

TUGAS AKHIR

ANALISIS LOGAM BERAT Pb,Cd,Fe dan Cr PADA AIR DALAM ALAT INTEGRASI AKUAPONIK DENGAN REAKTOR MAGGOT *BLACK SOLDIER FLY*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



KHARISMA ZUFAR YUDANTONO

20513110

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS LOGAM BERAT Pb,Cd,Fe dan Cr PADA AIR DALAM ALAT INTEGRASI AKUAPONIK DENGAN REAKTOR MAGGOT *BLACK SOLDIER FLY*

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



KHARISMA ZUFAR YUDANTONO

20513110

Disetujui,

Dosen Pembimbing,

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 155130507

Tanggal:

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Anis Julliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

NIK 045130401

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS LOGAM BERAT Pb,Cd,Fe dan Cr PADA AIR DALAM ALAT INTEGRASI AKUAPONIK DENGAN REAKTOR MAGGOT *BLACK SOLDIER FLY*

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 24 Oktober 2024

Disusun oleh :

KHARISMA ZUFAR YUDANTONO

20513110

Tim Penguji :

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

() ^{22/29}/₁₀

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.

()

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and 'METEKA TEMPEL'. A unique identification number '0F349ALX384587240' is printed at the bottom of the stamp.

Kharisma Zufar Yudantono

NIM : 20513110

PRAKATA

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya baik tentang kesehatan, keselamatan, kenikmatan dan kesejahteraan sehingga penulis dapat mengerjakan tugas akhir ini dengan selesai. Tema yang dipilih dalam penelitian ini “Analisis Logam Berat Pb, Cd, Fe dan Cr Pada Air Dalam Alat Integrasi Akuaponik Dengan Reaktor Maggot *Black Soldier Fly*”. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik dalam mendapatkan gelar Sarjana Strata Satu (S1) Teknik bagi mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini tentu tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segenap rasa hormat dan juga kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut membantu dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Allah subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia, rezeki, nikmat kesehatan, ilmu pengetahuan serta kesempatan sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Drs. Edy Kusmartono M.S.i , Ibu Yuniar Ratnaningsih S.Kep, kakak penulis dr. Kharisma Naufal Yudiantono yang selalu memberikan do'a, kasih sayang, dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Fajri Mulya Iresha, S. T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan arahan dan masukan yang positif, saran, dan penilaian terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai;

4. Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini;
5. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini;
6. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng). Ph.D. selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
7. Para dosen, pengajar, dan laboran yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh Pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
8. Mas Ridwan, Mas Bagus, dan Mba Nida selaku staff Laboratorium Kualitas Lingkungan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
9. Haydar, Dhawi, Fathur, Tegar, Ardha, dan Bang Hatta, selaku teman dan partner Tugas Akhir yang selalu membantu, dan mengajarkan penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
10. Diah Hanifah Hasan A.Md. Kep. Yang selalu memberikan dukungan serta do'a dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Kepada seluruh pihak yang penulis tidak dapat menyebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang ada dan jauh dari kata sempurna pada penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kemajuan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna bagi penulis dan tentunya bagi pembaca.

Yogyakarta,

Kharisma Zufar Yudiantono

ABSTRAK

Sampah organik merupakan salah satu komponen utama dari total limbah yang dihasilkan dari aktivitas yang dilakukan sehari-hari. Peningkatan produksi juga didorong oleh perilaku konsumsi yang semakin tinggi. Sampah organik merupakan salah satu sumber kontaminan yang dapat menjadi sumber pencemar lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat pada air akuaponik menggunakan reaktor maggot BSF. Dengan metode analisis kandungan logam berat menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS). Berdasarkan pada analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan pembacaan AAS bahwa air akuaponik terdapat kandungan logam Pb, Cd, Fe dan Cr dengan konsentrasi yang berbeda. Konsentrasi tertinggi untuk Pb yaitu pada reaktor 2 dengan konsentrasi 0,55 mg/L. Sedangkan, nilai terendah didapat pada reaktor 3 dengan konsentrasi ND. Untuk konsentrasi Cd yang tertinggi terdapat pada reaktor 2 dengan nilai 0,036 mg/L. Sedangkan, konsentrasi terendah berasal dari reaktor 3 dengan nilai konsentrasi 0,024 mg/L. Untuk konsentrasi Fe pada semua reaktor tidak terdeteksi (ND) hasil didapatkan pada awal dan juga akhir. Untuk konsentrasi kromium yang tertinggi pada reaktor 1 dengan nilai 0,033 mg/L. Sedangkan, konsentrasi terendah berasal dari reaktor 3 dengan nilai konsentrasi 0,17 mg/L. Berdasarkan dari hasil yang didapat bahwa kandungan logam yang terdapat pada air akuaponik nilainya apabila digunakan untuk budidaya ikan belum memenuhi baku mutu PP no. 21 tahun 2021 dikarenakan logam berat pada air akuaponik masih melebihi baku mutu untuk logam Cd.

Kata Kunci : Air, Akuaponik, Maggot, Logam Berat

ABSTRACT

Organic waste is one of the main components of the total waste generated from daily activities. Increased production is also driven by increasingly high consumption behavior. Organic waste is a source of contaminants that can become a source of environmental pollution. This research aims to determine the heavy metal content in aquaponic water using a BSF maggot reactor. With the heavy metal content analysis method using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Based on the analysis carried out using AAS readings, aquaponic water contains the metals Pb, Cd, Fe and Cr at different concentrations. The highest concentration for Pb was in reactor 2 with a concentration of 0.55 mg/L. Meanwhile, the lowest value was obtained in reactor 3 with ND concentration. The highest Cd concentration was in reactor 2 with a value of 0.036 mg/L. Meanwhile, the lowest concentration came from reactor 3 with a concentration value of 0.024 mg/L. For Fe concentrations in all reactors, undetectable (ND) results were obtained at the beginning and at the end. The highest chromium concentration was in reactor 1 with a value of 0.033 mg/L. Meanwhile, the lowest concentration came from reactor 3 with a concentration value of 0.17 mg/L. Based on the results obtained, the value of the metal content in aquaponic water if it is used for fish cultivation, it does not meet the quality standards of PP no. 21 of 2021 because the heavy metals in aquaponic water still exceed the quality standards for Cd.

Keywords : *Water, Aquaponics, Maggot, Heavy metal*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Akuaponik	6
2.2 Maggot.....	6
2.3 Leachate BSF (Lindi BSF).....	7
2.4 Kualitas Air	7
2.5 Logam Berat	8
2.5.1 Timbal (Pb)	8
2.5.2 Kadmium (Cd).....	9
2.5.3 Besi (Fe)	9
2.5.4 Kromium (Cr)	10
2.8 Penelitian Terdahulu	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Lokasi	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat	15
3.2.2 Bahan	16
3.3 Prosedur Analisis Data	17
3.4 Tahap Penelitian.....	18
3.4.1 Persiapan Akuaponik	18

3.4.2	Pengambilan Sampel Air	20
3.4.3	Pengujian Sampel Logam Berat	20
3.5	Metode Analisis Data	21
3.5.1	Pengujian Sampel Logam.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	Hasil Pengujian Logam Berat.....	23
4.1.1	Hasil Pengujian Kandungan Timbal (Pb)	23
4.1.2	Hasil Pengujian Kandungan Kadmium (Cd)	25
4.1.3	Hasil Pengujian Kandungan Besi (Fe)	27
4.1.4	Hasil Pengujian Kandungan Kromium (Cr)	29
4.3	Perbandingan Hasil Uji dengan PP No. 22 tahun 2021.	31
4.3.1	Perbandingan Hasil Uji Pb dengan PP No. 22 tahun 2021.	32
4.3.2	Perbandingan Hasil Uji Cd dengan PP No. 22 tahun 2021.	33
BAB V KESIMPULAN		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....		37
LAMPIRAN		42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 3. 2 Perlakuan 3 (Tiga) Reaktor	21
Tabel 4. 1 Kadar Total Timbal (Pb) pada Ketiga Reaktor Akuaponik	24
Tabel 4. 2 Kadar Cadmium (Cd) pada Ketiga Reaktor Akuaponik	26
Tabel 4. 3 Konsentrasi Logam Besi (Fe) pada Ketiga Reaktor Akuaponik.....	28
Tabel 4. 4 Konsentrasi Logam Kromium (Cr) pada Ketiga Reaktor Akuaponik .	30
Tabel 4. 10 Baku Mutu Air untuk Budidaya Ikan Air Tawar	32
Tabel 4. 11 Perbandingan Hasil Awal dan Akhir Pb dengan Baku Mutu.....	32
Tabel 4. 12 Perbandingan Hasil Awal dan Akhir Cd dengan Baku Mutu.	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir.....	3
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	15
Gambar 3. 2 Diagram Alir	17
Gambar 3. 3 Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot	19
Gambar 3. 4 Detail Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot.....	19

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Pengamatan Sistem Akuaponik	42
Lampiran 1. 2 Sampel Air Pengujian Logam Berat	43
Lampiran 1. 3 Penyaringan Sampel Air	44
Lampiran 1. 4 Destruksi Sampel Pengujian	44
Lampiran 1. 5 Hasil Pengujian AAS	45
Lampiran 1. 6 PP no. 22 tahun 2021	50
Lampiran 2. 1 Rumus Perhitungan Logam Berat	51
Lampiran 2. 3 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Pb	51
Lampiran 2. 4 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Cd	52
Lampiran 2. 5 Hasil Perhitungan Periode Awal & Akhir Cr	52
Lampiran 2. 6 Hasil Perhitungan Periode Awal & Akhir Fe	52
Lampiran 2. 7 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Pb	53
Lampiran 2. 8 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Cd	53
Lampiran 2. 9 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Cr	53

BAB I

PENDAHULUAN

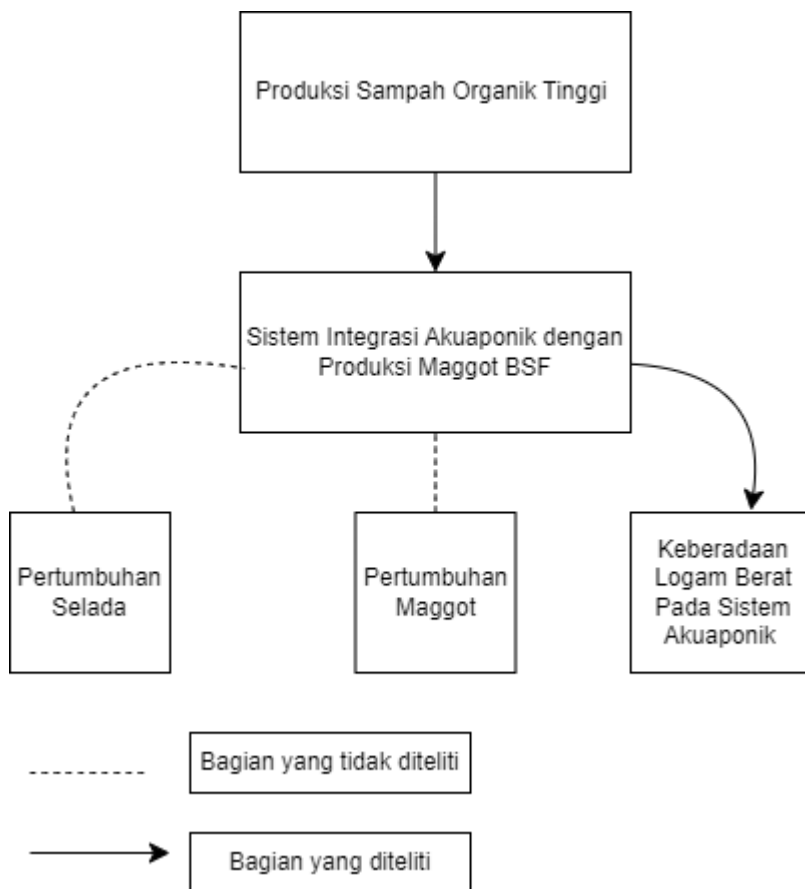
1.1 Latar Belakang

Sampah organik merupakan salah satu komponen utama dari total limbah yang dihasilkan dari aktivitas yang dilakukan sehari-hari. Peningkatan produksi juga didorong oleh perilaku konsumsi yang semakin tinggi. Menurut laporan dari Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mengenai limbah global, sekitar 2,01 miliar ton sampah padat dapat dihasilkan setiap tahun dengan proporsi yang signifikan berasal dari kegiatan domestik dan industri (UNESCO, 2019). Aktivitas sehari-hari, seperti belanja, dapat menghasilkan banyak sampah berupa plastik, sisa makanan, dan material lainnya yang berpotensi mencemari lingkungan. Permasalahan lingkungan dan kesehatan kini tidak luput dari persampahan sehingga apabila tidak ditangani penumpukan sampah akan terus terjadi (Djajawinata, 2007). Sampah organik merupakan salah satu sumber kontaminan yang dapat menjadi sumber pencemar lingkungan, serta dapat menjadi sumber penyakit dan masalah kesehatan untuk masyarakat. Pengelolaan sampah organik masih menjadi suatu permasalahan yang perlu solusi yang tepat. Masyarakat biasanya melakukan pengomposan untuk mengelola sampah organik. Namun, proses pengomposan memerlukan waktu yang lama dalam prosesnya. Pemanfaat agen biokonversi seperti maggot BSF untuk mengelola sampah organik (Iresha *et al*, 2023). Maggot BSF merupakan salah satu organisme yang sangat efektif dalam mengurangi sampah organik secara ramah lingkungan. Dari penelitian terdahulu yang pernah dilakukan maggot dapat mengurai sampah sisa makanan sebesar 77,09 %, Persentase keberhasilan dengan bantuan maggot dapat bekerja dengan optimal tergantung dari karakteristik sampah organik yang akan diolah (Hakim, 2017). Akuaponik merupakan suatu metode budidaya yang menggabungkan budidaya ikan dengan tanaman dalam, satu sistem. Yang mana sistem ini akan memiliki hubungan simbiotik antara tanaman, ikan dan mikroorganisme yang hidup didalam air (Rakocy *et al.*, 2013). Dengan adanya

permasalahan pengelolaan sampah organik dan keterbatasan lahan untuk pertanian, pada percobaan kali ini peneliti menggabungkan sistem akuaponik yang berintegrasi dengan maggot BSF sebagai agen biokonversi sebagai media pengelola sampah organik. Metode yang digunakan adalah dengan pemanfaatan kasgot hasil metabolisme maggot BSF sebagai sumber nutrisi bagi sistem akuaponik.

Faktor penting untuk memastikan produktivitas akuaponik pada saat di operasikan yaitu diantaranya adalah menjaga kualitas air. Salah satu aspek penting dari kualitas air yaitu mengetahui kandungan logam pada air tersebut seperti Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Besi (Fe) dan Kromium (Cr). Zat logam esensial merupakan zat logam dibutuhkan oleh organisme. Namun dapat bersifat menjadi racun apabila jumlah nya berlebihan. Sedangkan, zat logam non-esensial merupakan zat logam yang belum diketahui manfaatnya apabila terdapat di dalam tubuh, bahkan dikategorikan beracun seperti Cd, dan Pb (Widowati, 2008). Keberadaan logam berat pada air di akuaponik tentu akan sangat berpengaruh terhadap kualitas air karena sifatnya yang toksik. Maka dari itu penelitian ini penting dilakukan agar dapat mengetahui berapa tingkat konsentrasi logam berat yang terkandung pada air di akuaponik tersebut.

Namun, penelitian yang memfokuskan pada logam berat pada air dalam integrasi akuaponik dengan menggunakan reaktor maggot masih terbatas. Dengan demikian, penelitian yang akan dilakukan bertujuan agar mengisi kesenjangan pengetahuan yang ada dalam menganalisis kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe dan Cr). pada air dalam integrasi akuaponik yang menggunakan reaktor maggot. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai kualitas air dalam akuaponik dengan menggunakan reaktor maggot.



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir.

1.2 Rumusan Masalah

Berbekalkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari sisa kasgot yang tercampur pada air akuaponik dengan reaktor maggot apakah mencemari lingkungan atau tidak ?
2. Apakah terdapat perbedaan kandungan Pb, Cd, Fe dan Cr pada air akuaponik pada saat diawal akuaponik reaktor maggot dijalankan dan pada saat setelah sudah selesai ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Analisis faktor yang mengakibatkan adanya konsentrasi Pb, Cd, Fe, dan Cr pada air akuaponik.
- 2) Analisis hasil uji dari ketiga akuaponik dengan perlakuan yang berbeda pada reaktor maggot BSF dengan akuaponik konvensional dan baku mutu PP no.22 tahun 2021.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Memberikan informasi apakah konsentrasi Pb, Cd, Cr dan Fe pada air akuaponik sesuai baku mutu PP No.22 Tahun 2021.
- 2) Menganalisis dari ketiga reaktor manakah yang lebih banyak mengandung Pb, Cd, Cr, dan Fe.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah.

- 1) Lokasi penelitian berada di Kebun Benar Benih.
- 2) Penelitian menganalisis air akuaponik yang mana memungkinkan mengandung logam berat.
- 3) Parameter yang diuji yaitu parameter logam berat (Pb, Cd, Fe, dan Cr) pada air sistem akuaponik
- 4) Pengamatan kualitas air pada sistem akuaponik
- 5) Penelitian dilakukan selama 1 bulan di dalam rumah kaca

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akuaponik

Akuaponik merupakan salah satu teknologi modifikasi pada pertanian yang dapat meminimasi limbah nitrogen dari proses metabolisme ikan melalui tanaman secara hidroponik ke dalam sistem akuakultur. Akuaponik merupakan suatu metode budidaya yang menggabungkan budidaya ikan dengan tanaman dalam, satu sistem. Yang mana sistem ini akan memiliki hubungan simbiotik antara tanaman, ikan dan mikroorganisme yang hidup didalam air (Sastro, 2016). Dalam sistem akuaponik hampir tidak terdapat pembuangan polutan dikarenakan penggunaan kembali air terus menerus sehingga, akuaponik menguntungkan serta ramah lingkungan. Sistem akuaponik terdiri dari beberapa bagian yaitu terdiri dari bak pemeliharaan ikan, dua bak clarifier serta tumbuhan hidroponik. Sistem akuaponik memanfaatkan limbah ikan yang mengandung amonia yang diubah bakteri menjadi nitrat yang digunakan sebagai nutrisi untuk tumbuhan (Lennard, 2004).

2.2 Maggot

Maggot *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) tergolong kedalam Ordo Diptera, Famili Stratiomyidae, merupakan kelompok serangga yang memiliki kapasitas reproduksi terbesar, dengan siklus hidup yang singkat. Kecepatan reproduksi yang cukup cepat sehingga, memerlukan konsumsi makan yang banyak (Yuwono dan Mentari, 2018). Fase dari Black Soldier Fly yaitu dari telur selama 1 minggu, kemudian menetas menjadi maggot selama 14 hari dan menjadi lalat dewasa selama 14 hari. (Popa dan Green, 2012). Pada saat menjadi maggot merupakan fase memiliki kemampuan untuk mengurangi limbah organik dengan sangat efisien Bahkan maggot BSF juga dapat mengurai sampah organik hingga 68% di perkotaan (Diener et al. 2011).

2.3 Leachate BSF (Lindi BSF)

Leachate atau yang biasa dikenal dengan air lindi merupakan limbah cair yang dihasilkan dari proses pembusukan limbah organik di dalam timbunan sampah. Limbah organik tersebut terurai oleh bakteri yang ada di dalam sampah, lalu menghasilkan cairan yang mengandung zat-zat yang larut dalam air. Air lindi ini mengandung bermacam-macam zat seperti logam berat dan senyawa organik yang dapat mencemari lingkungan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Open Science Framework (OSF), air lindi mampu meresap ke dalam tanah hingga dapat mencemari permukaan tanah apabila tidak diatasi dengan baik (Dortman, 2017). Leachate BSF merupakan cairan yang dihasilkan dari penumpukan sisa makanan dari maggot atau kasgot. Kasgot atau sisa makanan dari lalat Black Soldier Fly (BSF) merupakan residu yang dihasilkan dari sisa makanan lalat BSF. Kasgot sendiri tidak memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dikarenakan mengandung bahan organik, namun apabila kasgot dibuang secara tidak terkontrol, dapat memberikan dampak negatif terhadap kualitas air.

2.4 Kualitas Air

Kualitas air adalah parameter yang dapat menentukan kelayakan suatu sumber air untuk digunakan dalam berbagai keperluan, seperti konsumsi manusia, irigasi dan sebagainya. Kualitas air dipengaruhi dengan berbagai parameter seperti fisik, kimia, dan biologis yang mencerminkan keadaan sumber air tersebut. Konsentrasi zat terlarut seperti logam berat, nitrat dan fosfat dapat menjadi indikator dalam menilai kualitas air. Konsentrasi zat-zat ini dapat menjadi parameter untuk mengetahui kualitas air tersebut (Baker, 2007). Salah satu parameter yang cukup sering digunakan untuk mengetahui kualitas air diantaranya keberadaan logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd) dan sebagainya. Salah satu yang menjadikan logam berat sebagai parameter dikarenakan potensi logam berat dalam mencemari sumber air dan juga membahayakan gangguan kesehatan penyakit jangka panjang seperti kanker dan gangguan sistem saraf (Rashid et al., 2020). Pada sistem akuaponik, serapan unsur hara harus dimaksimalkan untuk produksi biomassa tanaman yang sehat. Air juga

menjadi penyuplai oksigen yang dibutuhkan ikan untuk bertahan hidup di akuaponik. Tingkat parameter kualitas air tentu sangat mempengaruhi laju pertumbuhan dan keberlangsungan hidup ikan tersebut. (Dauhan et al.,2014). Pertumbuhan ikan dapat menjadi lambat dikarenakan kualitas air yang kurang baik (Suyanto 2007).

2.5 Logam Berat

Logam berat pada penelitian kali ini digunakan sebagai parameter dikarenakan Logam Berat merupakan salah satu unsur yang memiliki sifat toksisitas, persistensi, dan kemampuan logam berat untuk terakumulasi dalam lingkungan dan organisme hidup. Unsur logam berat pada dasarnya dibutuhkan oleh makhluk hidup namun, kadar yang terbatas. Sehingga apabila terdapat logam berat yang terlarut di dalam air pada konsentrasi tertentu maka dapat mencemari air tersebut. Logam berat yang terdapat pada suatu air berasal dari sumber-sumber alamiah dan aktivitas manusia. (Palar, 2004). Selain itu logam berat tidak mudah terdegradasi di lingkungan, yang berarti mereka dapat bertahan dalam air, tanah, dan sedimen untuk waktu yang lama dan dapat memberikan efek jangka panjang terhadap ekosistem (Alloway, 2013).

2.5.1 Timbal (Pb)

Timbal merupakan logam dengan simbol Pb, logam ini termasuk dalam logam berat yang mampu mencemari air dan dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan serta kesehatan. Hal ini dikarenakan sifat timbal tidak terlarut dalam air. Namun, timbal dapat larut dalam air yang mengandung asam atau senyawa organik. Beberapa kasus tentang tercemarnya lingkungan karena paparan timbal sumbernya berasal dari aktivitas industri seperti baterai dan cat. Namun tidak dipungkiri bahwa makanan yang biasanya dikonsumsi dapat terkontaminasi timbal. Hal ini dapat terjadi karena menggunakan peralatan makanan yang terbuat dari bahan yang mengandung timbal. Atau disebabkan pada saat proses produksi (Amin, 2051).

Nitrat paling mudah diakses oleh tanaman dan produksi nitrat merupakan tujuan dari biofilter. Ikan dapat mentolerir konsentrasi nitrat hingga 300 µg/L, dengan beberapa level toleran ikan sebesar 400 mg/L. Konsentrasi tinggi (> 250 mg/L) akan berdampak negatif pada tanaman, menyebabkan pertumbuhan vegetatif yang berlebihan dan akumulasi nitrat yang berbahaya di daun, yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Pada konsentrasi nitrat yang tinggi direkomendasikan untuk mengganti air dan mempertahankan nitrat pada konsentrasi 5 – 150 mg/l (Deswati *et al.*, 2021).

2.5.2 Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan unsur kimia dengan lambang Cd dan nomor atom 48. Kadmium juga termasuk logam berat seperti timbal yang dapat mencemari lingkungan. Dikarenakan kadmium memiliki sifat toksik dan dapat memberikan efek buruk terhadap lingkungan dan organisme hidup yang terkena paparannya. Akibat dari kandungan kadmium didalam air antara lain dapat menyebabkan keracunan pada organisme air seperti ikan dan tumbuhan air. Karena lingkungan yang terkena kontaminasi industri dan polusi udara di beberapa makanan dapat dijumpai di makanan. Kandungan kadmium yang dapat dijumpai pada makanan laut, seperti kerang tiram, dan kepiting, serta pada sayuran hijau dan biji-bijian. Pencemaran logam berat pada air masih sering terjadi di lingkungan sekitar kita karena terakumulasi kedalam makanan maupun minuman yang dapat menyebabkan masalah terhadap kesehatan manusia (Abbasi dkk., 2013).

2.5.3 Besi (Fe)

Besi atau Fe adalah unsur logam yang dapat bereaksi dengan oksigen dan air yang dapat menghasilkan karat serta dapat bereaksi dengan asam. Konsentrasi Fe dalam air merupakan salah satu indikator penting dalam mengukur kualitas air dalam sistem akuaponik. Kandungan besi di dalam air memiliki pengaruh yang kompleks terhadap lingkungan, hal ini dikarenakan

pada kandungan tertentu besi(Fe) dapat memberikan dampak negatif atau positif. Besi dalam air juga dapat menjadi sumber untuk proses fotosintesis serta berguna pada proses koagulasi dan penjernihan air. (Trevor, 2009). Namun apabila konsentrasi besi dalam air tinggi dapat memicu pertumbuhan alga dan menyebabkan eutrofikasi yang mana hal tersebut dapat menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air. (Shampoo, 2005). Sehingga dapat berefek bagi kehidupan ikan di dalam sistem akuaponik dengan reaktor maggot BSF.

2.5.4 Kromium (Cr)

Kromium merupakan unsur kimia dengan simbol Cr dan nomor atom 24. Memiliki sifat yang tahan karat serta sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pelapisan logam, pembuatan stainless steel, dan sebagai bahan tambahan dalam cat dan tinta. Unsur ini juga dapat dijumpai dalam air, baik di air permukaan maupun air tanah. Aktivitas pertambangan dan penggunaan produk yang mengandung kromium dapat meningkatkan konsentrasi unsur ini dalam lingkungan (Adrees, 2019).

2.6 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengatur tentang pengaturan dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan salah satunya yaitu budidaya ikan. Salah satu tujuan dari peraturan ini adalah yaitu menetapkan standar kualitas air yang harus dipenuhi dalam kegiatan budidaya ikan guna memastikan keberlanjutan ekosistem serta kesehatan ikan yang dibudidayakan. Dalam peraturan ini, diatur mengenai parameter-parameter kualitas air yang meliputi pH, suhu, tingkat keasaman, konsentrasi oksigen terlarut, logam yang terlarut serta limbah yang dihasilkan. Untuk mengukur dan menilai kualitas air pada akuaponik memenuhi baku mutu air yang dapat digunakan untuk budidaya ikan air tawar, penelitian ini akan menggunakan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 tahun 2021.

2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Du,L, dkk . (2018)	Application of aquatic plants in removing heavy metals from contaminated water: A review	Studi ini menyajikan berbagai jenis tanaman air yang telah terbukti efektif dalam menyerap logam berat seperti timbal, merkuri, kadmium, dan arsenik dari lingkungan air yang tercemar. Para peneliti juga mendiskusikan mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman air, termasuk proses fitorisikasi dan fitoriakumulasi. Mereka juga mencatat faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penyerapan logam berat oleh tanaman air, seperti jenis tanaman, kondisi lingkungan, dan konsentrasi logam berat di air. Hasil penelitian tersebut memberikan bukti yang menjanjikan tentang potensi pemanfaatan tanaman air dalam mengurangi pencemaran logam berat di perairan. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya perlindungan ekosistem air dan keterlibatan tanaman air dalam menjaga kualitas air untuk keberlanjutan lingkungan. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam pemahaman tentang peran tanaman air dalam mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan air. Studi ini dapat menjadi panduan bagi para peneliti dan praktisi lingkungan dalam mengembangkan solusi berkelanjutan untuk masalah pencemaran logam berat.
Deny Apriani Juhri, (2017)	Effect of Heavy Metals (Cd,Cr and Pb) on the reduction of wet weight of	Peningkatan polutan logam berat pada tanah, air, dan udara menjadi problem utama lingkungan karena keberadaan logam-logam berat dapat menyebabkan keracunan pada sel-sel hidup seperti tumbuh-

Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	water class (Ipomoea aquatica Forks) as extension material for vegetable farmers.	tumbuhan, hewan dan manusia. Pencemar logam berat tidak dapat didegradasi secara kimia maupun secara biologi.
Boris Delaide, Simon Goddek, James Gott, Hélène Soyeurt, and M. Haissam Jijakli, (2016).	Lettuce (Lactuca sativa L. var. Sucrine) Growth Performance in Complemented Aquaponic Solution Outperforms Hydroponics	Penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan kombinasi nutrisi dari sistem aquaponik, yang berasal dari limbah ikan dan tambahan nutrisi, dapat memberikan kondisi yang lebih optimal bagi pertumbuhan tanaman. Hasil ini menggambarkan potensi aquaponik sebagai metode pertanian yang lebih efisien untuk meningkatkan produktivitas pangan, serta menyarankan bahwa penerapan sistem aquaponik yang tepat dapat memberikan hasil yang superior dibanding hidroponik dalam budidaya selada.
Pantanella E., Cardarelli M., Colla G. (2012)	Aquaponics vs. Hydroponics: Production and Quality of Lettuce Crop	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara perlakuan hidroponik dan akuaponik ketika konsentrasi nitrogen diatas 1,4 mmol L ⁻¹ . Dari uji coba nilai EC konstan dan konsentrasi nitrat yang diukur dalam perlakuan LD disarankan dalam 1 kg ikan untuk 20 kepala selada, rasio ikan/tanaman optimal untuk selada romaine. Rendahnya kadar nitrat yang ditemukan pada selada akuaponik, tidak berbeda dengan yang ditemukan pada tanaman kontrol hidroponik, menunjukkan bahwa akuaponik merupakan sistem produksi sayuran sehat yang valid.
Yaqoob, dkk, (2018)	Use of floating aquatic plants for removal of heavy metals. Journal of	Dalam studi ini menunjukan bahwa tanaman air apung dapat menjadi alternatif dalam mengurangi kadar logam berat di dalam air. Peneliti melakukan serangkaian percobaan menggunakan tanaman air

Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Environmental Management	apung seperti Eichhornia crassipes dan Pistia stratiotes untuk menghilangkan logam berat seperti timbal, kromium, dan seng dari solusi air. Hasil penelitian menunjukkan tanaman air mampu menyerap logam berat tersebut.

Dalam penelitian terdahulu yang telah dipaparkan, peneliti mengamati bahwasannya kualitas air dapat mempengaruhi tanaman yang terdapat pada akuaponik yang terdapat kandungan logam berat. Oleh karena itu, kami melakukan penelitian menggunakan akuaponik dengan reaktor maggot BSF. Untuk mengetahui apakah terdapat kandungan logam berat karena itu perlu dilakukan penelitian terkait alat integrasi akuaponik dengan reaktor maggot BSF. Penelitian ini dilakukan selama 30 hari dengan waktu pengamatan dan sampling pada air pada saat awal reaktor dijalankan dan berakhir pada saat waktu panen tanaman selada pada akuaponik tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Lokasi penelitian dilakukan di Kebun Bener Benih, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta selama 4 (empat) bulan untuk mengamati prosesnya dan mengumpulkan data sehingga hasil yang diperoleh dapat maksimal serta menjadi sumber penelitian.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

Sumber : Google Earth

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Alat Integrasi Akuaponik
2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
3. Labu ukur 50 mL, 100 mL, 1000 mL
4. Erlenmeyer 100 mL
5. Pipet Volumetrik 10 mL, dan 50 mL
6. Gelas beaker 250 mL, dan 1.000 mL

7. Corong gelas
8. Pipet Tetes
9. Pemanas Listrik
10. Jerigen 1000 mL

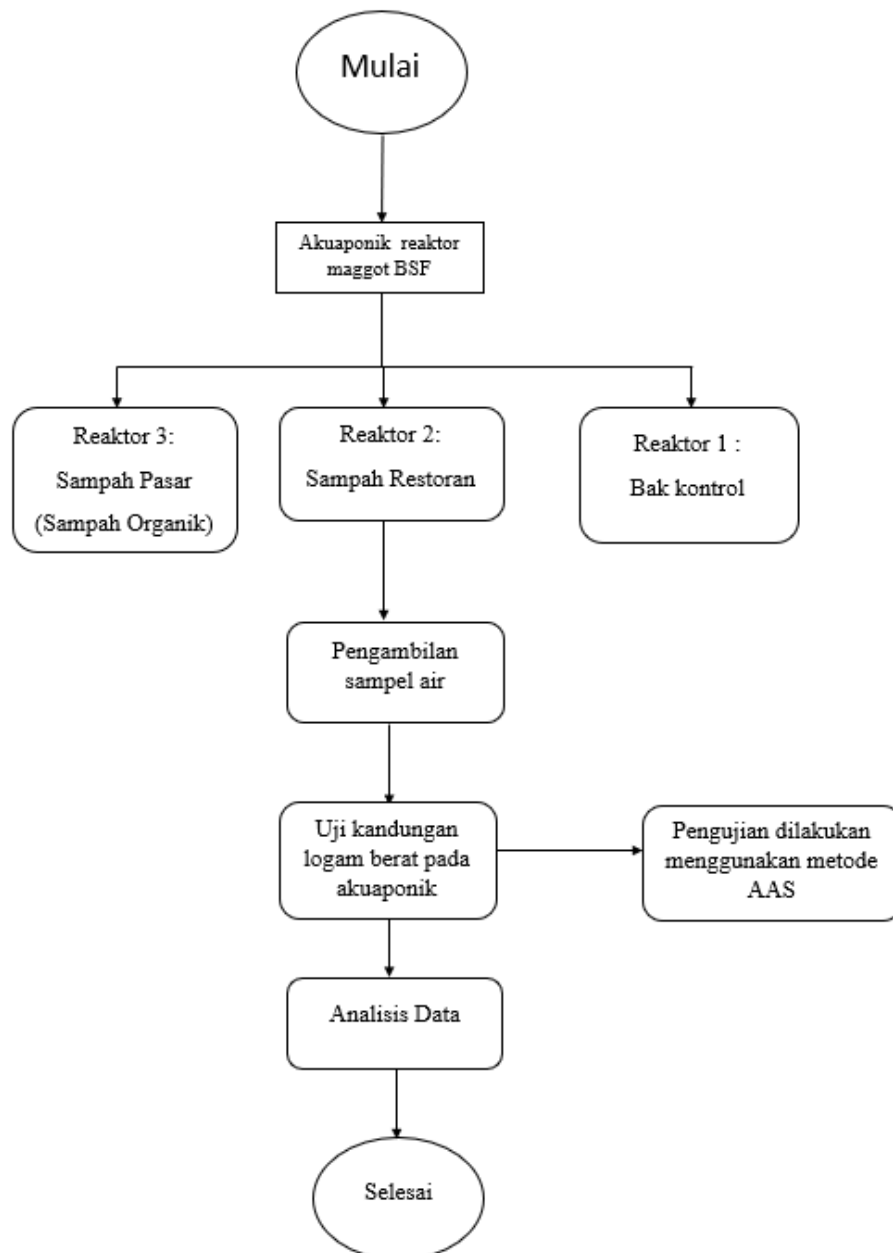
3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Akuades
2. Asam Nitrat (HNO_3) pekat
3. Hidrogen peroksida (H_2O_2)
4. Larutan Induk Logam Timbal (Pb)
5. Larutan Induk Logam Kadmium (Cd)
6. Larutan Induk Logam Besi (Fe)
7. Larutan Induk Logam Kromium (Cr)
8. Media Penyaring dengan ukuran pori 0,45 μm

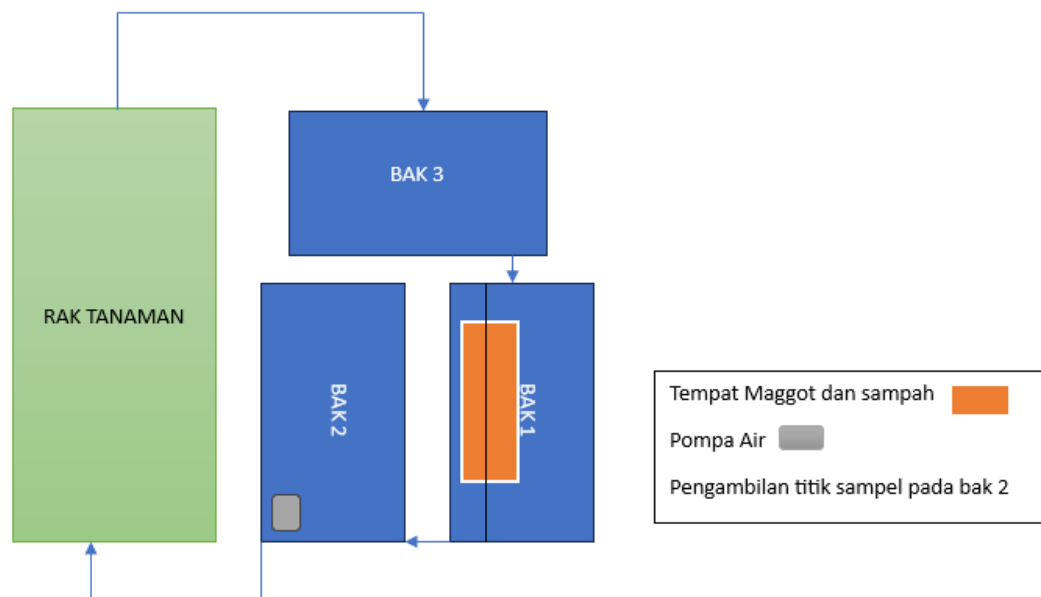
3.3 Prosedur Analisis Data

Metode penelitian ini sama seperti pada umumnya karena melalui beberapa tahapan yakni observasi, mempersiapkan alat dan bahan, pengamatan sampel, pengambilan sampel, pengujian sampel serta melakukan analisis data. Berikut merupakan diagram alir dari penelitian ini:



Gambar 3. 2 Diagram Alir

Pada penelitian kali ini satu sistem akuaponik terdiri dari tiga bak dan satu rak tanaman. Bak 1 digunakan sebagai tempat kantong maggot dan sampah organik. Bak 2 digunakan sebagai bak sedimentasi dari bak 1 dan menjadi suplai untuk tanaman. Bak 3 digunakan sebagai tempat ikan, dan suplai air ke bak 1. Setiap bagian akan dihubungkan dengan pipa penghubung. Skema dari sistem ini dapat dilihat pada gambar 3.3 Skema Reaktor.



Gambar 3. 3 Skema Reaktor

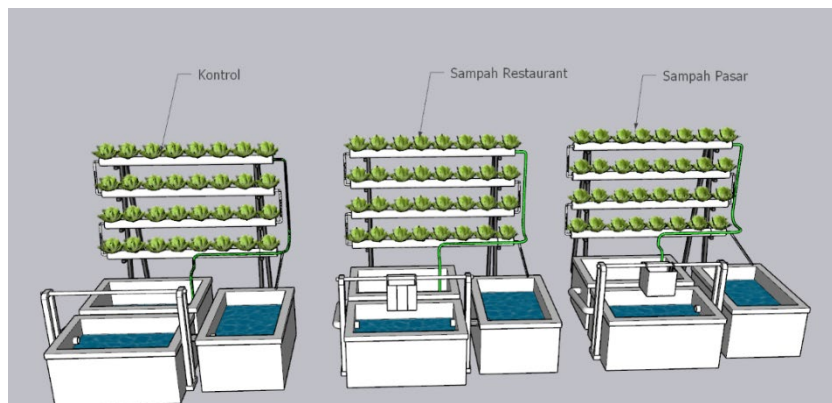
3.4 Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan dari waktu semai selada hingga waktu panen. Lalu melakukan sampling air pada masa awal running akuaponik reaktor maggot BSF dan diakhir atau pada saat waktu panen akan diambil sampling kembali. Sampling akan dilakukan pada ketiga reaktor dengan perlakuan yang berbeda-beda.

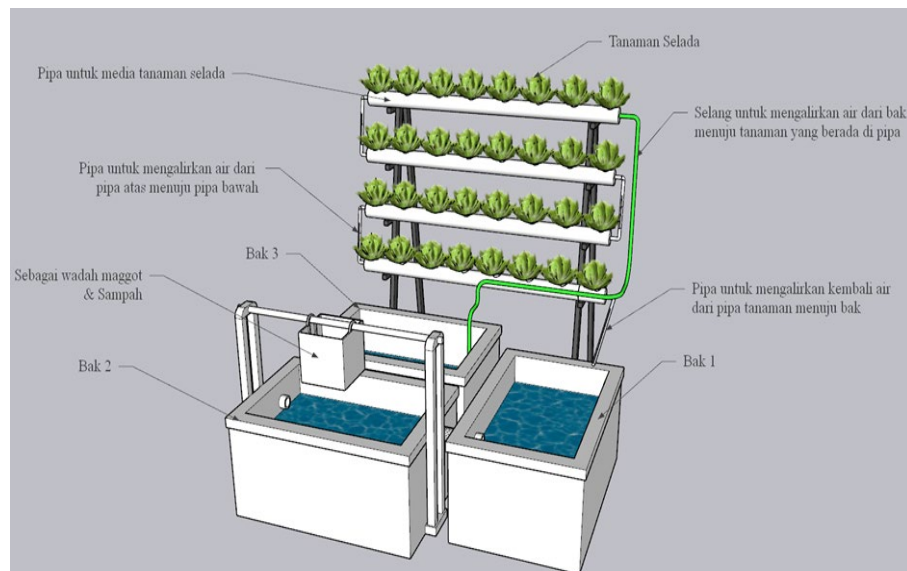
3.4.1 Persiapan Akuaponik

Dalam penelitian ini menggunakan alat integrasi akuaponik dengan reaktor maggot BSF yang mana dalam 1 sistem terdiri dari 3 bak penampung air, 1 tas untuk menampung maggot BSF dan sampah organik yang berasal dari

2 sumber. Sumber pertama didapatkan dari sampah restoran yang akan di taruh di reaktor 2 dan sumber yang kedua berasal dari sampah pasar yang akan ditaruh di reaktor 3, serta 4 buah pipa untuk tanaman. Kemudian, pada bak pertama yang berada di depan mengalir ke seluruh bak lainnya. Kemudian air dialirkan ke pipa 1 menggunakan pompa dan dialirkan sampai pipa 4 selama 24 jam. Untuk maggot yang digunakan pada hari pertama pada saat akuaponik di dioperasikan yaitu berumur 5 hari.



Gambar 3. 4 Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot



Gambar 3. 5 Detail Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot.

3.4.2 Pengambilan Sampel Air

Pada saat pengambilan sampel siapkan jerigen 1 liter yang steril. Lalu ambil air sampel dari bak penampung sebanyak 1 liter. Lakukan pengambilan air sampel sebanyak 1 liter dari ketiga reaktor dengan jerigen yang berbeda-beda. Setelah itu lakukan pengawetan dengan HNO₃ pekat sebanyak 5 mL di setiap jerigen. Lalu tempatkan sampel yang telah diawetkan ke lemari pendingin.

3.4.3 Pengujian Sampel Logam Berat

Pengujian sampel air dari ketiga kolam yang berbeda dari alat integrasi akuaponik dilakukan berdasarkan masing-masing unsur makronutrien yaitu Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Besi (Fe) dan Kromium (Cr) dan pengujian dilakukan di laboratorium dengan mengacu pada SNI 6989-84 : 2019 tentang Air dan air – Bagian 84 : Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA).

Destruksi merupakan metode untuk mengubah sampel menjadi bentuk meteri yang dapat diukur sehingga kandungan logam yang terdapat pada sampel yang telah terdestruksi dapat dianalisis. Destruksi dilakukan pada setiap sampel uji dan parameter berikut, tahapan destruksi yang dilakukan pada penelitian kali ini :

1. Masukkan 100 mL contoh uji dan homogenkan di dalam gelas beker.
2. Tambahkan 5 mL asam nitrat.
3. Panaskan di pemanas listrik sampai larutan contoh uji lebih jernih.
4. Ditambahkan 50 mL akuades, masukan ke dalam labu ukur 100 mL melalui kertas saring dan ditepatkan 100 mL dengan akuades.

3.5 Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data secara kuantitatif berupa kandungan makronutrien yang mencakup Timbal(Pb), Kadmium(Cd), Besi (Fe) dan Kromium (Cr). Metode penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Adapun perlakuan penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Perlakuan 3 (Tiga) Reaktor

Instalasi	Perlakuan
Reaktor 1	Tidak diberikan perlakuan apapun (sebagai bak kontrol).
Reaktor 2	Diberikan sampah organik yang berasal dari restoran setiap 3 hari sekali, dengan 5 kilogram diawal dan untuk selanjutnya dengan berat 4 kilogram sebanyak 7 kali.
Reaktor 3	Diberikan sampah organik yang berasal dari pasar setiap 3 hari sekali, dengan 5 kilogram diawal dan untuk selanjutnya dengan berat 4 kilogram sebanyak 7 kali.

Analisis data penelitian dilakukan secara statistik yang bertujuan untuk membandingkan bagaimana perbedaan kandungan logam berat (Timbal(Pb), kadmium (Cd), Besi (Fe) dan Kromium (Cr)) yang ada didalam air akuaponik pada awal reaktor dioperasikan dan juga pada akhir akuaponik selesai dioperasikan.

3.5.1 Pengujian Sampel Logam

Pengujian sampel air pada akuaponik reaktor maggot BSF dilakukan berdasarkan masing-masing unsur logam yaitu timbal (Pb), cadmium (Cd), besi (Fe), dan cromium (Cr). Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom (SSA) dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari keempat parameter logam yang akan diuji mengacu pada SNI 6989-84 : 2019. *Atomic Absorption Spektrofotometer* atau Spektrofotometer Serapan Atom adalah alat laboratorium yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi suatu zat dalam sebuah sampel dengan mengukur absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Khairunissa, 2021). Penggunaan dari SSA diantaranya dapat mengukur konsentrasi suatu zat dalam sampel dengan tingkat sensitivitas yang tinggi, serta dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi logam-logam berat, mineral, dan senyawa organik tertentu. Selanjutnya perhitungan dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Kadar (mcg/g)} = \frac{C \times V \times Fp}{W} \dots\dots\dots(1)$$

C = Konsentrasi larutan sampel (mg/L) W = Berat contoh uji (L)

V = Volume larutan sampel (mL)

Fp = Faktor Pengencer

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Logam Berat

Pengujian logam berat dalam air akuaponik bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat konsentrasi logam berat pada akuaponik reaktor maggot BSF dengan tiga perlakuan yang berbeda. Reaktor 1 (kontrol), reaktor 2 (sampah resto), dan reaktor 3 (sampah pasar). Hasil dari pengujian logam berat nantinya akan dibandingkan dengan hasil dari pengujian akuaponik konvensional untuk mengetahui perbedaan konsentrasi dari kedua akuaponik. Menurut penelitian yang dari Gjesteland (2013) melakukan penelitian tentang kualitas air dalam sistem akuaponik menggunakan sirkulasi *recirculated* dengan tujuan untuk mengevaluasi parameter fisiokimia seperti pH, suhu, oksigen terlarut, serta konsentrasi logam dan nutrisi seperti nitrogen dan fosfat, yang berpengaruh terhadap kesehatan tanaman dan ikan. Adapun konsentrasi logam yang akan dibandingkan yaitu kadmium, besi, dan kromium.

4.1.1 Hasil Pengujian Kandungan Timbal (Pb)

Kandungan timbal (Pb) merupakan salah satu cara untuk mengetahui apakah air pada akuaponik tersebut terdapat logam berat atau tidak. Timbal merupakan logam berat beracun yang dapat memasuki badan air melalui berbagai sumber, termasuk sampah organik dan aktivitas domestik. Pencemaran timbal juga dapat merusak keseimbangan ekosistem perairan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan pada sistem akuaponik (Ghazaryan *et al.*, 2019). Segingga, dengan mengetahui konsentrasi timbal pada setiap reaktor sangat diperlukan dalam mempengaruhi kualitas atau kinerja dari sistem akuaponik (Iwaela *et al.*, 2020). Berikut merupakan tabel hasil Perbandingan hasil awal dan hasil akhir timbal pada penelitian ini dapat dilihat dari tabel 4.1 :

Tabel 4. 1 Kadar Total Timbal (Pb) pada Ketiga Reaktor Akuaponik

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)	
		Awal	Akhir
Reaktor 1	Kontrol	ND	0.41
Reaktor 2	Sampah Resto	0.12	0.55
Reaktor 3	Sampah Pasar	ND	ND

Berdasarkan tabel 4.1, untuk hasil pengujian awal didapatkan pada reaktor 1 atau bak kontrol dengan nilai konsentrasi ND, untuk reaktor 2 atau sampah resto didapatkan nilai konsentrasi 0,12 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan nilai konsentrasi ND. Sedangkan, untuk hasil pengujian akhir didapatkan pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi 0,41 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi 0,55 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi ND. Hasil pengujian tersebut menunjukkan adanya perbedaan kadar total timbal pada pengujian kadar total timbal awal dan akhir. Yang mana mengalami kenaikan kadar total timbal pada pengujian akhir dari kedua reaktor akuaponik, seperti pada reaktor 1 dan 2 mengalami kenaikan kadar total timbal namun, pada reaktor 3 tidak ditemukan adanya timbal atau ND (Not Detected). Faktor yang menyebabkan adanya konsentrasi timbal dalam air akuaponik dipengaruhi berbagai faktor, seperti aktivitas yang dilakukan warga setempat yaitu membakar sampah di area sekitar lokasi akuaponik sedang dioperasikan. Dari proses pembakaran sampah tersebut tentu akan menghasilkan asap yang membawa partikulat halus yang dapat terbawa udara sehingga mengontaminasi air akuaponik terlebih lagi apabila sampah yang dibakar seperti baterai bekas dan barang elektronik bekas (Ward *et al.*, 2020). Selain dari aktivitas pembakaran sampah, kontaminasi dari makanan ikan juga menjadi faktor lain dari adanya konsentrasi timbal pada air akuaponik. Pakan ikan yang digunakan mungkin sudah terkontaminasi pada saat proses produksi, penyimpanan atau pada saat sedang di

distribusikan menggunakan alat transportasi yang menggunakan bahan bakar. Apabila ikan tersebut mengkonsumsi pakan tersebut, logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh ikan dan dikeluarkan kembali melalui kotoran ikan. Selain itu, pakan yang tidak dimakan oleh ikan dapat terurai di dalam air sehingga dapat melepaskan logam berat tersebut ke dalam air (Ayoola., *et al* 2019). Selain faktor yang sudah dijelaskan, sampah makanan yang digunakan sebagai makanan maggot BSF di reaktor juga menjadi faktor lain adanya konsentrasi Pb di air akuaponik. Proses pengolahan makanan yang menggunakan peralatan masak yang berbahan timbal dan penyimpanan atau pengemasan makanan yang tidak sesuai dapat menjadi penyebab kontaminasi logam berat seperti timbal, terdapat pada makanan (Mcbride, 2014). Sampah makanan tersebut mengalami proses dekomposisi yang menghasilkan lindi. Yang mana lindi tersebut tercampur dengan air akuaponik. Untuk nilai yang disebutkan dengan limit of detection (LOD) / Not Detection (ND) yaitu merupakan kemampuan batas dari instrumen (AAS) dalam menganalisis pembacaan hasil dengan nilai yang terbilang kecil (Zhao, 2009).

4.1.2 Hasil Pengujian Kandungan Kadmium (Cd)

Kandungan kadmium (Cd) merupakan salah satu cara untuk mengetahui apakah air pada akuaponik tersebut terdapat logam berat atau tidak. Kadmium dapat mengganggu proses fotosintesis pada tumbuhan akuatik, yang dapat mengakibatkan ekosistem pada perairan rusak (Baker *et al.*, 2016). Hal tersebut tentu akan mempengaruhi keseimbangan akuaponik yang sedang dioperasikan. Sehingga, analisis konsentrasi kadmium pada air akuaponik diperlukan dalam mempengaruhi kualitas atau kinerja dari sistem akuaponik. Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil pengujian kandungan logam berat kadmium awal dan akhir yang ada pada ketiga reaktor akuaponik:

Tabel 4. 2 Kadar kadmium (Cd) pada Ketiga Reaktor Akuaponik

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)	
		Awal	Akhir
Reaktor 1	Kontrol	0,003	0,030
Reaktor 2	Sampah Resto	0,02	0,036
Reaktor 3	Sampah Pasar	ND	0,024
Akuaponik konvensional*		0,46	0,23

Sumber: Gjesteland, 2013. *Study of Water Quality of Recirculated Water in Aquaponic Systems*

Berdasarkan tabel 4.2, pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi 0,003 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi 0,02 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi ND. untuk hasil pengujian akhir didapatkan pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi 0,030 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi 0,036 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi 0,024 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi kadmium pada awal dan konsentrasi akhir mengalami perubahan. Untuk konsentrasi Cd yang tertinggi terdapat pada reaktor 2 dengan nilai 0,036 mg/L. Sedangkan, konsentrasi terendah berasal dari reaktor 3 dengan nilai konsentrasi 0,024 mg/L. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi Cd pada akuaponik reaktor maggot BSF lebih tinggi dikarenakan sampah restoran dan sampah pasar yang digunakan untuk makanan maggot BSF mengalami proses dekomposisi. Sampah organik tersebut mengalami proses dekomposisi yang menghasilkan lindi dari sampah sisa makanan dan juga sampah buah dan sayur (Yuwono, 2006). Lindi yang dihasilkan dari proses dekomposisi ini terlarut kedalam air akuaponik sehingga, memungkinkan air tersebut terkontaminasi kadmium yang ada pada sampah makanan (Yin, 2016). Penggunaan pupuk untuk menyuburkan sayur-sayuran dan buah-buahan juga menjadi salah satu faktor penyebab adanya konsentrasi Cd (Alloway, 2013). Proses pengolahan makanan dan penyimpanan yang tidak tepat juga dapat menjadi faktor lain yang mengakibatkan adanya kandungan kadmium

pada sampah makanan (Ghosh et al., 2016). Selain itu adanya aktivitas pembakaran sampah yang dilakukan oleh warga sekitar menjadi faktor lain yang mengakibatkan air akuaponik terkena kontaminasi melalui udara. Dalam studi yang dilakukan oleh Kamaruzaman dkk (2020), ditemukan bahwa pembakaran sampah dapat meningkatkan konsentrasi kadmium di udara yang selanjutnya dapat mengontaminasi air dan tanah. Selain dari aktivitas pembakaran sampah, kontaminasi dari makanan ikan juga dapat menjadi faktor lain yang mengakibatkan konsentrasi kadmium pada bak kontrol meningkat. Selain itu, berdasarkan pada tabel 4.2 diatas menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd pada reaktor 1 (kontrol), reaktor 2 (sampah restoran), dan reaktor 3 (sampah pasar), baik itu pada konsentrasi periode awal maupun akhir, memiliki konsentrasi yang lebih rendah daripada akuaponik konvensional. Sehingga, dapat disimpulkan kondisi air pada akuaponik dengan reaktor maggot BSF masih lebih baik dilihat dari konsentrasi Cd daripada akuaponik konvensional.

4.1.3 Hasil Pengujian Kandungan Besi (Fe)

Konsentrasi besi (Fe) dalam air merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kualitas air, dikarenakan dampaknya terhadap ekosistem. Konsentrasi besi yang terdapat didalam air dapat berasal dari besi yang terlarut atau sebagai partikel padat, dan konsentrasi tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas industri, limbah domestik dan proses pelapukan batuan (Smith *et al.*, 2016). Konsentrasi besi yang tinggi dalam air dapat menyebabkan berbagai masalah potensi pencemaran yang dapat berdampak pada keseimbangan yang terdapat di akuaponik (Gibson et al., 2018). Oleh karena itu, penting untuk mengetahui konsentrasi besi untuk mengetahui kualitas atau kinerja dari sistem akuaponik. Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil pengujian kandungan logam berat besi awal dan akhir yang ada pada ketiga reaktor akuaponik:

Tabel 4. 3 Konsentrasi Logam Besi (Fe) pada Ketiga Reaktor Akuaponik

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)	
		Awal	Akhir
Reaktor 1	Kontrol	1,08	ND
Reaktor 2	Sampah Resto	ND	2,41
Reaktor 3	Sampah Pasar	ND	1,93
Akuaponik konvensional*		15.2	27.5

Sumber: Gjesteland, 2013. *Study of Water Quality of Recirculated Water in Aquaponic Systems*

Berdasarkan tabel 4.3, pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi 1,08 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi ND, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi ND. untuk hasil pengujian akhir didapatkan pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi ND, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi 2,41 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi 1,93 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi besi pada awal dan konsentrasi besi di akhir mengalami perubahan. Untuk konsentrasi Fe yang tertinggi terdapat pada reaktor 2 dengan nilai 0,036 mg/L.

Adanya konsentrasi Fe pada akuaponik dikarenakan sampah organik yang digunakan menjadi makanan untuk maggot BSF. Beberapa jenis makanan memiliki kandungan kadar zat besi yang tinggi seperti, sayuran hijau, daging, dan biji-bijian (Rosa *et al.*, 2019). Proses dekomposisi yang terjadi pada sampah organik menjadi faktor adanya konsentrasi logam Fe terdapat di akuaponik. Proses dekomposisi yang terjadi dikarenakan sampah organik, seperti sisa makanan, terpapar oleh mikroorganisme yang memetabolisme bahan organik tersebut menjadi substansi yang lebih sederhana (Kumar *et al.*, 2018). Selain, dikarenakan adanya proses dekomposisi yang terjadi pada sampah organik yang menghasilkan lindi dan

nantinya mengkontaminasi air pada akuaponik. Air yang digunakan pada akuaponik juga menjadi faktor lain adanya konsentrasi Fe pada air akuaponik reaktor maggot BSF. Air yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan air sumur yang mana memiliki kemungkinan dapat dijumpai logam Fe meskipun nilainya kecil. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Fe dalam sumur dapat bervariasi dari beberapa miligram hingga lebih dari 10 mg/L (Stumm & Morgan, 1996). Hal tersebut yang mengakibatkan konsentrasi pada reaktor 1 mengalami penurunan dikarenakan konsentrasi Fe yang terdapat pada reaktor 1 (kontrol) relatif kecil karena konsentrasi tersebut hanya berasal dari air sumur sedangkan, pada reaktor 2 (sampah resto) dan reaktor 3 (sampah pasar) terdapat sampah organik. Sehingga, tumbuhan pada akuaponik reaktor 1 menyerap Fe yang terlarut didalam air melalui akar untuk proses fotosintesis (Kok et al.,2020). Selain itu, mikroorganisme yang terdapat di dalam air akuaponik juga dapat menjadi faktor lain yang menyebabkan konsentrasi Fe pada reaktor 1 menurun. Mikroorganisme dalam air akuaponik mampu memproduksi senyawa organik seperti, asam yang berfungsi dalam kompleksasi logam, sehingga menurunkan konsentrasi logam didalam air (Gadd, 2010). Berdasarkan pada tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa konsentrasi Fe pada semua reaktor, baik itu reaktor 1 (kontrol), reaktor 2 (sampah restoran), dan reaktor 3 (sampah pasar) untuk konsentrasi periode awal maupun akhir lebih sedikit dibandingkan konsentrasi Fe yang terdapat di akuaponik konvensional.

4.1.4 Hasil Pengujian Kandungan Kromium (Cr)

Konsentrasi kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat dalam air merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kualitas air, dikarenakan dampaknya terhadap ekosistem. Kromium dapat berperan sebagai bioakumulator, di mana tumbuhan akuatik dan ikan yang berada di lingkungan yang terpapar kromium dapat menyerapnya sehingga, dapat menyebabkan dampak negatif pada organisme tersebut apabila menyerap

kromium yang berlebihan (Srinivasan et al., 2010). Oleh karena itu, analisis konsentrasi kromium sangat penting untuk memantau kualitas air serta kinerja dari sistem akuaponik. Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil pengujian kandungan logam berat kromium awal dan akhir yang ada pada ketiga reaktor akuaponik:

Tabel 4. 4 Konsentrasi Logam Kromium (Cr) pada Ketiga Reaktor Akuaponik

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)	
		Awal	Akhir
Reaktor 1	Kontrol	0.03	0,33
Reaktor 2	Sampah Resto	ND	0,24
Reaktor 3	Sampah Pasar	ND	0,17
akuaponik konvensional*		0.5	0.7

Sumber: Gjesteland, 2013. *Study of Water Quality of Recirculated Water in Aquaponic Systems*

Berdasarkan tabel 4.4, pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi 0,03 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi ND, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi ND. untuk hasil pengujian akhir didapatkan pada reaktor 1 atau bak kontrol didapatkan konsentrasi 0,33 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi 0,024 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi 0,17 mg/L. Hasil tersebut menunjukan bahwa konsentrasi kromium pada awal dan konsentrasi akhir mengalami perubahan. Untuk konsentrasi kromium yang tertinggi pada reaktor 1 dengan nilai 0,033 mg/L. Sedangkan, konsentrasi terendah berasal dari reaktor 3 dengan nilai konsentrasi 0,17 mg/L. Faktor yang mempengaruhi adanya kandungan Cr pada air akuaponik reaktor maggot BSF dapat berasal dari beberapa hal seperti, pakan ikan yang digunakan, dan aktivitas s pembakaran sampah yang terjadi disekitar area akuaponik reaktor maggot BSF yang sedang dioperasikan. Pakan ikan yang digunakan dapat menjadi faktor adanya konsentrasi Cr pada air akuaponik reaktor maggot BSF. Penggunaan bahan baku pakan seperti tepung kedelai, tepung ikan, dan bahan organik lainnya

jika bahan-bahan tersebut sudah terpapar Cr tentu dapat memungkinkan pakan ikan yang akan diproduksi akan mengandung Cr (Germano *et al.*, 2019). Pembakaran sampah yang terjadi disekitar area akuaponik menjadi faktor lain adanya konsentrasi pada air akuaponik reaktor maggot BSF. Ketika sampah dibakar, berbagai senyawa organik dan anorganik dapat terurai dan membentuk asap serta residu, yang memungkinkan adanya logam Cr yang terbawa dan kemudian terdeposit ke dalam air (Zhang *et al.*, 2019). Berdasarkan pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa konsentrasi Cr pada semua reaktor, pada semua reaktor, baik itu reaktor 1 (kontrol), reaktor 2 (sampah restoran), dan reaktor 3 (sampah pasar) untuk konsentrasi periode awal maupun akhir masih relatif sedikit dibandingkan, konsentrasi Cr yang didapat dari akuaponik konvensional.

4.3 Perbandingan Hasil Uji dengan PP No. 22 tahun 2021.

Hasil uji yang telah didapatkan pada pengujian konsentrasi awal dan akhir akan dibandingkan dengan baku mutu Pb, Cd, Fe dan Cr yang terdapat pada dengan Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Tujuan dari dilakukan perbandingan hasil penelitian ini dengan baku mutu untuk mengetahui kualitas air sudah memenuhi standar atau belum untuk budidaya ikan air tawar. Kualitas air pada akuaponik memiliki peran penting dalam optimalisasi budidaya ikan sehingga, perlu mengetahui kadar minimum logam berat yang dapat diterima oleh ikan yang akan dibudidayakan di dalam sistem akuaponik maggot BSF. Kadar minimum dalam air sangat berpengaruh terhadap budidaya ikan air tawar karena dapat memberikan dampak langsung pada kesehatan ikan. Logam berat seperti Pb dan Cd dapat terakumulasi dalam tubuh ikan sehingga, menjadi racun yang mengakibatkan gangguan hingga menyebabkan kematian (Das *et al.*, 2021).

Tabel 4. 5 Baku Mutu Air untuk Budidaya Ikan Air Tawar

No	Parameter	Kadar yang diperbolehkan Mg/L
1.	Timbal (Pb)	1
2.	Kadmium (Cd)	0,01

Sumber : Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021

4.3.1 Perbandingan Hasil Uji Pb dengan PP No. 22 tahun 2021.

Perbandingan hasil awal dan hasil akhir timbal pada penelitian ini dapat dilihat dari tabel 4.11 bahwa nilai dari timbal(Pb)

Tabel 4. 11 Perbandingan Hasil Awal dan Akhir Pb dengan Baku Mutu.

Jenis Reaktor	Periode	Hasil	Baku Mutu Kelas. III (Mg/L)	Keterangan
		Uji (mg/L)		
Bak Kontrol	Awal	ND	1	memenuhi baku mutu
	Akhir	0,41		memenuhi baku mutu
Sampah Resto	Awal	0,12		memenuhi baku mutu
	Akhir	0,55		memenuhi baku mutu
Sampah Pasar	Awal	ND		memenuhi baku mutu
	Akhir	ND		memenuhi baku mutu

Berdasarkan pada tabel 4.11 diatas menunjukkan bahwa kandungan timbal pada reaktor 1 (kontrol), pada reaktor 2 (sampah resto) dan reaktor 3 (sampah pasar) hasil periode awal menunjukkan bahwa, konsentrasi timbal berada dibawah baku mutu. Sedangkan pada reaktor 1 (kontrol) konsentrasi akhir mengalami kenaikan namun tidak melebihi baku mutu dan pada reaktor 2 (sampah restoran) konsentrasi akhir juga mengalami kenaikan tetapi tidak melebihi baku mutu. Sedangkan, reaktor 3 (sampah pasar) pada konsentrasi akhir tidak mengalami kenaikan. Konsentrasi timbal pada beberapa reaktor memang mengalami peningkatan namun, tidak ada yang melebihi baku mutu PP no.22 tahun 2021. Sehingga kualitas air pada akuaponik masih memenuhi baku mutu.

4.3.2 Perbandingan Hasil Uji Cd dengan PP No. 22 tahun 2021.

Perbandingan hasil awal dan hasil akhir kadmium pada penelitian ini dapat dilihat dari tabel 4.12 bahwa nilai dari kadmium(Cd).

Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Awal dan Akhir Cd dengan Baku Mutu.

Jenis Reaktor	Periode	Hasil	Baku Mutu Kelas. III (Mg/L)	Keterangan
		Uji (mg/L)		
Bak Kontrol	Awal	0,003	0,01	Belum memenuhi baku mutu
	Akhir	0,03		Belum memenuhi baku mutu
Sampah Resto	Awal	0,02		Belum memenuhi baku mutu
	Akhir	0,036		Belum memenuhi baku mutu
Sampah Pasar	Awal	ND		Belum memenuhi baku mutu
	Akhir	0,024		Belum memenuhi baku mutu

Berdasarkan pada tabel 4.12 diatas menunjukkan bahwa kandungan kadmium pada reaktor 1 (kontrol), dan reaktor 3 (sampah pasar) pada konsentrasi awal, untuk konsentrasi kadmium berada dibawah baku mutu. Namun, pada reaktor 2 (sampah resto) memiliki konsentrasi yang melebihi baku mutu. Untuk periode akhir konsentrasi yang didapatkan pada reaktor 1 (kontrol) mengalami kenaikan yang melewati baku mutu. Pada reaktor 2 (sampah restoran) konsentrasi akhir juga mengalami kenaikan. Sedangkan, reaktor 3 (sampah pasar) pada konsentrasi akhir mengalami kenaikan yang melewati baku mutu. Konsentrasi kadmium pada ketiga reaktor mengalami peningkatan yang signifikan yang mengakibatkan melebihi baku mutu PP no.22 tahun 2021. Perlu adanya pengelolaan kembali supaya air akuaponik dapat digunakan dalam budidaya ikan air tawar. Beberapa metode bisa diterapkan agar kadar kadmium pada air berkurang seperti teknik fitoremediasi. Namun, optimalisasi dari teknik ini berasal dari jenis tanaman yang digunakan dalam sistem akuaponik.

Sehingga, mengganti tanaman yang digunakan dalam sistem akuaponik dengan jenis tanaman yang mampu menyerap logam berat seperti sawi hijau (*Brassica rapa*) mungkin dapat menyerap logam berat tersebut daripada tanaman yang telah digunakan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh kadir dan Zainudin (2022), sawi hijau menunjukkan kemampuan signifikan dalam mengurangi konsentrasi logam berat termasuk kadmium pada media air.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini merupakan project besar terkait Studi Teknologi Integrasi Pengelolaan Sampah Produksi Larva BSF dengan Akuaponik. Dan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan telah dilakukan bahwa air yang terdapat di akuaponik dengan reaktor maggot BSF mengandung logam Hasil penelitian dapat disimpulkan :

1. Dapat disimpulkan bahwa dari ketiga perlakuan yang diberikan menghasilkan konsentrasi logam berat yang berbeda-beda pada air di ketiga reaktor . Hasil menunjukan bahwa konsentrasi tertinggi dari reaktor 2 dengan perlakuan sampah restoran pada parameter Pb dengan konsentrasi 0,55 mg/L.
2. Dari perbandingan yang telah dilakukan antara akuaponik reaktor maggot BSF dengan akuaponik konvensional didapatkan bahwa konsentrasi logam berat Cd, Fe dan Cr pada akuaponik reaktor maggot BSF lebih rendah. Namun, Konsentrasi logam berat Cd yang terdapat pada air akuaponik reaktor maggot BSF masih melebihi baku mutu PP no. 22 tahun 2021 untuk budidaya ikan air tawar sehingga, perlu adanya evaluasi lebih lanjut untuk mengurangi konsentrasi Cd pada air akuaponik.

5.2 Saran

Adapun untuk saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan:

1. Sebaiknya untuk pengamatan terkait logam berat pada air dari sistem akuaponik, perlu dilakukannya pengambilan sampel per minggu agar mengetahui perubahan konsentrasi kandungan logam berat yang signifikan disetiap minggunya.
2. Perlu adanya parameter logam lain supaya mengetahui apakah terdapat logam selain timbal (Pb), kadmium (Cd), besi (Fe) dan Kromium (Cr).
3. Perlu menggunakan tanaman lain supaya kadar logam pada air akuaponik tidak melebihi baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi Z., Alikarami M., Nezhad E.R., Moradi F., & Moradi, V. (2013). Adsorptive Removal Of Co^{2+} And Ni^{2+} By Peels Of Banana From Aqueous Solution. *Universal Journal Of Chemistry*, Volume 1(3): 90–95
- Adrees, M., & Ali, Q. (2019). Sources and Toxicity of Chromium in the Environment: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8865-8879. DOI: 10.1007/s11356-019-04135-2.
- Alloway, B. J. (2013). "Cadmium in Soils and Plants". In: Alloway, B. J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils*(3rd ed.). Springer.
- Ayoola, S.O., & Kuton, M.P. (2019). *Effects of Heavy Metals in Fish Feed on Aquaculture Systems*. *Journal of Aquatic Sciences*.
- Baker, J. R., & Munt, G. L. (2016). The effects of cadmium on aquatic plants. *Aquatic Toxicology*, 176, 150-157.
- Baker, M. A., & Hargreaves, J. C. (2007). "Water quality and its effect on aquatic ecosystems." *Freshwater Biology*, 52(4), 713-723.
- Diener, S., Zurbrugg, C., Tockner, K., (2009). *Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. Waste Manag. Res.* 27, 603–610.
- Dortman, B, Diener S, Verstappen B, dan Zurbrugg. 2017. Proses Pengolahan Sampah Organik dengan Black Soldier Fly: Panduan Langkah-Langkah Lengkap. Ocatavianti DC. Dübendorf (CH): Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Gadd, G.M. (2010). Growth of micro-organisms in the presence of metal ions: the role of bioremediation in metal removal from contaminated environments. *FEMS Microbiology Letters*, 302(2), 64-70.

- Ghazaryan, K., et al. (2019). Heavy metals in aquatic environment: Sources, impacts, and remediation techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(16), 15786-15803.
- Ghosh, S., et al. (2016). "Heavy metal contamination due to solid waste disposal in metropolitan cities: A review." *Environmental Science and Pollution Research*, 23(4), 3269-3287.
- Gibson, R. M., Boulton, A. J., & Macris, H. (2018). Aquatic Ecosystems and Water Quality: The Impact of Iron Pollution on Aquatic Life. *Ecotoxicology*, 27(5), 633-640.
- Gjesteland, I. (2013). Study of Water Quality of Recirculated Water in Aquaponic Systems. NTNU-Norwegian University of Science and Technology Department of Chemistry.
- Hakim, A. R. (2017). Produksi Bahan Pakan Ikan dari Larva *Hermetia illucens* Berbasis Limbah Industri Pengolahan Ikan dan Kajian Keekonomiannya. Tesis. Universitas Gadjah Mada.
- Iresha, F. M., Lathifah, A. N., Maharani, S. D., & Rahmat, A. (2023). Macroorganism-Assisted Bioconversion of Organic Waste by Mealworm (*Tenebrio molitor*): An Investigation of Process Efficiency and Sustainability. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1257 012004
- Iweala, E. E., et al. (2020). Heavy metals in aquatic systems: Toxicity and bioavailability. *Water*, 12(9), 2679.
- Kadir, M. M., & Zainudin, Z. (2022). "Effect of leafy vegetables on the removal of cadmium from water: A case study of Brassica rapa." *Journal of Environmental Management*, 275, 111159.
- Kamaruzaman, J., Azhar, L. R. N., & Sulaiman, S. A. (2020). "Cadmium Release from Burning Waste: Environmental Impacts and Health Risks." *Journal of Environmental Management*, 270, 110850.

- Kumar, A., Kumari, S., & Verma, P. (2016). Microbial degradation of organic waste: A review. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(1), 234-245
- Lambin, E. F., & Turner, B. L. (2018). "Land-use Change: Causes and Consequences," *Land Degradation & Development*, 14(4), 341-352
- Palar H. (2008) Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta;2
- Popa, R., and Green T. (2012). *DipTerra LCC e-Book 'Biology and Ecology the Black Soldier Fly'*. DipTerra LCC.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Rahman, M. M., et al. (2014). "Effect of Chromium on Plant Growth: A Review." *International Journal of Plant Research*, 4(1), 1-11.
- Rashid, M. I., Khan, I., & Li, Z. (2020). Heavy Metals in Water: An Overview of Environmental Health and Monitoring. *Journal of Environmental Management*, 260, 110-115.
- Rosa, R., et al. (2019). "Iron Content in Food: A Review." *Journal of Nutrition and Food Sciences*
- Sastro yudi. 2016. Teknologi Akuaponik Mendukung Pengembangan Urban Farming. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jakarta.
- Shampoo, M.A., Kamiya, T., Sauer, P., Spiller, M., and Boyer, G.L. (2005). *Journal of Phycology*, 41(6), 1164-1172. *The effects of iron availability on growth and photosynthesis in Anabaena flos-aquae, Anabaena circinalis (cyanobacteria) and Cyclotella meneghiniana (diatom).*

- Sharma, B., & Shukla, S. (2019). "Impact of heavy metals on aquatic ecosystem." *International Journal of Environmental Sciences*, 9(4), 1383-1394.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (2016). Eutrophication: Impacts of Nutrient Enrichment to Freshwater Lakes and Streams. *Hydrobiologia*, 764(1), 151-170.
- SNI 6989-84 : 2019 tentang Air dan air limbah Air dan air limbah – Bagian 84 : Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA).
- Srinivasan, R., et al. (2010). "Aquatic Toxicity of Chromium: A Review." *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 1-13
- UNESCO. (2019). The World's Waste Crisis: A Global Perspective.
- Ward, C., Ochoa-Tocachi, B., & Buytaert, W. (2020). *Waste Management and Water Quality: The Hidden Link between Waste Burning and Water Pollution in Developing Countries*. Water Resources Research.
- Widowati, W. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Yin, X., & Yan, J. (2016). "A review of organic waste decomposition: A pathway toward renewable resources." *Waste Management*, 58, 333-341. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.08.007.
- Yuwono. 2006. Kecepatan Dekomposisi dan Kualitas Kompos Sampah Organik. Jurnal Inovasi Pertanian Vol 4 No2. Hal 116-123.
- Zhang, H., et al. (2016). "Heavy metals in surface water: a review of their sources, effects, and monitoring." *Environmental Science and Pollution Research*, 23(4), 2979-2989

Zhao, X., et. al. (2009). “ Determination of Cu, Zn, Mn, and Pb by microcolumn packed with multiwalled carbon nanotubes on-line coupled with flame atomic absorption spectrometry”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengujian Logam Berat pada Air Akuaponik

Lampiran 1. 1 Pengamatan Sistem Akuaponik



Lampiran 1. 2 Sampel Air Pengujian Logam Berat



Lampiran 1.3 Persiapan Sampel Pengujian



Lampiran 1. 3 Penyaringan Sampel Air



Lampiran 1. 4 Destruksi Sampel Pengujian





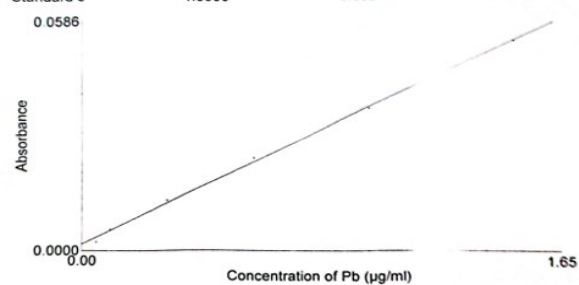
Lampiran 1. 5 Hasil Pengujian AAS

Wa

Results File	D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\169 pb.res		
Analysis			
Filename	C:\Program Files\GBC Avance\Ver 2.02\Analysis1.anl		
Element	Pb,		
Date	Sun Nov 03 22:22:50 2002		
Full Calibration			
Calibration Mode	Linear Least Squares Max Error : 0.0349 R ² : 0.9983 Conc = -0.0456 + 28.8462 * Abs		
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Table Blank	-----	-----	0.0000
Standard 1	0.0500	-----	0.0021
Standard 2	0.1000	-----	0.0053
Standard 3	0.3000	-----	0.0126
Standard 4	0.6000	-----	0.0234
Standard 5	1.0000	-----	0.0358
Standard 6	1.5000	-----	0.0534
Sample Blank	-----	14.09	0.0187
Sampel kntrl	0.2150	10.56	0.0090
Sampel sampah resto	0.3813	3.72	0.0148
Sampel bsf hari 0	0.2592	16.10	0.0106
sampah pasar	0.2977	13.03	0.0119
Bak kntrl	-0.0360	HIGH	0.0003
Sampah resto	0.0237	HIGH	0.0024
sampah pasar	-0.0177	HIGH	0.0010

results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\103_Pb.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avance\Ver 2.02\Analysis1.aht
 Element Pb.
 Date Mon Dec 09 22:38:42 2002
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares, Max Error: 0.0349 R²: 0.9983 R: 0.9991
 Conc = -0.0456 + 28.8462 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.0500	-----	0.0021	
Standard 2	0.1000	-----	0.0053	
Standard 3	0.3000	-----	0.0126	
Standard 4	0.6000	-----	0.0234	
Standard 5	1.0000	-----	0.0358	
Standard 6	1.5000	-----	0.0534	

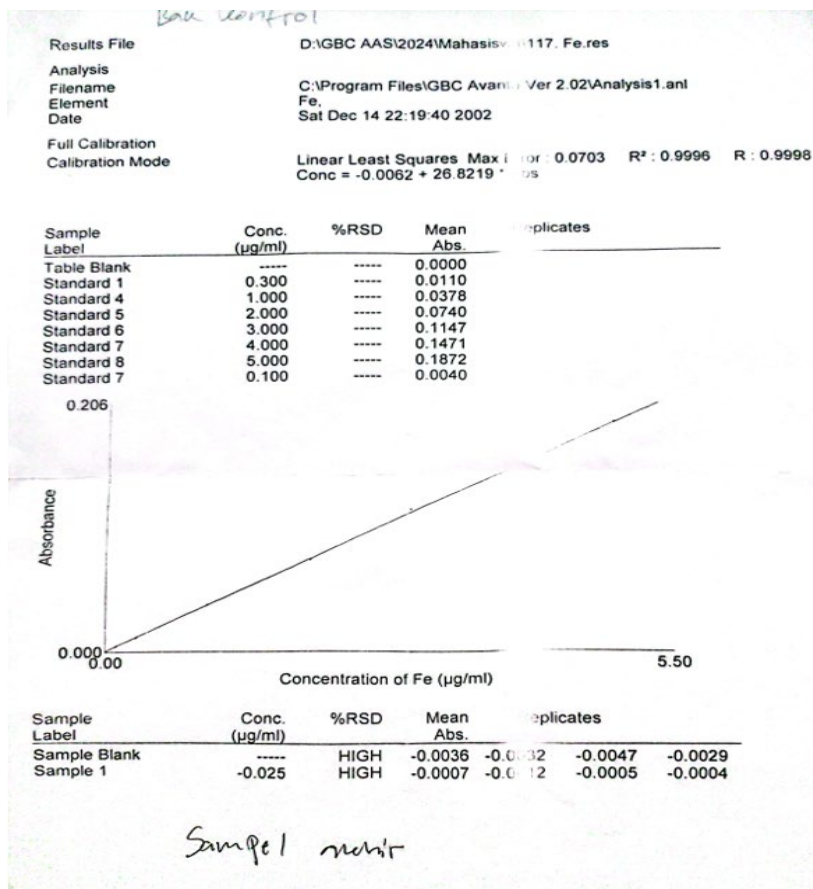


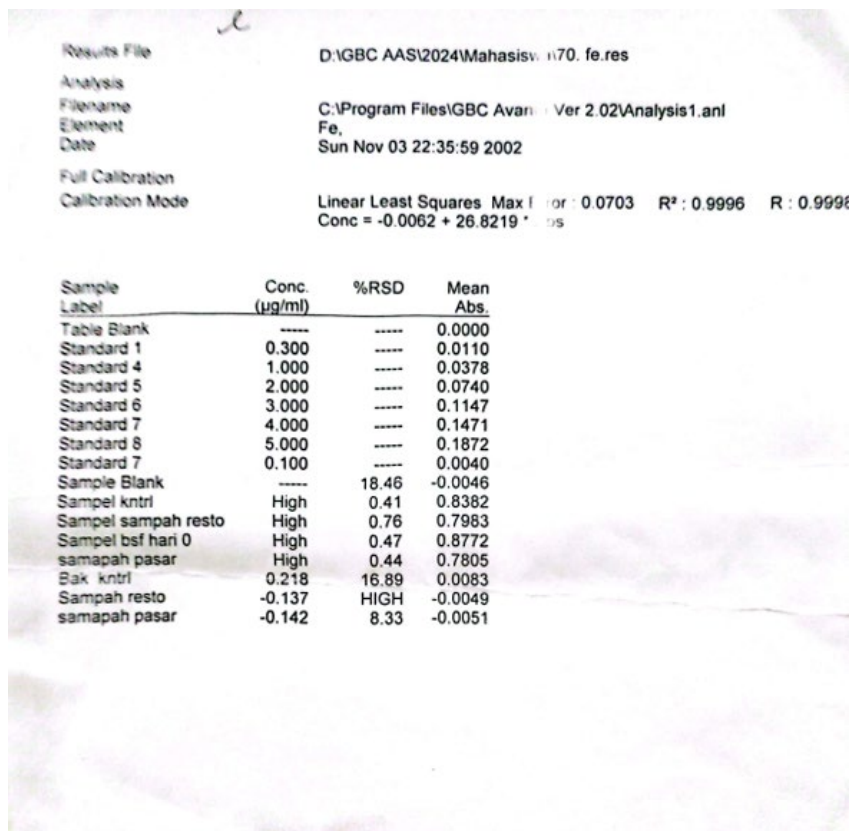
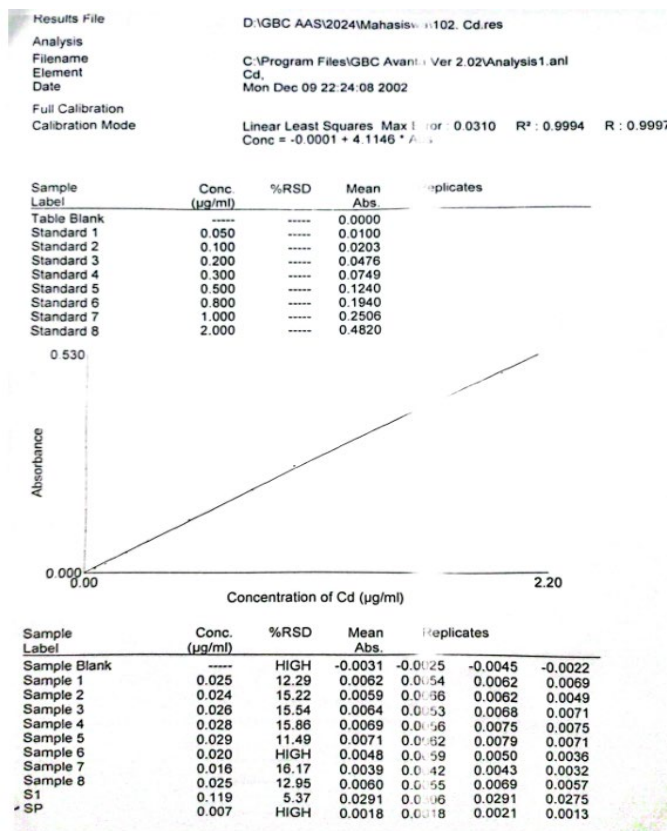
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	18.68	0.0054	0.0049 0.0048 0.0066
Sample 1	0.1708	HIGH	0.0075	0.0045 0.0070 0.0111
Sample 2	0.1660	HIGH	0.0073	0.0028 0.0128 0.0065
Sample 3	0.2256	HIGH	0.0094	0.0078 0.0085 0.0120
Sample 4	0.1871	HIGH	0.0081	0.0094 0.0097 0.0052
Sample 5	0.2948	7.60	0.0118	0.0023 0.0124 0.0108
Sample 6	0.2131	HIGH	0.0090	0.0010 0.0052 0.0108
Sample 7	0.1410	HIGH	0.0065	0.0005 0.0047 0.0053
Sample 8	0.1621	HIGH	0.0072	0.0007 0.0029 0.0091
SP	0.1102	HIGH	0.0054	0.0047 0.0045 0.0071
SR	-0.0177	HIGH	0.0010	-0.0021 0.0027 0.0024
T1	0.6688	12.54	0.0248	0.0050 0.0278 0.0216
T2	0.4852	14.40	0.0184	0.0004 0.0163 0.0176

awa *CJ*

Results File	D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\70 cd res
Analysis	
Filename	C:\Program Files\GBC AAS\Ver 2.02\Analysis1.anl
Element	Cd,
Date	Sun Nov 03 22:47:25 2002
Full Calibration	
Calibration Mode	Linear Least Squares Max Error: 0.0310 R ² : 0.9994 R: 0.9997 Conc = -0.0001 + 4.1146 * Abs

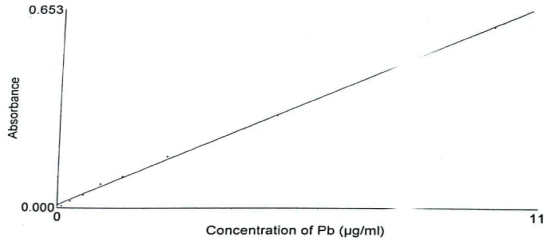
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Table Blank	-----	-----	0.0000
Standard 1	0.050	-----	0.0100
Standard 2	0.100	-----	0.0203
Standard 3	0.200	-----	0.0476
Standard 4	0.300	-----	0.0749
Standard 5	0.500	-----	0.1240
Standard 6	0.800	-----	0.1940
Standard 7	1.000	-----	0.2506
Standard 8	2.000	-----	0.4820
Sample Blank	-----	HIGH	0.0004
Sample kntrl	0.024	HIGH	0.0060
Sample sampah resto	0.034	7.12	0.0082
Sample bsf hari 0	0.057	10.46	0.0140
sampah pasar	0.024	HIGH	0.0058
Bak kntrl	0.001	HIGH	0.0002
Sampah resto	0.004	HIGH	0.0009
sampah pasar	-0.005	18.15	-0.0012





Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\116. Pb.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
 Element Pb,
 Date Sat Dec 14 22:10:02 2002
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.1714 R² : 0.9988 R : 0.9994
 Conc = -0.1593 + 17.0110 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.1000	-----	0.0057	
Standard 2	0.3000	-----	0.0220	
Standard 3	0.6000	-----	0.0415	
Standard 4	1.0000	-----	0.0766	
Standard 5	1.5000	-----	0.1011	
Standard 6	2.5000	-----	0.1664	
Standard 7	5.0000	-----	0.3014	
Standard 8	10.0000	-----	0.5947	

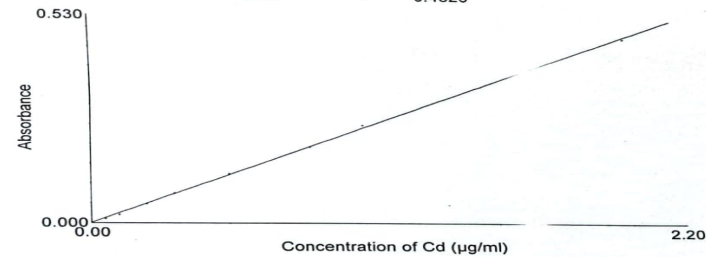


Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	10.82	0.0111	0.0120 0.0103
Sample 1	-0.0844	HIGH	0.0044	0.0037 0.0050
Sample 2	-0.1167	HIGH	0.0025	0.0017 0.0032
Sample 3	-0.1958	HIGH	-0.0022	-0.0016 -0.0027
Sample 4	-0.0759	HIGH	0.0049	0.0031 0.0066
Sample 5	-0.1856	HIGH	-0.0016	0.0028 -0.0060
Sample 6	-0.0759	HIGH	0.0049	0.0075 0.0022
Sample 7	-0.1831	HIGH	-0.0014	0.0014 -0.0043
Sample 8	-0.1397	HIGH	0.0011	0.0039 -0.0016
Sample 9	-0.1542	HIGH	0.0003	0.0008 -0.0003
Sample 10	-0.2120	HIGH	-0.0031	-0.0034 -0.0029

Dipindai dengan CamScanner

Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\111. Cd.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
 Element Cd,
 Date Sat Dec 14 21:36:35 2002
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0310 R² : 0.9994 R : 0.9997
 Conc = -0.0001 + 4.1146 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0100	
Standard 2	0.100	-----	0.0203	
Standard 3	0.200	-----	0.0476	
Standard 4	0.300	-----	0.0749	
Standard 5	0.500	-----	0.1240	
Standard 6	0.800	-----	0.1940	
Standard 7	1.000	-----	0.2506	
Standard 8	2.000	-----	0.4820	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0015	-0.0027 -0.0010 -0.0009
Sample 1	0.006	HIGH	0.0015	0.0008 0.0019 0.0018
Sample 2	0.007	HIGH	0.0018	0.0020 0.0032 0.0001
Sample 3	0.012	10.23	0.0029	0.0026 0.0032 0.0028
Sample 4	0.015	HIGH	0.0036	0.0025 0.0043 0.0041
Sample 5	0.015	2.33	0.0038	0.0038 0.0038 0.0037
Sample 6	0.020	5.74	0.0049	0.0051 0.0051 0.0046
Sample 7	0.012	HIGH	0.0029	0.0013 0.0041 0.0032
Sample 8	0.010	HIGH	0.0026	0.0026 0.0018 0.0033
Sample 9	0.016	5.56	0.0039	0.0037 0.0040 0.0041
Sample 10	0.018	6.55	0.0043	0.0041 0.0046 0.0042

Dipindai dengan CamScanner

Lampiran 1. 6 PP no. 22 tahun 2021

No	Parameter	Kadar yang diperbolehkan Mg/L
2.	Timbal (Pb)	1
3.	Kadmium (Cd)	0,01



No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Fluorida (F)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Mercuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	

27. Kobalt ...

SK No 065355 A



No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
27.	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28.	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	
29.	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30.	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
31.	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
32.	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
33.	Kromium heksavalen (Cr-VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34.	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
35.	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36.	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37.	Aldrin/ Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
38.	BHC	µg/L	210	210	210	-	
39.	Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
40.	DDT	µg/L	2	2	2	2	
41.	Endrin	µg/L	1	4	4	-	
42.	Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
43.	Lindane	µg/L	56	-	-	-	
44.	Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
45.	Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
46.	Fecal Coliform	MPN/100 mL	100	1.000	2.000	2.000	
47.	Total Coliform	MPN/100 mL	1.000	5.000	10.000	10.000	
48.	Sampah		nihil	nihil	nihil	nihil	
49.	Radioaktivitas						
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

II. BAKU ...

SK No 065357 A

Lampiran 2 Kadar Total Logam Berat pada Air dari Reaktor Akuaponik

Lampiran 2. 1 Rumus Perhitungan Logam Berat

$$\text{Kadar logam (mcg/g)} = \frac{C \times V \times Fp}{W}$$

Keterangan:

C = Konsentrasi larutan sampel (mg/L)

V = Volume larutan sampel (mL)

Fp = Faktor Pengencer

W = Berat contoh uji (L)

Lampiran 2. 2 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Pb

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)		Baku mutu
		Awal	Akhir	
Reaktor 1	Kontrol	-0.19	0.41	1
Reaktor 2	Sampah Resto	0.12	0.55	
Reaktor 3	Sampah Pasar	-0.08	-0.08	

Lampiran 2. 3 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Cd

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)		Baku mutu
		Awal	Akhir	
Reaktor 1	Kontrol	0.00	0.030	0,1
Reaktor 2	Sampah Resto	0.02	0.036	
Reaktor 3	Sampah Pasar	-0.03	0.024	

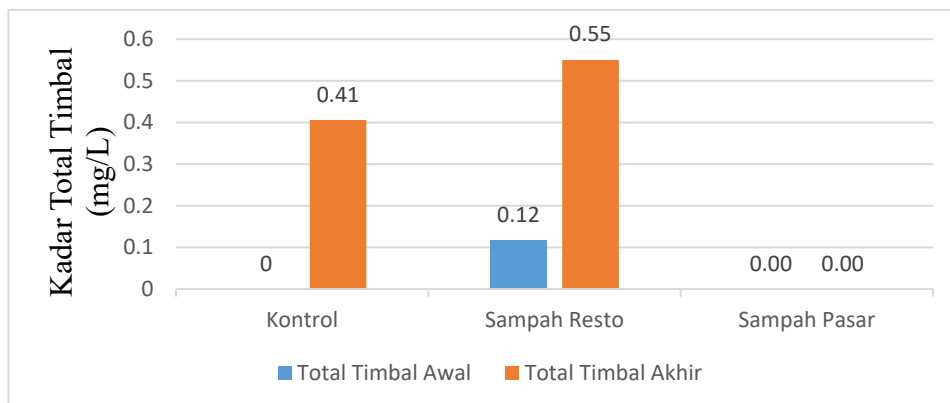
Lampiran 2. 4 Hasil Perhitungan Periode Awal & Akhir Cr

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)		Baku mutu
		Awal	Akhir	
Reaktor 1	Kontrol	0.03	0.33	1
Reaktor 2	Sampah Resto	-0.06	0.24	
Reaktor 3	Sampah Pasar	-0.06	0.17	

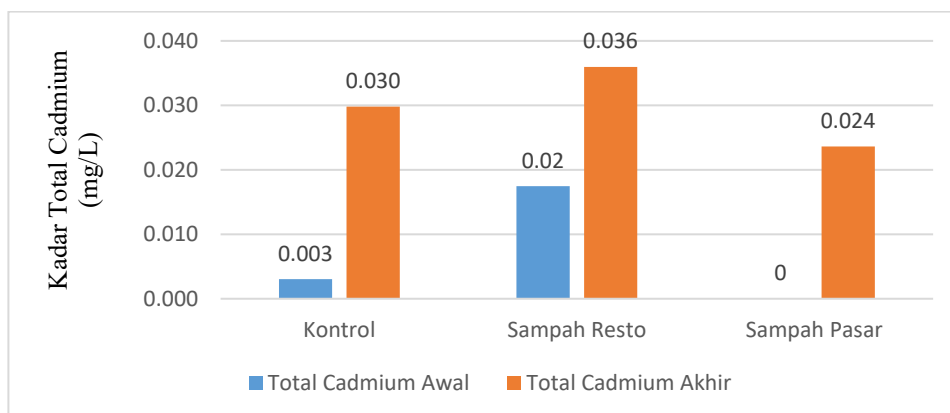
Lampiran 2. 5 Hasil Perhitungan Periode Awal & Akhir Fe

Reaktor	Jenis Reaktor	Kadar Total (mg/L)		Baku mutu
		Awal	Akhir	
Reaktor 1	Kontrol	-22.95	-25.44	10
Reaktor 2	Sampah Resto	-26.61	-20.21	
Reaktor 3	Sampah Pasar	-26.66	-21.21	

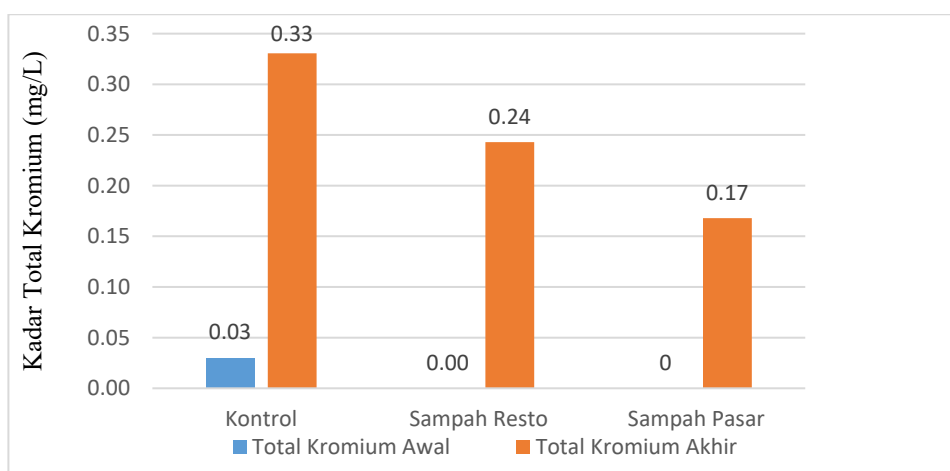
Lampiran 2. 6 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Pb



Lampiran 2. 7 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Cd



Lampiran 2. 8 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Cr



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Kharisma Zufar Yudiantono lahir di Brebes, 11 Januari 2001. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Adapun riwayat pendidikan penulis adalah TK Pertiwi (2004-2006), SD IT Nurul Hidayah Brebes (2006-2013), SMP Negeri 2 Brebes (2013-2017), SMA Negeri 2 Brebes (2017-2019), dan Universitas Islam Indonesia Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (2020-2024).

