanah dan kondisi pertumbuhan tanaman. Semakin tinggi konsentrasi iodine dalam

tanah, semakin banyak iodine yang diserap tanaman bunga matahari. Jumlah iodine tertinggi yang dapat diakumulasi oleh tanaman bunga matahari 567,931 mg/kg diperoleh saat dilakukan penambahan kontaminan KI sebesar 800 ppm dalam media tanam dan jumlah iodine terendah 199,831 mg/kg pada saat tidak diberikan penambahan kontaminan KI pada media tanam.

Pengaruh konsentrasi kontaminan KI yang diberikan terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari dapat dilakukan uji secara statistik menggunakan oneway anova pada SPSS. Kemudian dilakukan pengujian hipotesis:

1. H_0 diterima, jika signifikan $> 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari
2. H_0 ditolak, jika signifikan $< 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

Tabel 4. 2 Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap jumlah Iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat Iodine Terakumulasi	F Hitung	Sig.
Antar Grup	175605.067	4	43901.267	9.690	0.002
Dalam Grup	45305.100	10	4530.510		
Total	220910.167	14			

Hasil uji ANOVA pada tabel 4.2 diperoleh nilai signifikan sebesar 0.002 yang berarti lebih kecil dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis H_0 ditolak, sehingga hipotesis bahwa terdapat pengaruh pemberian konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga

matahari dapat diterima. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan antar taraf konsentrasi dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT).

Tabel 4. 3 Hasil Uji DMRT pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap jumlah Iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

Konsentrasi kontaminan KI	Konsentrasi tanaman	Notasi
0	203.667	a
100	355.853	b
200	310.776	a, b
400	392.326	b
800	534.960	c

Hasil uji Duncan pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa pemberian konsentrasi kontaminan KI terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari menghasilkan beda nyata yang signifikan. Perlakuan yang terbaik terdapat pada perlakuan pemberian kontaminan KI 800 ppm yang ditandai dengan huruf c, perlakuan ini merupakan perlakuan yang menunjukkan nilai akumulasi iodine tertinggi. sedangkan konsentrasi iodine yang terakumulasi dalam tanaman yang paling rendah pada perlakuan 0 ppm, 200 ppm, 100 ppm, 400 ppm, 800 ppm yaitu 203.66733 ppm, 310.77600 ppm, 355.85300 ppm, 392.32600 ppm, 534.96033 ppm. Sehingga dapat dikatakan tanaman bunga matahari baik dalam mereduksi tanah yang tercemar iodine hingga 800 ppm.

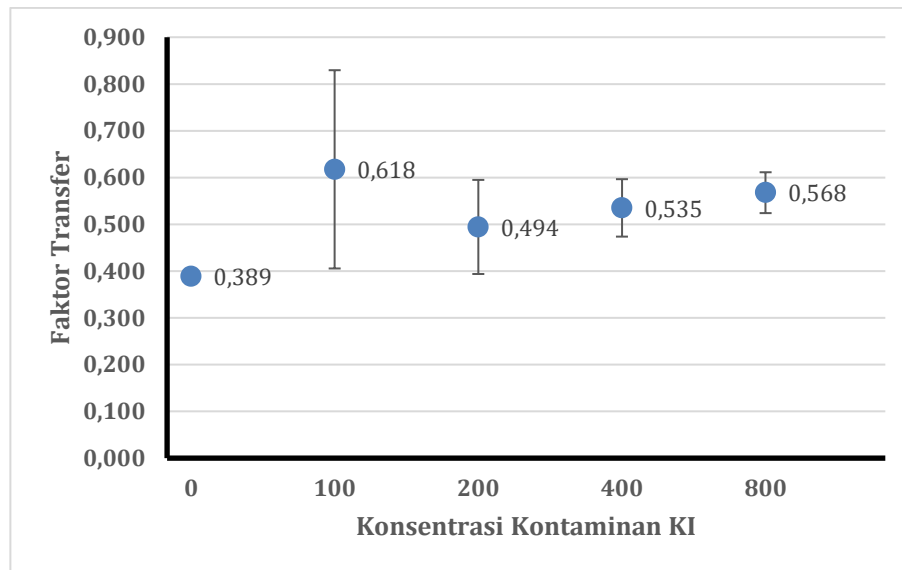
4.2 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Nilai Faktor Transfer Tanaman Bunga Matahari

Faktor transfer Iodine mengacu pada elemen yang diserap oleh sistem akar, yang didefinisikan sebagai rasio konsentrasi iodine dalam jaringan tanaman dengan konsentrasi dalam substrat (tanah). Data faktor transfer iodine dari tanah ke tanaman bunga matahari dari tiap perlakuan penambahan kontaminan KI disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai faktor transfer iodine dari tanah ke tanaman bunga matahari

Konsentrasi kontaminan KI (ppm)	Konsentrasi tanaman (mg/kg)	Konsentrasi Tanah (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-rata FT tiap doping	Standar Deviasi
0	203,837	524,238	0,39	0,389	0,00716
	199,831	524,238	0,38		
	207,334	524,238	0,40		
100	490,735	576,238	0,85	0,618	0,21196
	324,085	576,238	0,56		
	252,739	576,238	0,44		
200	240,427	628,638	0,38	0,494	0,10059
	329,017	628,638	0,52		
	362,884	628,638	0,58		
400	437,866	733,238	0,60	0,535	0,06141
	391,291	733,238	0,53		
	347,821	733,238	0,47		
800	548,130	942,438	0,58	0,568	0,04368
	488,820	942,438	0,52		
	567,931	942,438	0,60		

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai faktor transfer iodine dari tanah ke tanaman bunga matahari bervariasi berdasarkan kondisi konsentrasi KI dalam media tanam. Tanaman yang ditanam pada tanah yang tidak diberi penambahan kontaminan KI diperoleh nilai rata-rata faktor transfer dari tanah ke tanaman sebesar 0,389 sedangkan tanaman yang ditanam pada tanah yang diberi kontaminan KI dengan konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm, 800 ppm diperoleh rata-rata nilai faktor transfer dari tanah ke tanaman masing-masing sebesar 0,618; 0,494; 0,535; 0,568.



Gambar 4. 2 Faktor transfer iodine pada tanaman bunga matahari

Gambar 4.2 menunjukkan nilai faktor transfer iodine pada tanaman bunga matahari memiliki rentang antara 0,38 hingga 0,61. Nilai faktor transfer terkecil yaitu sebesar 0,38 pada saat kondisi tanaman kontrol atau tidak dilakukan penambahan kontaminan KI pada media tanah dan nilai faktor transfer terbesar yaitu 0,85 pada saat tanaman diberi penambahan kontaminan KI sebesar 100 ppm. Besarnya nilai faktor transfer pada saat dilakukan penambahan KI 100 ppm dikarenakan tanaman masih dalam kondisi adaptasi dan masih mampu untuk mentransfer iodine dari dalam tanah ke tanaman bunga matahari namun semakin bertambahnya konsentrasi yang diberikan maka tanaman juga akan menyerap iodine semakin banyak yang ditandai dengan tingginya nilai faktor transfer. Nilai faktor transfer yang tinggi menunjukkan tingkat perpindahan yang tinggi dari tanah ke tanaman (Ashworth, 2009). Pengaruh penambahan kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer iodine dari tanah ke tanaman bunga matahari dapat dilakukan uji secara statistik menggunakan oneway anova pada SPSS. Kemudian dilakukan pengujian hipotesis:

1. H_0 diterima, jika signifikan $> 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari
2. H_0 ditolak, jika signifikan $< 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari

Tabel 4. 5 Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari

	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat Faktor Transfer	F Hitung	Sig.
Antar Grup	.088	4	.022	1.801	.205
Dalam Grup	.122	10	.012		
Total	.210	14			

Tabel 4.5 menunjukkan nilai signifikan diperoleh sebesar 0.205 yang berarti lebih besar dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis H_0 diterima, sehingga hipotesis bahwa tidak terdapat pengaruh pemberian konsentrasi kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari dapat diterima.

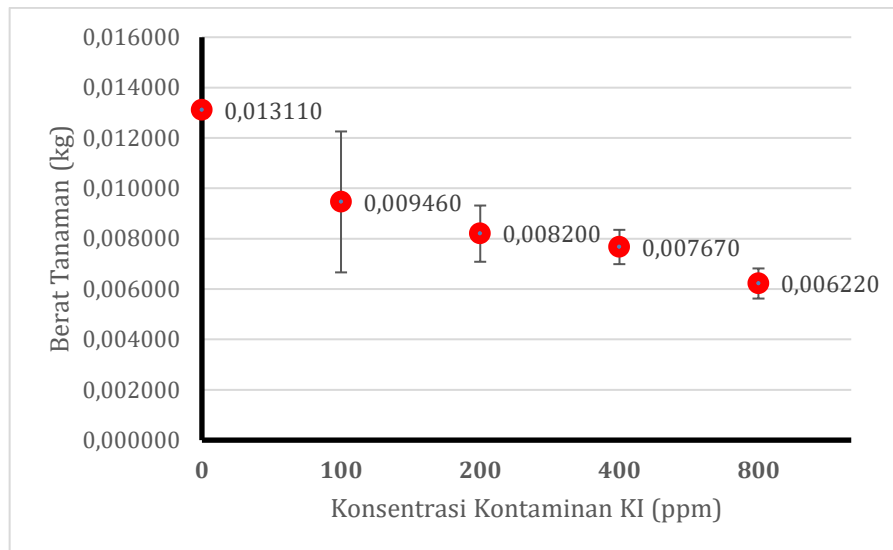
4.3 Pengaruh Konsentrasi Kontaminan KI Terhadap Berat Tanaman Bunga Matahari Setelah Proses Fitoremediasi

Dilakukan pengukuran berat basah tanaman sesaat setelah panen karena berat tanaman dianggap sebagai hasil dari semua proses atau peristiwa yang terjadi selama pertumbuhan tanaman (Yulianti, 2021). Pengukuran berat tanaman diukur dengan cara menimbang tanaman setelah proses pemanenan.

Tabel 4. 6 Berat tanaman setelah proses fitoremediasi

Konsentrasi Kontaminan KI (ppm)	Konsentrasi tanaman (mg/kg)	Faktor Transfer	Berat tanaman (kg)	Rata – rata berat tanaman (kg)	Standar Deviasi
0	203,837	0,39	0,013352	0,01311	0,000295
	199,831	0,38	0,013200		
	207,334	0,40	0,012782		
100	490,735	0,85	0,006765	0,00946	0,002798
	324,085	0,56	0,009268		
	252,739	0,44	0,012351		
200	240,427	0,38	0,009448	0,00820	0,001117
	329,017	0,52	0,007836		
	362,884	0,58	0,007303		
400	437,866	0,60	0,007054	0,00767	0,000681
	391,291	0,53	0,007567		
	347,821	0,47	0,008403		
800	548,130	0,58	0,005635	0,00622	0,000598
	488,820	0,52	0,006830		
	567,931	0,60	0,006190		

Hasil pengukuran berat tanaman disajikan pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa penambahan kontaminan menghasilkan nilai berat tanaman yang berbeda. Tanaman kontrol yang dibiarkan tumbuh alami tanpa penambahan kontaminan KI menghasilkan berat tanaman rata-rata sebesar 0,013110 kg. Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang diberikan kontaminan KI dengan variasi konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm dan 800 ppm menghasilkan berat tanaman rata-rata sebesar 0,009460 kg, 0,0082 kg, 0,007670 kg, 0,006220 kg. Dapat dilihat bahwa tanaman kontrol memiliki berat tanaman lebih besar dibandingkan dengan berat tanaman yang ditanam pada tanah yang diberikan penambahan kontaminan.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan pemberian kontaminan KI terhadap berat tanaman

Pengaruh pemberian kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari setelah fitoremediasi pada gambar 4.3 terlihat bahwa ada kecenderungan semakin banyak iodine yang terserap akan menurunkan berat tanaman. Berat tanaman terbesar yaitu 0,013110 kg diperoleh pada tanaman kontrol yang tidak diberikan penambahan kontaminan pada media tanam. Berat tanaman terkecil diperoleh pada perlakuan penambahan kontaminan KI 800 ppm yaitu sebesar 0,006220 kg. Tingkat pengaplikasian konsentrasi kontaminan KI yang lebih tinggi, masih meningkatkan kandungan iodine dalam tanaman bunga matahari, meskipun pada kasus ini dan mungkin karena efek toksik dari iodine, tanaman menunjukkan penurunan biomassa. Pengaruh penambahan kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari dapat dilakukan uji secara statistik menggunakan oneway anova pada SPSS. Kemudian dilakukan pengujian hipotesis:

1. H_0 diterima, jika signifikan $> 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari

2. H_0 ditolak, jika signifikan $< 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari

Berdasarkan tabel 4.7 diperoleh nilai signifikan sebesar 0.001 yang berarti lebih kecil dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis H_0 ditolak, sehingga hipotesis bahwa terdapat pengaruh pemberian konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari dapat diterima. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan antar taraf konsentrasi dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT)

Tabel 4. 7 Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari setelah fitoremediasi

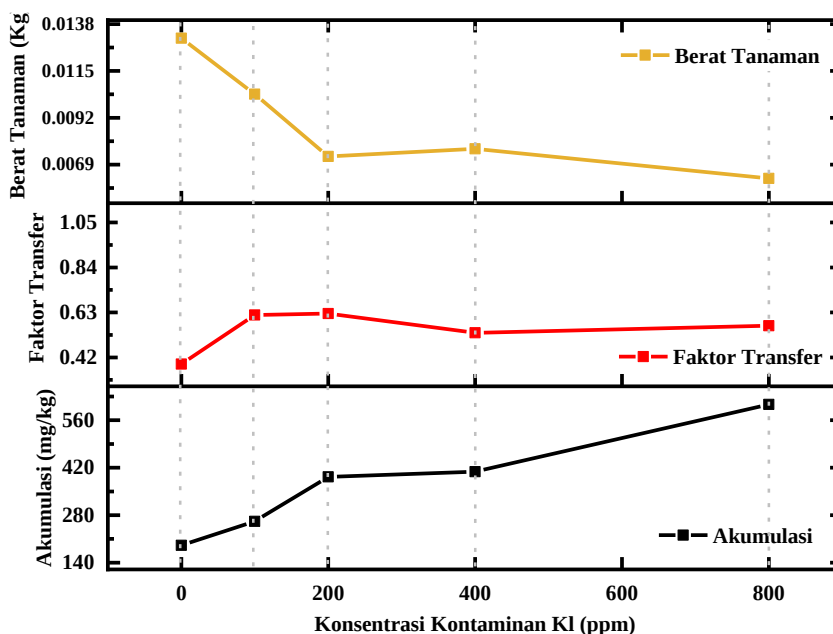
	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat Berat Tanaman	F Hitung	Sig.
Antar Grup	0.000	4	0.000	10.229	0.001
Dalam Grup	0.000	10	0.000		
Total	0.000	14			

Hasil uji DMRT tabel 4.8 menunjukkan bahwa pemberian konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari menghasilkan beda nyata yang signifikan. Perlakuan yang terbaik terdapat pada tanaman kontrol yang ditandai dengan huruf c, perlakuan ini merupakan perlakuan yang menunjukkan nilai berat tanaman tertinggi. Sedangkan berat tanaman yang paling rendah pada perlakuan 800 ppm, 400 ppm, 200 ppm, 100 ppm dan 0 ppm yaitu 0,00621833 kg, 0,00767467 kg, 0,00819567 kg, 0,00946133 kg, 0,01311133 kg. Peningkatan kandungan iodine dalam tanah berhubungan dengan jumlah iodine yang diserap tanaman bunga matahari. Penyerapan iodine ini akan mengakibatkan penurunan biomassa tanaman.

Tabel 4. 8 Hasil Uji DMRT pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari

Konsentrasi kontaminan KI	Berat tanaman	Notasi
800	0,00621833	a
400	0,00767467	a, b
200	0,00819567	a, b
100	0,00946133	b
0	0,01311133	c

Grafik perbandingan konsentrasi kontaminan KI terhadap faktor transfer, akumulasi dan berat tanaman menunjukkan bahwa semakin tinggi pemberian kontaminan KI semakin tinggi akumulasi tanaman, dan faktor transfer. Ini berarti hubungan antara pemberian kontaminan dengan akumulasi tanaman dan faktor transfer berbanding lurus. Sedangkan hubungan pemberian kontaminan KI dengan berat tanaman berbanding terbalik, semakin tinggi pemberian kontaminan KI semakin ringan berat tanaman.



Gambar 4. 4 Perbandingan konsentrasi kontaminan KI terhadap Faktor Transfer, Akumulasi dan Berat Tanaman

4.4 Pembahasan

4.4.1 Mekanisme Akumulasi Iodine oleh Tanaman Bunga Matahari

Penambahan kontaminan KI berpengaruh terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari. Penyerapan dan akumulasi iodine oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan oleh akar, translokasi dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Tumbuhan dapat menyerap iodine di dalam tanah melalui akar dengan cara difusi yaitu ion akan bergerak masuk dari media yang konsentrasi tinggi (tanah) ke dalam jaringan tumbuhan yang berkonsentrasi rendah, ketika di dalam tumbuhan iodine akan lebih banyak diangkut melalui jalur xylem karena pengangkutan melalui floem lebih rendah sehingga iodine akan terakumulasi lebih banyak di daun. Setelah iodine terakumulasi dalam tanaman, kandungan iodine dalam tanaman menjadi tidak stabil dan untuk melindungi dari efek toksik, tanaman akan mengeluarkan iodine sebagai metil iodide (CH_3I) dengan bantuan reaksi enzim *S-adenosilmethionine* (SAM) dengan halide methyltransferase (HMT) atau SAM dengan halide/thiol methyltransferase (HTMT) (Medrano-Macías et al., 2016). Hilangnya iodine dalam media tanam tidak seluruhnya diserap oleh tanaman hal ini disebabkan iodine yang sudah masuk ke dalam tubuh tanaman akan dieksresi dengan cara mengugurkan daunnya yang sudah tua sehingga nantinya dapat mengurangi kadar iodine.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman dipengaruhi oleh tingkat ketersediaan iodine dalam tanah dan kondisi pertumbuhan tanaman. Pada pemberian kontaminan KI konsentrasi 100 ppm tanaman bunga matahari

mengakumulasi iodine dalam jumlah 490,735 mg/kg, 324,085 mg/kg, 252,739 mg/kg. Tanaman bunga matahari saat diberikan kontaminan KI 200 ppm mampu mengakumulasi iodine sebesar 240,427 mg/kg, 329,017 mg/kg, 362,884 mg/kg. Pada saat diaplikasikan kontaminan KI 400 ppm tanaman bunga matahari mengakumulasi iodine sebesar 437,866 mg/kg, 391,291 mg/kg, 347,821 mg/kg. Sedangkan saat diaplikasikan kontaminan KI 800 ppm tanaman bunga matahari mengakumulasi iodine sebesar 548,130 mg/kg, 488,820 mg/kg, 567,931 mg/kg. Menurut Darajeh et al., (2014) akar yang besar dan banyak mengakibatkan penyerapan oleh akar menjadi besar sehingga pada pemberian kontaminan pada konsentrasi 100 ppm akumulasi iodine lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian konsentrasi 200 ppm.

4.4.2 Faktor Transfer Iodine dari tanah ke Tanaman Bunga Matahari

Nilai faktor transfer ditentukan untuk mengetahui efektivitas penyerapan iodine oleh tanaman. Nilai faktor transfer ditentukan berdasarkan rasio konsentrasi iodine dalam tanaman terhadap konsentrasi iodine dari dalam tanah. Pada penelitian ini besarnya nilai faktor transfer sangat bervariasi menurut Nirwani (2010) terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi faktor transfer diantaranya yaitu jenis radionuklida, jenis tanaman, jenis tanah, sifat fisika tanah (tekstur tanah) dan sifat kimia tanah (pH tanah, kandungan bahan organik tanah, dan kapasitas tukar kation tanah).

Nilai faktor transfer lebih dari 1 menunjukkan bahwa tanaman memiliki kemampuan meremediasi unsur (Yulianti, 2021). Pada penelitian ini secara keseluruhan, nilai faktor transfer untuk iodine rendah, menunjukkan bahwa unsur tersebut tidak mudah dipindahkan dari tanah ke tanaman sehingga dapat dikatakan

bahwa tanaman bunga matahari tidak dapat digunakan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi radionuklida iodine. Nilai faktor transfer iodine pada tanaman bunga matahari lebih tinggi (0,39 – 0,85) dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Shinonaga et al., 2001) pengaplikasian iodine pada tanaman gandum memiliki nilai faktor transfer lebih rendah (0,0005-0,002) sehingga dapat dikatakan tanaman bunga matahari lebih baik dalam mentransfer iodine dibandingkan dengan tanaman gandum.

4.4.3 Pengaruh Kontaminan Terhadap Berat Tanaman Bunga Matahari

Akumulasi iodine mempengaruhi pertumbuhan tanaman bunga matahari. Tumbuhan terbaik terdapat pada tanaman kontrol dengan berat tanaman 0,013352 kg dan tanaman yang diberikan kontaminan KI pada dosis rendah (100 ppm) berbunga lebih cepat namun pada tanaman yang diberikan kontaminan lebih tinggi (800 ppm) menunjukkan pertumbuhan yang kurang optimal. Berat tanaman berkurang pada tanah yang mengandung lebih banyak iodine dibandingkan dengan berat tanaman yang ditanam di tanah kontrol dan tanah yang mengandung sedikit iodine. Menurunnya berat tanaman secara signifikan mungkin diakibatkan karena efek akumulasi iodine berlebihan yang menghambat fungsi fisiologis tanaman karena berada di kondisi stress. Efek serupa terjadi pada penelitian yang dilakukan Budke et al., (2020) pengaplikasian iodine ke tanaman stroberi pada dosis yang lebih tinggi daun berubah menjadi ungu dan menjadi klorosis, gejala fitotoksik nekrosis dan klorosis sering diamati pada tumbuhan yang mengakumulasi iodine berlebihan. Klorosis merupakan keracunan pada tanaman yang ditandai dengan gejala menguningnya daun tanaman karena kehilangan klorofil sedangkan nekrosis merupakan gejala kematian sel tanaman yang ditandai dengan daun yang

menggulung, daun yang keriput serta luka pada permukaan daun sehingga proses fisiologis tanaman terganggu dan menyebabkan ketidakmampuan tanaman menyerap logam dalam jumlah yang besar (Surahmaida & Mangkoedihardjo, 2017). Menurut (Haryati et al., 2012) penurunan biomassa tanaman dipengaruhi oleh toksisitas zat terlarut dimana tanaman kesulitan mengakses air akibat efek osmotik yang disebabkan oleh kadar zat terlarut ion tertentu mencapai kadar tinggi akibatnya pertumbuhan tanaman akan mengalami hambatan atau terhenti.

4.3 Integrasi Penelitian dalam Perspektif Islam

Allah SWT berfirman dalam Al-Quran Surat Al-Hijr ayat 19-21:

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ
وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعَايِشَ وَمَنْ لَسْتُمْ لَهُ بِرِزْقَيْنَ
وَإِنْ مِنْ شَيْءٍ إِلَّا عِنْدَنَا خَزَائِنُهُ وَمَا نُنَزِّلُهُ إِلَّا بِقَدَرٍ مَعْلُومٍ

Artinya: “Dan Kami telah menghamparkan bumi dan menjadikan padanya gunung-gunung dan Kami tumbuhkan padanya segala sesuatu menurut ukuran. Dan Kami telah menjadikan padanya sumber-sumber kehidupan untuk keperluanmu, dan (Kami ciptakan pula) makhluk-makhluk yang bukan kamu pemberi rezekinya. Dan tidak ada sesuatu pun, melainkan pada sisi Kami-lah khazanahnya; Kami tidak menurunkannya melainkan dengan ukuran tertentu.” (Q.S Al-Hijr [15]: 19-21).

Ayat tersebut Allah menciptakan segala sesuatu yang ada di alam agar dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia. Salah satu pemanfaatan tanaman bunga matahari untuk meremediasi tanah tercemar. Pada penggalan ayat *وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ* yang berarti “dan Kami tumbuhkan padanya segala sesuatu menurut ukuran”. Menunjukkan bahwa Allah menumbuhkan sesuatu menurut ukuran, terdapat ukuran atau konsentrasi kontaminan yang dapat diakumulasi oleh tanaman. Hal serupa dijelaskan dalam firman Allah SWT pada surat Al-Furqan ayat 2 yaitu:

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Artinya: “Yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(Nya), dan dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya.”

Penggalan ayat “ خَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ”...yang berarti “...Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat.”

Menunjukkan bahwa Allah telah menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat lalu menyesuaikan ukurannya sesuai dengan apa yang baik baginya tanpa adanya kecacatan dan ketidak seimbangan di dalamnya.

Iodine dalam tanah dengan kadar yang tepat dapat menjadi nutrisi bagi tanaman.

Apabila kadar iodine terlalu tinggi maka dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat pengaruh pemberian konsentrasi kontaminan KI pada media tanam terhadap jumlah iodine yang terakumulasi dalam tanaman, Semakin tinggi konsentrasi iodine dalam tanah, semakin banyak iodine yang diserap tanaman bunga matahari. Jumlah iodine tertinggi yang dapat diakumulasi oleh tanaman bunga matahari 567,931 mg/kg diperoleh saat dilakukan penambahan kontaminan KI sebesar 800 ppm dalam media tanam dan jumlah iodine terendah 199,831 mg/kg pada saat tidak diberikan penambahan kontaminan KI pada media tanam.
2. Tidak ada pengaruh pemberian kontaminan terhadap nilai faktor transfer dari tanah ke tanaman bunga matahari. Nilai faktor transfer iodine pada tanaman bunga matahari memiliki rentang antara 0,39 hingga 0,85. Sehingga tanaman bunga matahari tidak dapat digunakan sebagai fitoremediator tanah yang terkontaminasi radionuklida iodine.
3. Terdapat pengaruh pemberian konsentrasi kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari Peningkatan kandungan iodine dalam tanah berhubungan dengan jumlah iodine yang diserap tanaman bunga matahari. Penyerapan iodine ini akan mengakibatkan penurunan biomassa tanaman. Berat tanaman terbesar yaitu 0,013110 kg diperoleh pada tanaman kontrol yang tidak diberikan penambahan kontaminan pada media tanam. Berat tanaman terkecil

diperoleh pada perlakuan penambahan kontaminan KI 800 ppm yaitu sebesar 0,006220 kg.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan analisa lanjutan pada tiap bagian tanaman untuk mengetahui akumulasi pada setiap bagian tanaman serta diperlukan bak untuk menampung air kontaminan untuk mengetahui kadar kontaminan yang terbuang.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, C. A. A., & Hadiyanto. (2018). Root Uptake and Distribution of Radionuclides ^{134}Cs and ^{60}Co in Sunflower Plants (*Helianthus annuus*. L). *E3S Web of Conferences*, 73, 3–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187305027>
- Adeleke, B. S., & Babalola, O. O. (2020). Oilseed Crop Sunflower (*Helianthus annuus*) as a Source of Food: Nutritional and Health Benefits. *Food Science and Nutrition*, 8(9), 1–19. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>
- Alaboudi, K. A., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd Contaminated Soils by Using Sunflower (*Helianthus annuus*) Plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2018.05.007>
- Alsabbagh, A. H., & Abuqudaira, T. M. (2017). Phytoremediation of Jordanian Uranium-Rich Soil Using Sunflower. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(6), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3396-3>
- Anshar Kenna, Asmawati, S. L. (2017). Fitoakumulasi Ion Logam Nikel (II) oleh Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata* Prain) pada Tanah Tercemar. *Jurnal Universitas Hasanuddin*, 11, 1–8.
- Antariksawan, A. R., & Juarsa, M. (2018). *Keselamatan Reaktor Nuklir “Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan Parah.”*
- Ashworth, D. J. (2009). Transfers of Iodine in the Soil-Plant-Air System: Solid-Liquid Partitioning, Migration, Plant Uptake and Volatilization. *Comprehensive Handbook of Iodine: Nutritional, Biochemical, Pathological and Therapeutic Aspects*, 107–118. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00011-X>
- Asmorowati, Dian Sri. Sumarti, Sri Susilogati. Kristanti, I. (2020). Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Destruksi Kering untuk Analisis Timbal dalam Tanah di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 169–173. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2002). *Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 07-P/Ka-Bapeten/I-02 Tentang Pedoman Dekomisioning Fasilitas Medis, Industri Dan Penelitian Serta Instalasi Nuklir Non-Reaktor*. 02, 1–32.
- Brouwer, P. (2010). Theory of XRF. In *Almelo: PANalytical BV*.
- Dietz, A. C., & Schnoor, J. L. (2001). Advances in Phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*, 109(SUPPL. 1), 163–168. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s1>

- Dushenkov, S. (2003). Trends in Phytoremediation of Radionuclides. *Plant and Soil*, 249(1), 167–175. <https://doi.org/10.1023/A:1022527207359>
- Faathir, A., Sulaiman, R., Anda, P., & Haraty, S. R. (2022). Analysis of Soil Characteristics Using Magnetics Methodds and X-Ray Fluorescene in Oheo District. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 08(03), 171–185.
- Gonnella, M., Renna, M., D'imperio, M., Santamaria, P., & Serio, F. (2019). Iodine Biofortification of Four Brassica Genotypes is Effective Already at Low Rates of Potassium Iodate. *Nutrients*, 11(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu11020451>
- Gonzali, S., Kiferle, C., & Perata, P. (2017). Iodine Biofortification of Crops: Agronomic Biofortification, Metabolic Engineering and Iodine Bioavailability. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.10.004>
- Hong, C. L., Weng, H. X., Qin, Y. C., Yan, A. L., & Xie, L. L. (2008). Transfer of Iodine From Soil to Vegetables by Applying Exogenous Iodine. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(4), 575–583. <https://doi.org/10.1051/agro:2008033>
- Hou, X., Hansen, V., Aldahan, A., Possnert, G., Lind, O. C., & Lujanienė, G. (2009). A Review on Speciation of Iodine-129 in The Environmental and Biological Samples. *Analytica Chimica Acta*, 632(2), 181–196. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.11.013>
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2), 75–84.
- Jadia, C. D., & Fulekar, M. H. (2008). Phytoremediation: The Application of Vermicompost to Remove Zinc, Cadmium, Copper, Nickel and Lead by Sunflower Plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5), 547–558. <https://doi.org/10.30638/eemj.2008.078>
- Kartika, K., & Fibriyanto, A. (2014). Potensi Alfalfa sebagai Tanaman Hiperakumulator pada Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek II*, 726–730.
- Khakim, A. (2018). Identifikasi Produk Fisi Penting pada Fasilitas Uji SAMOP. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir 2018*, 351–358.
- Levchuk, S., Yoschenko, V., Hurtevent, P., Khomutinin, Y., Zvarych, S., & Kashparov, V. (2023). Dependency of Radioiodine Root Uptake by Crops on Soil Characteristics. *Journal of Environmental Radioactivity*, 258(December 2021), 107104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107104>
- Mageshen, V., Santhy, P., MeenaS, LathaMR, Senthil, SaraswathiT, & Janaki, P. (2022). *Iodine Biofortificationin Tomato with a Strategy to Prevent Iodine*

Deficiency. 109(10).

- Magill, J., Schwoerer, H., Ewald, F., Galy, J., Schenkel, R., & Sauerbrey, R. (2003). Laser Transmutation of Iodine-129. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 77(4), 387–390. <https://doi.org/10.1007/s00340-003-1306-4>
- Malaka, M. (2019). Dampak Radiasi Radioaktif Terhadap Kesehatan. *Foramadiahi: Jurnal Kajian Pendidikan Dan Keislaman*, 11(2), 199–211. <https://doi.org/10.46339/foramadiahi.v11i2.204>
- Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of Iodine to Biofortify and Promote Growth and Stress Tolerance in Crops. *Frontiers in Plant Science*, 7(AUG2016), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>
- Minarni, S., & Muyassir. (2015). Pengaruh Pemberian Air Kelapa dan Kalium Iodat Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Kandungan Yodium Dalam Biji Jagung Manis. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 4(1), 556–560.
- Nengsih, R. F., Rifai, H., Dwiridal, L., & Fauzi, A. (2022). Identification of Clay Element Content in Fabric Dyeing Process Using X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Jurnal Fisika*, 12(1), 9–15.
- Nirwani, L. (2010). Faktor Transfer ¹³⁷ Cs dan ⁶⁰ Co dari Tanah ke Pare (*Momordica charantia* L). *Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan Dan Lingkungan VI*, 126–134.
- NUKLIR, B. P. T. (2003). *Pedoman Rencana Penanggulangan Keadaan Darurat*.
- Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 74–83. <https://doi.org/10.24252/bio.v1i1.450>
- Nurmalinda, Yuliansyah, A. T., & Prasetya, A. (2018). Aklimatisasi Tanaman Lemna Minor Dan Azolla Microphylla Terhadap Lindi Tpa Piyungan Pada Tahap Awal Fitoremediasi. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, ISSN 0216-, 313–319.
- Rachmatulloh, M. A., Setiawati, E., & Tjahaja, P. I. (2015). Penentuan Faktor Transfer dan Growth Value ¹³⁴CS dan ⁶⁰CO pada Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) dengan Cara Hidroponik untuk Kajian Awal Fitoremediasi. *Youngster Physics Journal*, 4(1), 139–148.
- Rifaldi, Isrun, M. A. K. (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.pdf. *E-J.Agrotekbis*, 3, 132–139.
- Rohanda, A., Waris, A., Suprianto, S., & Kurniadi, R. (2018). Studi Karakteristik Produk Hasil Fisi Reaktor Riset Berbasis Uranium Silisida Pada Berbagai

- Level Daya. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, 287–296.
- Saksono, N. (2002). Analisis Iodat Dalam Bumbu Dapur Dengan Metode Iodometri dan X-Ray Fluorescence. *Makara Teknologi*, 6(3), 89–94.
- Saptowati, H., & Utomo. (2011). Perencanaan Green Land Setelah Kegiatan Dekomisioning Gedung Pabrik Bahan Bakar nuklir. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir, November*, 202–210.
- Soheti, P., Sumarlin, L. O., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*, 41(2), 139. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2020.41.2.6092>
- Sukmabuana, P. I. T. dan P. (2007). Penyerapan ¹³⁴Cs dari Tanah oleh Tanaman. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir, Peran Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri dalam Pengembangan dan Pengelolaan Potensi Nasional*, 289–298.
- Suparyanto dan Rosad. (2020). Surveilans untuk Mengatasi Masalah Gangguan Akibat Kekurangan Iodium. In *Suparyanto dan Rosad (2015 (Vol. 5, Issue 3)*.
- Sutoto, S., Teknik, F., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2017). Konsep Pengelolaan Limbah Radioaktif Program Dekomisioning reaktor riset. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX*, 211–216.
- Suwardiyono. (2011). Disain Konseptual Program Managemen Dekomissioning Reaktor Riset. *Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, BATAN*, 8(1), 17–21.
- UNSCEAR. (2021). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: Vol. I*.
- Wahyudi, A., Rahmasari, M., Nazirwan, N., & Sari, M. F. (2022). Keragaman Empat Aksesori Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) Menggunakan Penanda Morfologi. *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(1), 103–109. <https://doi.org/10.23960/jat.v10i1.5301>
- Yan, L., Le, Q. Van, Sonne, C., Yang, Y., Yang, H., Gu, H., Ma, N. L., Lam, S. S., & Peng, W. (2020). Phytoremediation of Radionuclides in Soil, Sediments and Water. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 1–37. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124771>

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1

Pembuatan larutan kontaminan KI

Larutan iodine pencemar dibuat dari padatan KI dengan perhitungan berikut:

Berat molekul KI (M_r KI) = 166 g/mol

Berat atom I (A_r I) = 127 g/mol

- a. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 100 ppm sebanyak 2L:

$$\text{Massa KI} = \frac{M_r \text{ KI}}{A_r \text{ KI}} \times C(\text{g/l}) \times V(\text{l}) = \frac{166 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{127 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} \times 0,1 \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) \times 2(\text{l}) = 0,261 \text{ gram}$$

- b. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 200 ppm sebanyak 2L:

$$\text{Massa KI} = \frac{M_r \text{ KI}}{A_r \text{ KI}} \times C(\text{g/l}) \times V(\text{l}) = \frac{166 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{127 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} \times 0,2 \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) \times 2(\text{l}) = 0,522 \text{ gram}$$

- c. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 400 ppm sebanyak 2L:

$$\text{Massa KI} = \frac{M_r \text{ KI}}{A_r \text{ KI}} \times C(\text{g/l}) \times V(\text{l}) = \frac{166 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{127 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} \times 0,4 \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) \times 2(\text{l}) = 1,045 \text{ gram}$$

- d. Massa kristal yang harus dilarutkan untuk membuat larutan KI dengan konsentrasi 800 ppm sebanyak 2L:

$$\text{Massa KI} = \frac{M_r \text{ KI}}{A_r \text{ KI}} \times C(\text{g/l}) \times V(\text{l}) = \frac{166 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{127 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} \times 0,8 \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) \times 2(\text{l}) = 2,091 \text{ gram}$$

Lampiran 2

Perhitungan Jumlah Kontaminan KI yang Diberikan

Jumlah kontaminan KI yang diberikan selama proses fitoremediasi yaitu 0,02 L perhari dan proses ini dilakukan selama 20 hari.

- a. Jumlah iodine yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 100 ppm

$$\frac{0,261 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0,052 \text{ gram} = 52 \text{ mg}$$

- b. Jumlah iodine yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 200 ppm

$$\frac{0,522 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0,1044 \text{ gram} = 104,4 \text{ mg}$$

- c. Jumlah iodine yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 400 ppm

$$\frac{1,045 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0,209 \text{ gram} = 209 \text{ mg}$$

- d. Jumlah iodine yang diberikan pada konsentrasi kontaminan 800 ppm

$$\frac{2,091 \text{ gram}}{2 \text{ L}} \times 0.02 \text{ L} \times 20 \text{ hari} = 0,4182 \text{ gram} = 418,2 \text{ mg}$$

Lampiran 3

Data Hasil Penelitian

1. Penentuan Kadar Iodine Pada Tanaman Bunga Matahari

Table 1 Kadar iodine dalam tanaman bunga matahari yang terbaca oleh instrument XRF

Konsentrasi Kontaminan KI	Pengulangan Tanaman	Berat tanaman (kg)	Volume Pelarut (L)	Jumlah Iodine yang terakumulasi (ppm)
0 ppm	1	0,013352	0,01	272,163
	2	0,013200	0,01	263,777
	3	0,012782	0,01	265,014
100 ppm	1	0,006765	0,01	331,982
	2	0,009268	0,01	300,362
	3	0,012351	0,01	312,158
200 ppm	1	0,009448	0,01	227,155
	2	0,007836	0,01	257,818
	3	0,007303	0,01	265,014
400 ppm	1	0,007054	0,01	308,871
	2	0,007567	0,01	296,090
	3	0,008403	0,01	292,274
800 ppm	1	0,005635	0,01	308,871
	2	0,006830	0,01	333,864
	3	0,006190	0,01	351,549

Table 2 Kadar Iodine pada tanaman yang sebenarnya

Konsentrasi Kontaminan KI	Pengulangan Tanaman	Kadar sebenarnya (mg/kg)	Rata-rata jumlah iodine yang terakumulasi (mg/kg)	Standar Deviasi
---------------------------	---------------------	--------------------------	---	-----------------

0 ppm	1	203,837	203,667	3,754221
	2	199,831		
	3	207,334		
100 ppm	1	490,735	355,853	122,1367
	2	324,085		
	3	252,739		
200 ppm	1	240,427	310,776	63,23353
	2	329,017		
	3	362,884		
400 ppm	1	437,866	392,326	45,03164
	2	391,291		
	3	347,821		
800 ppm	1	548,130	534,960	41,16674
	2	488,820		
	3	567,931		

1. Konsentrasi kontaminan KI 0 ppm

a. Ulangan 1

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

$$= \frac{272,163 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0,013352 \text{ kg}} = 203,837 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

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

$$= \frac{263,777 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0,013200 \text{ kg}} = 199,831 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

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

$$= \frac{265,014 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0,012782 \text{ kg}} = 207,334 \text{ mg/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata rata kadar iodine dalam tanaman} &= \frac{\text{kadar sebenarnya (ulangan 1+ulangan 2+ulangan 3)}}{\text{jumlah ulangan}} \\ &= \frac{203,837}{3} = 203,667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standar deviasi} &= \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,028786777778}{2}} = 3,754376 \end{aligned}$$

2. Konsentrasi kontaminan KI 100 ppm

a. Ulangan 1

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

$$= \frac{331,982 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0,01 \text{ L}}{0,006765 \text{ kg}} = 490,735 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

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

$$= \frac{300,362 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0,01 \text{ L}}{0,009268 \text{ kg}} = 324,085 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

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

$$= \frac{312,158 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0,01 \text{ L}}{0,012351 \text{ kg}} = 252,739 \text{ mg/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata rata kadar iodine dalam tanaman} &= \frac{\text{kadar sebenarnya (ulangan 1+ulangan 2+ulangan 3)}}{\text{jumlah ulangan}} \\ &= \frac{490,735}{3} = 355,853 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standar deviasi} &= \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{18193,153924}{2}} = 122,1369 \end{aligned}$$

3. Konsentrasi kontaminan KI 200 ppm

a. Ulangan 1

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

$$= \frac{227,155 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,009448 \text{ kg}} = 240,427 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

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

$$= \frac{257,818 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,007836 \text{ kg}} = 329,017 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

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

$$= \frac{265,014 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,007303 \text{ kg}} = 362,884 \text{ mg/kg}$$

$$\text{Rata rata kadar iodine dalam tanaman} = \frac{\text{kadar sebenarnya (ulangan 1+ulangan 2+ulangan 3)}}{\text{jumlah ulangan}}$$

$$= \frac{240,427}{3} = 310,776$$

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{4948,981801}{2}} = 63,23353$$

4. Konsentrasi kontaminan KI 400 ppm

a. Ulangan 1

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

$$= \frac{308,871 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,007054 \text{ kg}} = 437,866 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

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

$$= \frac{296,090 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,007567 \text{ kg}} = 391,291 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

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

$$= \frac{292,274 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,008453 \text{ kg}} = 347,821 \text{ mg/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata rata kadar iodine dalam tanaman} &= \\ \frac{\text{kadar sebenarnya (ulangan 1+ulangan 2+ulangan 3)}}{\text{jumlah ulangan}} \end{aligned}$$

$$= \frac{437,866}{3} = 392,326$$

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{2073,8916}{2}} = 45,03142$$

5. Konsentrasi kontaminan KI 800 ppm

a. Ulangan 1

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

$$= \frac{308,871 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,005635 \text{ kg}} = 548,130 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

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

$$= \frac{333,864 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,006830 \text{ kg}} = 488,820 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

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

$$= \frac{351,549 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 0.01 \text{ L}}{0,006190 \text{ kg}} = 567,931 \text{ mg/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata rata kadar iodine dalam tanaman} &= \\ \frac{\text{kadar sebenarnya (ulangan 1+ulangan 2+ulangan 3)}}{\text{jumlah ulangan}} \end{aligned}$$

$$= \frac{548,13}{3} = 534,960$$

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{173,44012011}{2}} = 41,16695$$

2. Penentuan Kadar Iodine Pada Tanah sebelum dan sesudah Fitoremediasi

Table 3 Kadar iodine pada tanah sebelum dan sesudah fitoremediasi yang terbaca oleh instrument XRF

Konsentrasi Kontaminan KI	Berat sampel (kg)	Volume pelarut (L)	Konsentrasi tanah sebelum (ppm)	Konsentrasi tanah sesudah (ppm)
0 ppm	0,005	0,01	262,119	266,188
100 ppm	0,005	0,01	262,119	275,378
200 ppm	0,005	0,01	262,119	281,368
400 ppm	0,005	0,01	262,119	296,219
800 ppm	0,005	0,01	262,119	296,428

Table 4 Kadar tanah sebelum dan sesudah fitoremediasi yang sebenarnya

Konsentrasi Kontaminan KI	Konsentrasi tanah sebelum (mg/kg)	Konsentrasi tanah sesudah (mg/kg)
0 ppm	524,238	532,376
100 ppm	524,238	550,756
200 ppm	524,238	562,736

400 ppm	524,238	592,438
800 ppm	524,238	592,856

1. Tanah sebelum fitoremediasi

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

$$= \frac{262.119 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 524,238 \text{ mg/kg}$$

2. Tanah setelah fitoremediasi

a. 0 ppm

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

$$= \frac{266.188 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 532,376 \text{ mg/kg}$$

b. 100 ppm

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

$$= \frac{275.378 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 550,756 \text{ mg/kg}$$

c. 200 ppm

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

$$= \frac{281.368 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 562,736 \text{ mg/kg}$$

d. 400 ppm

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

$$= \frac{296.219 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 592,438 \text{ mg/kg}$$

e. 800 ppm

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

$$= \frac{296.428 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} = 592,856 \text{ mg/kg}$$

3. Penentuan Nilai Faktor Transfer Iodine dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari

Tabel 5 Nilai Faktor Transfer Iodine dari Tanah ke Tanaman Bunga Matahari

Konsentrasi kontaminan KI (ppm)	Konsentrasi tanaman (mg/kg)	Konsentrasi Tanah (mg/kg)	Faktor Transfer	Rata-rata FT tiap doping	Standar Deviasi
0	203,837	524,238	0,39	0,389	0,007023
	199,831	524,238	0,38		
	207,334	524,238	0,40		
100	490,735	576,238	0,85	0,618	5,131362
	324,085	576,238	0,56		
	252,739	576,238	0,44		
200	240,427	628,638	0,38	0,494	0,949126
	329,017	628,638	0,52		
	362,884	628,638	0,58		
400	437,866	733,238	0,60	0,535	0,803877
	391,291	733,238	0,53		
	347,821	733,238	0,47		
800	548,130	942,438	0,58	0,568	0,190799
	488,820	942,438	0,52		
	567,931	942,438	0,60		

1. Konsentrasi kontaminan KI 0 ppm

a. Ulangan 1

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{203,837 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{524,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,39$$

b. Ulangan 2

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{199,831 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{524,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,38$$

c. Ulangan 3

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{207,334 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{524,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,40$$

2. Konsentrasi kontaminan KI 100 ppm

a. Ulangan 1

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{490,735 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{576,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,85$$

b. Ulangan 2

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{324,085 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{576,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,56$$

c. Ulangan 3

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{252,739 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{576,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,44$$

3. Konsentrasi kontaminan KI 200 ppm

a. Ulangan 1

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{240,427 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{628,638 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,38$$

b. Ulangan 2

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{329,017 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{628,638 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,52$$

c. Ulangan 3

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{362,884 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{628,638 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,58$$

4. Konsentrasi kontaminan KI 400 ppm

a. Ulangan 1

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{437,866 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{733,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,60$$

b. Ulangan 2

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{391,291 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{733,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,53$$

c. Ulangan 3

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{347,821 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{733,238 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,47$$

5. Konsentrasi kontaminan KI 800 ppm

a. Ulangan 1

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{548,130 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{942,438 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,58$$

b. Ulangan 2

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{488,820 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{942,438 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,52$$

c. Ulangan 3

$$F_t = \frac{C_{tanaman}}{C_{tanah}} = \frac{567,931 \left(\frac{mg}{kg}\right)}{942,438 \left(\frac{mg}{kg}\right)} = 0,60$$

2. Penentuan Kadar Iodine Pada Air Penyiraman

Selama proses fitoremediasi tanaman bunga matahari disiram dengan menggunakan air pada pagi hari sebanyak 0,04 L

Kadar air dalam instrument (mg/l)	Jumlah air yang diberikan (L)	Air dalam sampel (L)	Kadar air sebenarnya (mg/l)
16,791	1,80	0,05	604,476

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

$$= \frac{16,791 \left(\frac{mg}{L}\right) \times 1,8 L}{0,05 L} = 604,476 \text{ mg/kg}$$

Lampiran 4

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut

<i>X-Ray Fluorescence</i> <i>RIGAKU</i>	 A photograph of a Rigaku X-ray Fluorescence (XRF) instrument. The main unit is a light-colored, boxy machine with a sample tray on top. To its left is a black power supply unit. A yellow radiation warning sign is visible in the background.
Gelas ukur	 A photograph showing a large number of small, clear glass vials or beakers arranged in a grid pattern on a yellowish-brown paper tray. The vials are empty and appear to be of uniform size.
XRF Liquid Sample Holder	 A photograph of two clear plastic bags filled with white, cylindrical XRF liquid sample holders. The holders are small and uniform in size, designed for holding liquid samples for XRF analysis.
Mylar	 A photograph of a white box labeled "THIN FILM FOR XRF 3517 MYLAR® 0.25 mil (6µ) thick, 2 1/4" x 300', roll". The box also mentions "SPEX SamplePrep" and provides a contact address. A blue plastic bag is partially visible next to the box.

jirigen	
---------	--

Lampiran 5

Dokumentasi Penelitian

Proses aklimasi tanaman	
Pembuatan larutan kontaminan KI	
Proses penanaman	

Destruksi sampel	
Proses penimbangan berat tanaman	
Proses persiapan XRF	

Pengujian XRF



Lampiran 5

Dokumentasi tanaman bunga matahari saat proses fitoremediasi

Perlakuan	Pengulangan		
	1	2	3
kontrol			
100 ppm			

200 ppm			
400 ppm			
800 ppm			

Lampiran 6

Analisis Statistik

- a. Hasil Uji one way anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap jumlah Iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

Konsentrasi tanaman					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	175605.067	4	43901.267	9.690	.002
Within Groups	45305.100	10	4530.510		
Total	220910.167	14			

- b. Hasil Uji DMRT pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap jumlah Iodine yang terakumulasi dalam tanaman bunga matahari

Konsentrasi tanaman

Duncan ^a				
		Subset for alpha = 0.05		
konsentrasiKI	N	1	2	3
0	3	203.66733		
200	3	310.77600	310.77600	
100	3		355.85300	
400	3		392.32600	
800	3			534.96033
Sig.		.080	.187	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

- c. Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap nilai faktor transfer tanaman bunga matahari

Faktor transfer					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.894	4	4.224	.757	.576
Within Groups	55.829	10	5.583		
Total	72.723	14			

- d. Hasil Uji oneway anova pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari setelah fitoremediasi

Berat tanaman

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	4	.000	10.229	.001
Within Groups	.000	10	.000		
Total	.000	14			

- e. Hasil Uji DMRT pengaruh variasi Kontaminan KI terhadap berat tanaman bunga matahari

Duncan^a

konsentrasiKI	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
800	3	.00621833		
400	3	.00767467	.00767467	
200	3	.00819567	.00819567	
100	3		.00946133	
0	3			.01311133
Sig.		.133	.170	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



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

**BUKTI KONSULTASI
SKRIPSI**

Nama

NIM

Fakultas/Program Studi

Judul Skripsi

Pembimbing 1

Pembimbing 2

: Anifatur Rosyidah Wahyuningsih

: 19640027

: SAINTEK/Fisika

: Fitoremediasi Produk Fisi Iodine-129 yang dimodelkan dengan Iodine-127
Menggunakan Bunga Matahari Untuk Dekomisioning Fasilitas Nuklir

: Dr. H. M. Tirono, M.Si

: 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,

Wakil Program Studi,



Dr. Anwar Tazi, M.Si

NIP. 19740730 200312 1 002