TA/TL/2024/1921

TUGAS AKHIR

ANALISIS MIKRONUTRIEN (Mn, Cu, Zn) PADA AIR DALAM ALAT INTEGRASI AKUAPONIK DENGAN PRODUKSI MAGGOT BSF

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

MUHAMMAD HAYDAR RESPATI

20513103

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS MIKRONUTRIEN (Mn, Cu, Zn) PADA AIR DALAM ALAT INTEGRASI AKUAPONIK DENGAN PRODUKSI MAGGOT BSF

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

MUHAMMAD HAYDAR RESPATI

20513103

Disetujui,
Dosen Pembimbing,

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

NIK. 155130507
Tanggal: ~~13 September 2024~~

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

NIK 045130401
Tanggal: ~~13 September 2024~~ 25/10-24

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS MIKRONUTRIEN (Mn, Cu, Zn) PADA AIR DALAM ALAT INTEGRASI AKUAPONIK DENGAN PRODUKSI MAGGOT BSF

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jum'at

Tanggal : 13 September 2024

Disusun oleh :

MUHAMMAD HAYDAR RESPATI

20513103

Tim Penguji :

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

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, 13 September 2024

Yang menyatakan



Muhammad Haydar Kespati

Muhammad Haydar Respati

PRAKATA

1. Allah SWT atas segala nikmat dan berkah yang diberikan kepada penulis;
2. Bapak Amir Ma'ruf dan Ibu Siti Rohana selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
3. Bapak Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, 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 Pembimbing II yang selalu membimbing daN memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis selama proses penyusunan 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. 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
7. Teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2020 yang telah memberikan bantuan baik selama masa perkuliahan dan penelitian;
8. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Terlepas dari hal tersebut, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan penelitian selanjutnya. Kritik dan

saran yang membangun penulis sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Pada penghujung prakata, penulis ingin meminta maaf sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang dirugikan oleh penulis akibat ucapan maupun perbuatan penulis yang kurang berkenan secara langsung maupun tidak langsung.

Yogyakarta, 13 September 2024

Muhammad Haydar Respati

ABSTRAK

Permasalahan timbulan sampah organik, penyusutan ketersediaan lahan, dan meningkatnya kebutuhan pangan menjadi masalah besar yang belum teratasi. Maka dari itu, Penelitian ini menggabungkan teknologi akuaponik dengan produksi maggot Black Soldier Fly (BSF). Penelitian berfokus pada kandungan mikronutrien (Mn, Cu, dan Zn) dengan tujuan menganalisis pengaruh jenis sampah terhadap kandungan mikronutrien, membandingkan kandungan mikronutrien dengan akuaponik konvensional dan standar optimal akuaponik, serta membandingkan kandungan mikronutrien dengan nilai baku mutu lingkungan. Penelitian ini dilakukan pada 3 reaktor akuaponik dengan maggot BSF yang diberikan perlakuan yang berbeda, yaitu terdiri dari reaktor 1 (kontrol), reaktor 2 (sampah resto), dan reaktor 3 (sampah pasar). Dengan metode analisis data menggunakan Absorption Spectrofotometry (AAS). Hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa jenis sampah berpengaruh terhadap kandungan konsentrasi Mn dan Zn. Pada parameter Cu untuk perlakuan yang telah dilakukan tidak berpengaruh terhadap nilai konsentrasi. Hasil perbandingan dengan akuaponik konvensional dan nilai optimum didapatkan hasil Mn pada reaktor akuaponik dengan produksi maggot mengungguli akuaponik konvensional dengan konsentrasi 0,75 mg/L. Perbandingan dengan standar optimum didapatkan semua parameter masih dibawah nilai standar. Kemudian seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan dihasilkan bahwa secara keseluruhan aman serta memenuhi nilai baku mutu.

Kata kunci: *Sampah Organik, Akuaponik, Maggot Black Soldier Fly (BSF), Mikronutrien.*

ABSTRACT

The issues of organic waste accumulation, shrinking land availability, and increasing food demand remain significant and unresolved problems. Therefore, this study integrates aquaponic technology with Black Soldier Fly (BSF) maggot production. The research focuses on the content of micronutrients (Mn, Cu, and Zn) with the aim of analyzing the effect of different types of waste on micronutrient levels, comparing micronutrient content with conventional aquaponics and optimal aquaponic standards, and comparing micronutrient levels with environmental quality standards. The study was conducted on 3 aquaponic reactors with BSF maggots, subjected to different treatments: Reactor 1 (control), Reactor 2 (restaurant waste), and Reactor 3 (market waste). Data analysis was performed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results indicate that the type of waste affects the concentration of Mn and Zn. For the Cu parameter, the treatments did not affect the concentration values. Comparison with conventional aquaponics and optimal standards revealed that Mn in the aquaponic reactor with maggot production exceeded that of conventional aquaponics, with a concentration of 0.75 mg/L. Compared to the optimal standards, all parameters were still below the standard values. Furthermore, all test results were compared with the Environmental Ministerial Regulation No. 5 of 2014, showing that overall, the values are safe and meet the quality standards.

Keywords: *Organic Waste, Aquaponics, Black Soldier Fly (BSF) Maggots, Micronutrients*

DAFTAR ISI

ABSTRAK i

ABSTRACT ii

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR LAMPIRAN ....**Error! Bookmark not defined.**viii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Ruang Lingkup 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Akuaponik 6

2.2 Maggot BSF (Black Soldier Fly) 6

2.3 Leachete BSF (Lindi BSF) 7

2.4 Mikronutrien 7

2.4.1 Mangan (Mn) 8

2.4.2 Seng (Zn) 9

2.4.3 Tembaga (Cu) 9

2.5 Baku Mutu 10

2.6 Penelitian Terdahulu 10

BAB III METODE PENELITIAN 13

3.1 Waktu dan Lokasi 13
3.2 Alat dan Bahan.....13
3.2.1 Alat.....13
3.2.2 Bahan 14
3.3 Prosedur Analisis Data.....15
3.4 Tahap Penelitian.....16
3.4.1 Persiapan Akuaponik.....16
3.4.2 Pengamatan Sampel Air 18
3.4.3 Pengambilan Sampel Air.....18
3.4.4 Pengujian Sampel Mikronutrien.....18
3.5 Analisis Data.....18
3.5.1 Analisis Kandungan mangan (Mn) 19
3.5.2 Analisis Kandungan Tembaga (Cu) 19
3.5.3 Analisis Kandungan Seng (Zn) 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1 Hasil Pengujian Konsentrasi 21
4.1.1 Hasil Pengujian Mangan (Mn) 21
4.1.2 Hasil Pengujian Tembaga (Cu) 22
4.1.3 Hasil Pengujian Seng (Zn) 24
4.2 Perbandingan Hasil Uji dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimal Akuaponik.....25
4.2.1 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Mangan (Mn) dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimum Akuaponik.....25
4.2.2 Perbandingan Uji konsentrasi tembaga (Cu) dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimum Akuaponik.....27

4.2.3 Perbandingan Uji konsentrasi seng (Zn) dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimum Akuaponik.....28

4.3 Perbandingan Hasil Uji dengan Baku Mutu PERMEN LH NO.5 Tahun 2014……..……
……..29

4.3.1 Perbandingan hasil uji mangan (Mn) dengan Baku Mutu 30

4.3.2 Perbandingan hasil uji tembaga (Cu) dengan Baku Mutu 31

4.3.3 Perbandingan hasil uji seng (Zn) dengan Baku Mutu.....32

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....33

5.1 Kesimpulan 33

5.2 Saran.....34

DAFTAR PUSTAKA.....35

LAMPIRAN.....40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsentrasi Mikronutrien Pada Sistem Akuaponik.....8

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu 10

Tabel 3. 1 Perlakuan Reaktor Akuaponik 16

Tabel 4. 1 Hasil uji Konsentrasi Mn 21

Tabel 4. 2 Hasil uji Konsentrasi Cu 22

Tabel 4. 3 Hasil uji Konsentrasi Zn 24

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Mn Dengan Nilai Akuaponik Konvensional Dan Standar Optimum Akuaponik.....26

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Cu Dengan Nilai Akuaponik Konvensional Dan Standar Optimum Akuaponik.....27

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Zn Dengan Nilai Akuaponik Konvensional Dan Standar Optimum Akuaponik.....28

Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Mangan dengan Baku Mutu 30

Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Tembaga dengan Baku Mutu31

Tabel 4. 9 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Seng dengan Baku Mutu 32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Skema Kerangka Berpikir 3
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian 13
Gambar 3. 2 Diagram Alir 15
Gambar 3. 3 Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot.....17
Gambar 3. 4 Detail Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot.....17
Gambar 4.1 Komponen pompa air 23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengujian Kandungan mikronutrien pada Air Akuaponik 40
Lampiran 1. 1 Pengamatan Sistem Akuaponik 40
Lampiran 1. 2 Sampel Air Pengujian mikronutrien 40
Lampiran 1.3 Persiapan Sampel Pengujian 41
Lampiran 1. 4 Penyaringan Sampel Air 41
Lampiran 1. 5 Destruksi Sampel Pengujian 42
Lampiran 1. 6 Hasil Pengujian AAS 43
Lampiran 1. 6 Permen LH no.5 Tahun 2014 51
Lampiran 2 Kadar Total Mikronutrien pada Air dari Reaktor Akuaponik ..52
Lampiran 2. 1 Rumus perhitungan kadar total 52
Lampiran 2. 2 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Mn.....53
Lampiran 2. 3 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Cu.....53
Lampiran 2. 4 Hasil Perhitungan Periode Awal & Akhir Zn.....53
Lampiran 2. 5 Grafik Hasil Konsentrasi Mangan 54
Lampiran 2. 6 Grafik Hasil Konsentrasi Cu.....54
Lampiran 2. 5 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Cr 54

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jumlah penduduk Indonesia, sebanyak 175.000 ton sampah menumpuk di Indonesia setiap harinya. Sampah yang diangkut dan dibuang ke TPA sebanyak 69%, ditimbun (TPA) sebanyak 10%, dibakar sebanyak 5%, dijadikan kompos sebanyak 7%, dan tidak dikelola dengan baik sebanyak 7% (Iresha dkk., 2023). Timbulnya berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan kini tidak lepas karena pengelolaan persampahan yang tidak ditangani dengan baik. Sampah organik menjadi salah satu sumber utama sumber pencemar lingkungan terutama terhadap air, serta dapat menjadi sumber penyakit dan masalah kesehatan (Wibowo dan Djajawinata, 2012). Menurut Iresha dkk.. (2023), Pengelolaan sampah organik masih menjadi masalah besar yang belum teratasi dan memerlukan solusi yang tepat. Pengomposan merupakan cara yang umum dilakukan, namun pengomposan biasa memerlukan waktu yang lama untuk mengurangi massa sampah organik. Pemanfaatan agen biokonversi merupakan salah satu strategi yang dapat digunakan dalam pengolahan sampah organik.

Dengan tingginya pertumbuhan penduduk, dimana hal ini berbanding terbalik antara kebutuhan pangan dengan ketersediaan lahan. Salah satu masalah utama yang timbul dari peningkatan kebutuhan pangan adalah keterbatasan ketersediaan lahan pertanian. Lahan pertanian, yang merupakan sumber utama produksi pangan, semakin berkurang akibat terkonversi menjadi pemenuhan kebutuhan lahan permukiman, infrastruktur, dan industri (Lambin & Meyfroidt, 2011). Teknologi akuaponik dapat menjadi alternatif teknologi budidaya tanaman di lahan terbatas. Akuaponik sendiri merupakan kombinasi sistem akuakultur dan budidaya tanaman hidroponik tidak mengharuskan adanya penggunaan tanah sebagai media tanam-tanaman. Sistem hidroponik hanya digunakan untuk tanaman sayuran atau bunga-bungaan yang ditanam pada media non-tanah dan

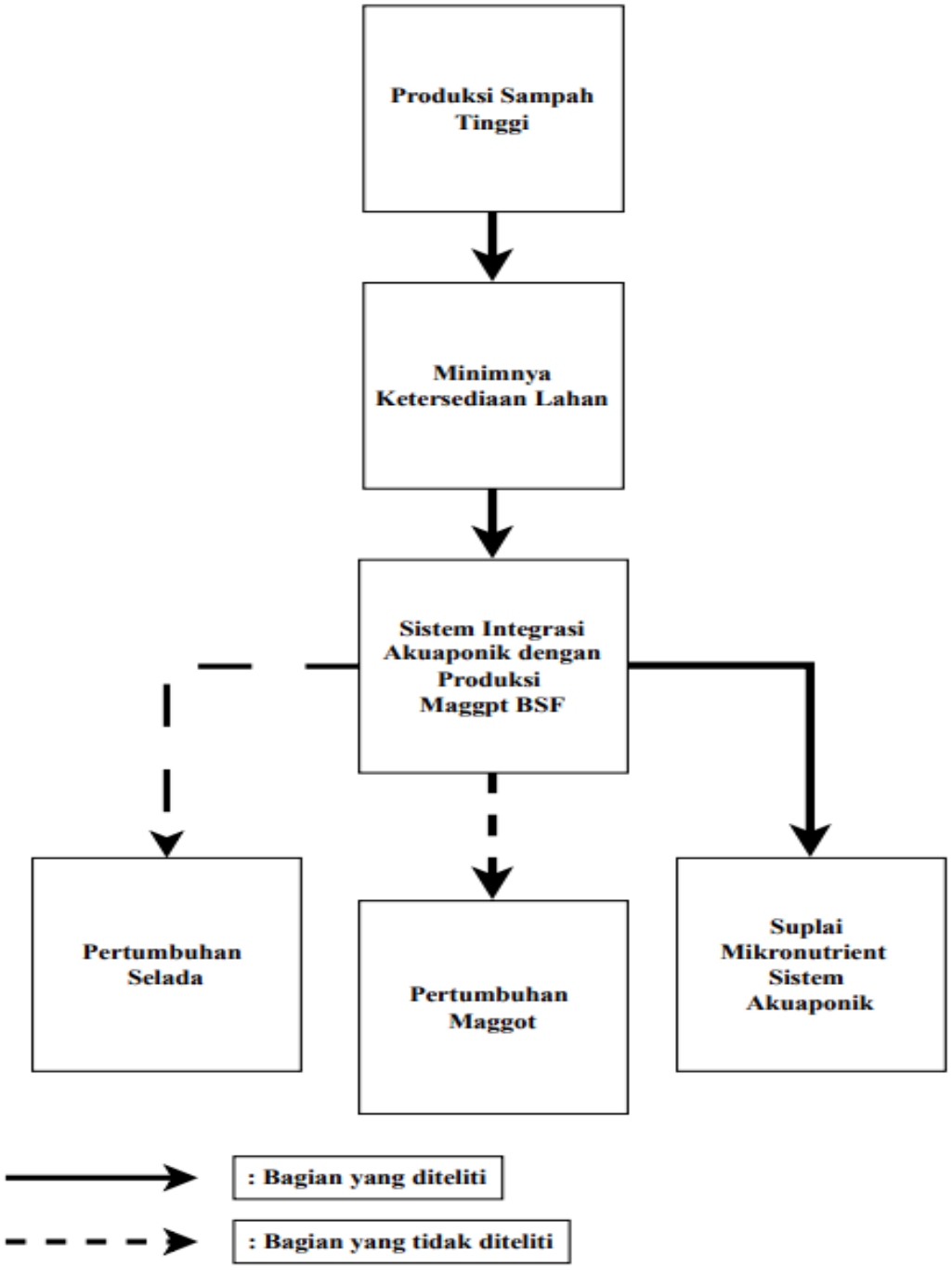
untuk pemenuhan nutrisi disuplai melalui pupuk cair atau zat-zat kimia. Sedangkan sistem akuaponik adalah perpaduan usaha antara budidaya ikan dan bertanam sayuran. Namun dengan perolehan nutrisi sayuran lebih ditekankan pada pemanfaatan sumber air dari budidaya ikan, karena pada air sisa kotoran dan pakan ikan dapat menjadi bahan nutrisi bagi sayuran. Oleh sebab itu dengan sistem ini dapat menghemat tempat, air bahkan biaya dan tentunya lebih sehat dengan menghasilkan produk organik (Saprianto dan Susiana, 2024).

Dengan adanya permasalahan timbulan sampah organik, penyusutan ketersediaan lahan, meningkatnya kebutuhan pangan, pada percobaan kali ini peneliti menggabungkan sistem akuaponik yang berintegrasi dengan biokonversi sebagai agen degradasi sampah organik. Pada percobaan kali ini peneliti menggunakan .larva lalat BSF *(Black Soldier Fly)* dimana larva lalat BSF merupakan serangga yang dapat digunakan sebagai biokonversi. Metode yang digunakan adalah dengan pemanfaatan kasgot hasil metabolisme maggot BSF sebagai sumber nutrisi bagi sistem akuaponik.

Kualitas air menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan untuk memastikan kesehatan dan produktivitas pada sistem akuaponik. Kualitas air yang baik akan mendukung pertumbuhan tanaman dan kesehatan ikan. Salah satu aspek penting dari kualitas air tersebut adalah kandungan mikronutrien seperti Mangan (Mn), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn), yang penting untuk pertumbuhan tanaman dalam sistem akuaponik. Mikronutrien merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah kecil untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Dari hasil uji laboratorium pupuk organik cair dari Hasil Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bantuan Larva *Black Soldier Fly* (BSF), didapatkan bahwa terkandung nilai unsur hara makro, hara mikro (Ayu dkk., 2022).

Namun, penelitian yang memfokuskan pada mikronutrien pada air dalam integrasi akuaponik dengan menggunakan reaktor maggot masih terbatas. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tersebut dengan menganalisis parameter mikronutrien (Mn, Cu, dan Zn) dalam air pada sistem akuaponik dengan menggunakan reaktor maggot. Dengan harapan

hasil dari penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait kualitas air pada akuaponik dengan menggunakan reaktor maggot.



Gambar 1. 1 Skema kerangka berpikir penelitian

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diteliti adalah:

1. Bagaimana pengaruh jenis sampah terhadap kandungan konsentrasi Mn, Cu, dan Zn pada air akuaponik produksi maggot BSF ?
2. Apakah terdapat perbedaan konsentrasi Mn, Cu, dan Zn Zn pada air pada akuaponik produksi maggot BSF dengan akuaponik konvensional dan standar optimal akuaponik ?
3. Apakah kandungan konsentrasi Mn, Cu, dan Zn Zn pada air pada akuaponik produksi maggot BSF memenuhi nilai baku mutu lingkungan?

w1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh jenis sampah terhadap kandungan konsentrasi Mn, Cu, dan Zn pada air akuaponik produksi maggot BSF.
2. Membandingkan kandungan konsentrasi Mn, Cu, dan Zn pada air pada akuaponik produksi maggot BSF dengan akuaponik konvensional dan standar optimal akuaponik.
3. Membandingkan kandungan konsentrasi Mn, Cu, dan Zn pada air akuaponik produksi maggot BSF dengan nilai baku mutu lingkungan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Masyarakat

   Pengurangan Dampak Lingkungan, masyarakat dapat mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, menjadikan sistem akuaponik dengan reaktor maggot sebagai alternatif yang lebih baik dari segi lingkungan.
2. Bagi Pemerintah

   Pendorong Inovasi Pertanian, Pemerintah dapat mendukung implementasi teknologi reaktor maggot dalam akuaponik sebagai bagian dari inisiatif

pertanian berkelanjutan dan dapat memberikan insentif bagi petani yang mengadopsi praktik-praktik inovatif ini.

3. Bagi Peneliti

   Pemahaman Lebih Mendalam tentang Sistem Akuaponik dan Reaktor Maggot, penelitian ini dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang kompleksitas sistem akuaponik yang melibatkan reaktor maggot.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah.

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP
2. Lokasi penelitian berada di Kebun Benar Benih
3. Parameter yang diuji yaitu parameter mikronutrien (Mn, Cu, dan Zn)
4. Pengamatan kualitas air pada sistem akuaponik
5. Penelitian dilakukan selama 1 bulan dalam rumah kaca

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akuaponik

Akuaponik berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan produksi pangan berkelanjutan dan menyusutnya cadangan air serta nutrien. Dimulai dari operasi skala kecil, akuaponik berada di ambang komersialisasi dan menarik investasi. Berkembang dari budidaya air tawar terpadu, berbagai metode dan desain sistem telah dikembangkan yang berfokus pada produksi ikan atau tanaman. Minat masyarakat terhadap akuaponik telah meningkat secara dramatis dalam beberapa tahun terakhir, sejalan dengan tren menuju rantai nilai yang lebih terintegrasi, produktivitas yang lebih besar, dan dampak lingkungan yang tidak terlalu berbahaya dibandingkan dengan sistem produksi lainnya (Palm dkk., 2018).

Sistem akuaponik berdampak baik terhadap lingkungan secara signifikan. Sistem ini jauh mengurangi penggunaan air jika dibandingkan dengan pertanian konvensional, hal ini karena air yang digunakan bersirkulasi secara terus menerus dalam sistem yang tertutup (Resh, 2022). Selanjutnya, akuaponik mengurangi kebutuhan akan pestisida dan herbisida, dimana sistem ini umumnya dioperasikan dalam lingkungan yang lebih terkendali, sehingga mengurangi dampak negatif pada ekosistem sekitar (Rakocy, 2012).

2.2 Maggot BSF (Black Soldier Fly)

Maggot *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) juga dapat digunakan secara langsung untuk mengatasi masalah terkait sampah organik, yang diproduksi dalam jumlah besar dan dapat menimbulkan beban lingkungan. Reproduksi yang cepat memerlukan konsumsi makan yang banyak (Newton dkk., 1977). Proses dekomposisi maggot lebih cepat dibandingkan dengan metode pengomposan tradisional, dampaknya mengurangi emisi gas metana yang berkontribusi terhadap

perubahan iklim (Diener dkk., 2011).Disamping itu, hasil dekomposisi maggot BSF, yang dikenal sebagai frass, dapat digunakan sebagai pupuk organik yang kaya akan nutrisi untuk tanah (Newton dkk., 2005).

2.3 Leachete BSF (Lindi BSF)

BSF berhasil diterapkan pada berbagai jenis sampah organik, termasuk sisa makanan, kotoran sapi, sampah dapur, sisa pertanian, dan lain-lain. Terlepas dari keberhasilan tersebut lindi dari pengolahan sampah dengan BSF memiliki karakteristik kandungan organik tinggi yang dapat terbiodegradasi, sehingga mewakili sumber yang belum dijelajahi untuk penerapan BSF (Cossu & Stegmann, 2018).

Lindi BSF sebagai pupuk organik dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi tambahan tanaman dimana kandungan unsur hara baik makronutrien dan mikronutrien bagi tanaman yang terkandung didalamnya (Ayu dkk., 2022). Penggunaan lindi BSF sebagai pupuk cair dapat mengurangi ketergantungan pupuk kimia sintetis yang dapat menyebabkan pencemaran air (Salam dkk., 2021).

2.4 Mikronutrien

Mikronutrien memiliki fungsi spesifik yang tidak dapat digantikan oleh nutrien lainnya. Sebagai contoh, zat Seng (Zn) diperlukan untuk sintesis protein dan mengatur pertumbuhan hormon (Alloway, 2008). Mangan (Mn) dan tembaga (Cu) berfungsi dalam proses metabolisme, oksidasi dan reduksi, serta berperan sebagai kofaktor dalam enzim (Millaleo dkk., 2010).

Sistem akuaponik konvensional memiliki pasokan mikronutrien dari penambahan garam mineral. Garam mineral yang digunakan sebagai unsur hara mikro yaitu $MnSO_4$, $CuSO_4$, dan $ZnSO_4$. Konsentrasi yang optimum dari mikronutrien memiliki peran dalam berbagai proses metabolisme tumbuhan. Berikut data konsentrasi optimum mikronutrien pada sistem akuaponik.

Tabel 2.1 Konsentrasi Parameter Optimum Mikronutrien Akuaponik dan Konsentrasi Akuaponik Konvensional

Parameter Mikronutrien	Konsentrasi Optimum (mg/L)	Rata-Rata Konsentrasi Akuaponik Konvensional (mg/L)
Mn	1,195	0,5
Cu	0,0783	0,09
Zn	0,168	0,14

Sumber: Delaide dkk., 2016

Sumber kehidupan tanaman yaitu air, udara dan unsur hara. Tembaga (Cu), seng (Zn),dan mangan (Mn) merupakan beberapa contoh unsur hara mikro yang esensial bagi tanaman karena walaupun diperlukan dalam jumlah relatif sedikit tetapi sangat besar peranannya dalam metabolisme di dalam tanaman (Cottenie, 1981). Penambahan unsur hara dengan cara pemupukan yang tidak diikuti dengan peningkatan produksi karena hanya memenuhi beberapa unsur hara makro saja, sementara unsur mikro yang lain tidak terpenuhi. Padahal meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit, unsur mikro ini tidak kalah pentingnya dengan unsur hara makro sebagai komponen struktural sel yang terlibat langsung dalam metabolisme sel dan aktivitas enzim (Bittsanszky dkk., 2016).

2.4.1 Mangan (Mn)

Peran mangan dalam sel tumbuhan sangat beragam. Mangan dapat berfungsi dalam berbagai bentuk kompleks atau sebagai bagian dari protein. Hal ini memiliki peran dalam mempengaruhi konformasi protein yang dihasilkan. Selain itu, fungsi redoks mangan juga terlibat dalam proses pemecahan air pada sisi oksidan fotosistem. (Broadley dkk., 2007).

Defisit konsentrasi mangan pada tanaman mengakibatkan gangguan fotosintesis, penurunan kualitas, dan kuantitas hasil panen (Marschner, 2012). Tanda tanaman mengalami defisit mangan meliputi perubahan warna yang ditandai dengan menguningnya daun muda dan pertumbuhan tanaman yang terhambat (Alejandro dkk., 2007). Disisi lain, surplus mangan dapat menyebabkan

toksisitas, yang dapat mengganggu pertumbuhan akar dan menyebabkan kerusakan pada jaringan tanaman (Alloway, 2008).

2.4.2 Seng (Zn)

Seng berperan dalam banyak proses enzimatik dan fisiologis pada tanaman. Seng berfungsi sebagai kofaktor untuk lebih dari 300 enzim, yang terlibat dalam sintesis protein, metabolisme hormon, dan pertahanan tanaman terhadap stres oksidatif (Alloway, 2008). Selain itu, seng dibutuhkan untuk berbagai enzim yang mendukung metabolisme nitrogen, transfer energi, dan pembentukan protein (Hafeez dkk., 2013).

Diperlukan pemantauan yang baik agar keseimbangan optimal yang mendukung pertumbuhan tanaman dan kesehatan ikan. Pengukuran rutin konsentrasi seng dalam air diperlukan untuk mencegah defisit atau surplus seng. penambahan suplemen seng yang tepat dan pengelolaan kualitas air yang baik adalah beberapa strategi untuk memastikan bahwa konsentrasi seng tetap berada pada tingkat yang optimal bagi tanaman dan ikan dalam sistem akuaponik (Rakocy dkk., 2006).

2.4.3 Tembaga (Cu)

Tembaga memiliki peran penting penting bagi tanaman karena merupakan bagian dari banyak protein dan enzim yang mendukung metabolismenya. Protein tembaga berperan dalam proses-proses seperti oksidasi, menghilangkan radikal superoksida, dan mengatur perjalanan elektron (Ayala dan Sandmann 1988). Disamping itu, konsentrasi tembaga diperlukan dalam jumlah yang sangat kecil untuk mendukung fungsi enzim dan menjaga kesehatan ikan, Tembaga membantu dalam pembentukan hemoglobin, yang berperan penting dalam transportasi oksigen di dalam tubuh ikan (Handy dkk., 2003). Kekurangan tembaga mempengaruhi tanaman dalam menghasilkan energi karena mempengaruhi produksi pembawa elektron yang mengandung tembaga, seperti plastosianin dan

sitokrom oksidase. Akibatnya, proses fotosintesis dan respirasi tanaman menurun (Walker dan Webb, 1981).

2.5 Baku Mutu

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah mengatur berapa banyak bahan pencemar yang boleh ada dalam air limbah yang dibuang ke lingkungan. Tujuan dari peraturan ini adalah untuk menjaga kualitas air, mengurangi pencemaran, dan menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Ini menetapkan standar standar yang harus dipenuhi oleh berbagai jenis bisnis atau aktivitas lainnya yang menghasilkan air limbah. Peraturan ini sangat penting untuk menjaga lingkungan hidup, terutama dalam hal mengelola limbah yang dihasilkan oleh berbagai industri. Untuk mengukur dan menilai kualitas air limbah, studi ini akan menggunakan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, khususnya dalam hal pengelolaan limbah akuaponik.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini telah dilakukan oleh berbagai peneliti ditampilkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Nama peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian Secara Umum
1	Bittsanszky dkk., (2016)	*Nutrient supply of plants in aquaponic systems*	Akuaponik sebagai aspek penting dalam produksi makanan yang menjanjikan serta dapat menjadi alternatif teknologi yang kompleks. Sistem yang rumit ini membutuhkan perawatan khusus dan pemantauan konstan terhadap komposisi kimia air yang mengalir. Dibandingkan dengan

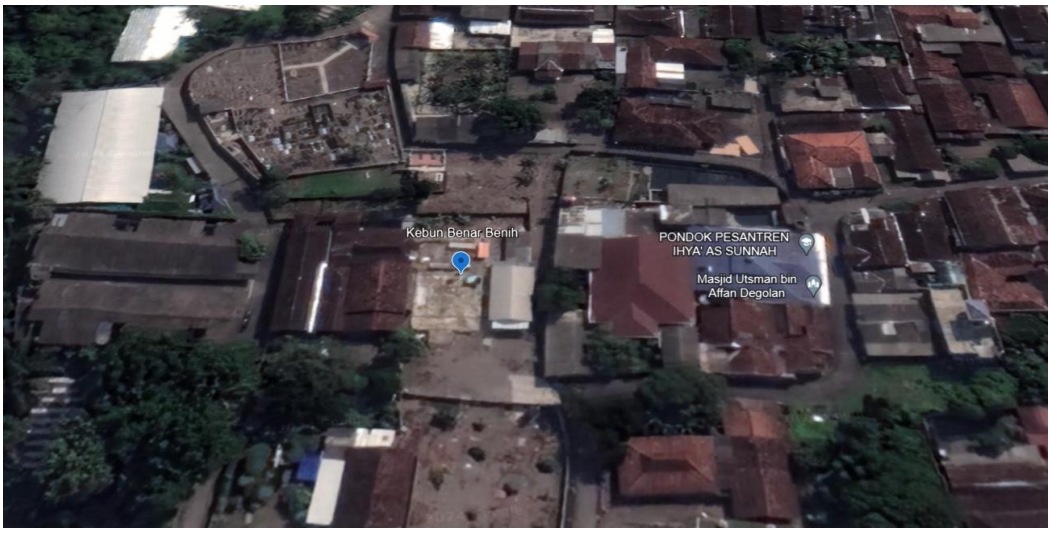
			Hidroponik teknologi ini menghasilkan produksi yang baik dengan kualitas yang baik dimana unsur nutrien yang dibutuhkan tanaman tetap terpenuhi.
2	Deffi Ayu Puspito Sari, (2017)	Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Hasil Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bantuan Larva Black Soldier Fly (BSF)	Dari hasil uji laboratorium pupuk organik cair dari Hasil Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bantuan Larva Black Soldier Fly (BSF), didapatkan bahwa terkandung nilai unsur hara makro, hara mikro dan bakteri E.coli dari setiap sampel yang diuji. Meskipun pada penelitian ini nutrien yang dibutuhkan tanaman terkandung didalamnya, nilai yang didapat belum memenuhi standar.
3	Grossule. V & Lavagnolo. M. C (2020)	The treatment of leachate using Black Soldier Fly (BSF) larvae: Adaptability and resource recovery testing	Larva yang dibiakkan menggunakan dedak gandum menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan larva yang tumbuh dalam cairan lindi karena dedak gandum memiliki sumber pakan yang lebih melimpah. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tidak adanya penghambatan pertumbuhan larva di kedua kondisi substrat, yang menunjukkan bahwa tidak ada efek racun dalam air lindi pada perkembangan larva BSF. Sebaliknya, konsentrasi lindi yang lebih tinggi memberikan kondisi pakan yang lebih baik, terutama saat lindi menjadi satu-satunya sumber pakan yang tersedia.

Dalam penelitian terdahulu yang telah dipaparkan, penelitian hanya mengamati keberadaan kandungan mikronutrien bagi tanaman pada Lindi hasil pengolahan dengan lalat BSF . Oleh karena itu adanya penelitian dengan alat integrasi akuaponik dengan reaktor maggot BSF. Penelitian ini akan dilakukan selama 30 hari dengan waktu pengamatan dan sampling pada air pada periode awal reaktor bekerja dan pada periode akhir atau masa panen . Parameter yang akan diujikan yaitu kandungan mikronutrien pada air yaitu (Mn, Cu, dan Zn).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Lokasi penelitian dilakukan di Kebun Bener Benih Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta selama 1 (satu) bulan untuk mengamati prosesnya dan mengumpulkan data sehingga hasil yang diperoleh dapat maksimal serta menjadi sumber penelitian.



Gambar 3. 1 Tempat Penelitian (Kebun Benar Benih)

Sumber : Google Earth, 2024

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan pada penelitian kali ini sebagai berikut;

3.2.1 Alat

1. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala dilengkapi dengan burner

sesuai dengan gas oksidan yang digunakan ;

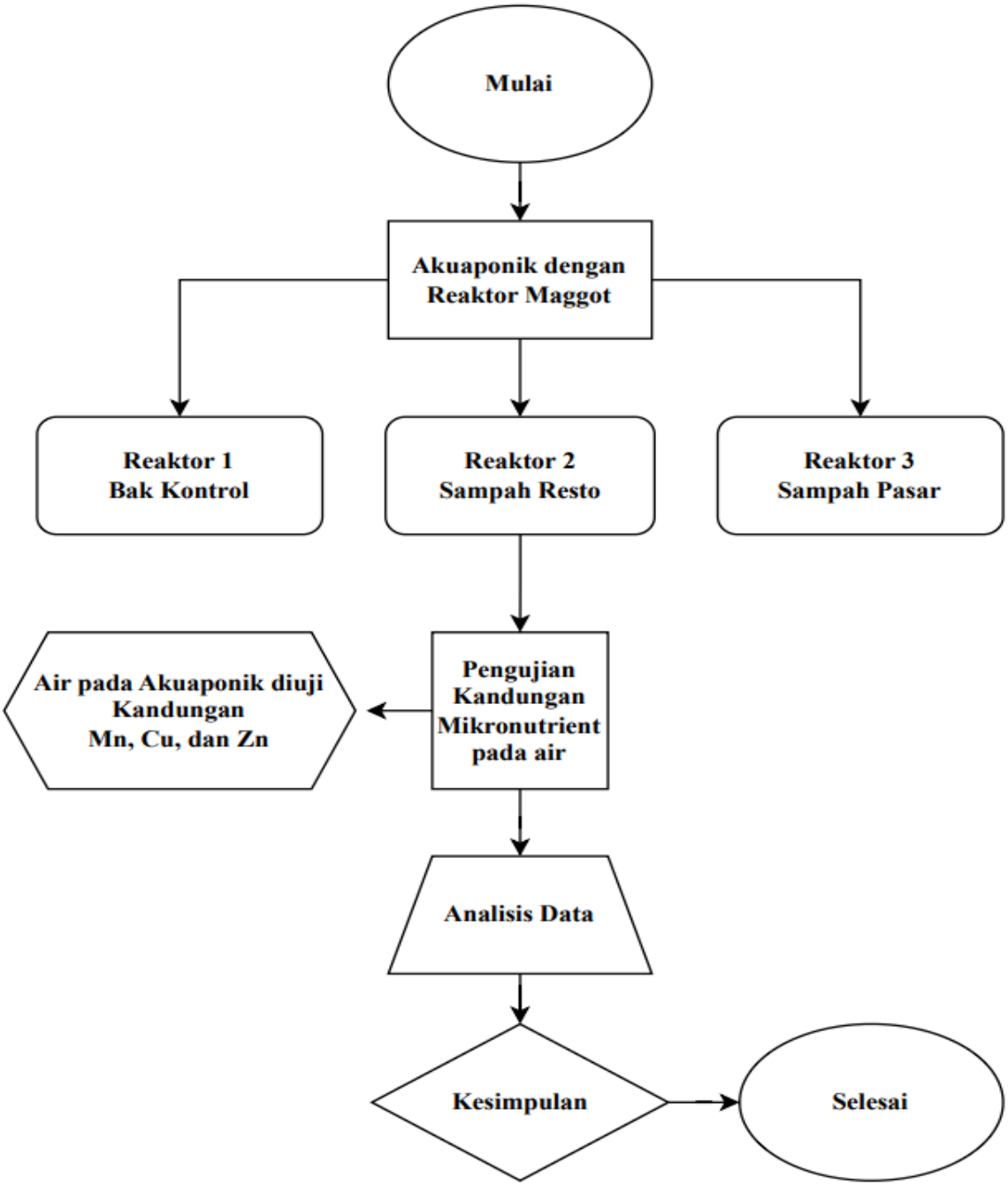
2. lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp, HCL) Fe, Pb, dan Cd;
3. beaker gelas 250 mL dan 1.000 mL;
4. pipet volumetrik 10 mL;
5. labu ukur 50 mL, 100 mL, dan 1.000 mL;
6. Erlenmeyer 250 mL;
7. corong gelas;
8. kaca arloji;
9. pemanas listrik;
10. labu semprot. Kut

3.2.2 Bahan

1. Air bebas mineral. ;
2. Asam Nitrat (HNO_3) pekat;
3. Hidrogen peroksida (H_2O_2) 30%;
4. Larutan induk Mangan (Mn) 1000 mg/L;
5. Larutan induk Tembaga (Cu) 1000 mg/L;
6. Larutan induk seng (Zn) 1000 mg/L;
7. gas asetilen (C2H2) kemurnian tinggi (High Purity, HP) dengan tekanan minimum 689 kPa (100 psi);
8. gas nitrous oxide (N2O);
9. Larutan pengencer HNO3: larutkan 1,5 mL HNO3 pekat dengan air bebas mineral hingga 1.000 mL, kemudian homogenkan;
10. larutan pencuci HNO3 5 % (v/v): tambahkan 50 mL HNO3 pekat ke dalam gelas piala 1.000 mL yang berisi 800 mL air bebas mineral, kemudian tambahkan air bebas mineral hingga 1.000 mL dan homogenkan;
11. media penyaring dengan ukuran pori 0,45 µm; dan udara tekan.

3.3 Prosedur Analisis Data

Prosedur Analisis data ditampilkan pada gambar 3.2 Diagram alir



Gambar 3.2. Diagram Alir

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. Pada H-0 berjalannya reaktor larva yang digunakan yaitu maggot BSF 5-DOL. Adapun 5-DOL yaitu singkatan dari larva umur lima hari (Five-Day-Old-Larvae).Sebelum melakukan pengambilan sampel terlebih dahulu menyiapkan media yang dibutuhkan untuk mengambil sampel air dari bak akuapunik. Langkah awal yang dilakukan yaitu menyiapkan botol jerigen 1 liter untuk setiap bak. Sampling akan dilakukan pada ketiga reaktor dengan perlakuan yang berbeda-beda, diantaranya :

Tabel 3. 1 Perlakuan Reaktor Akuaponik

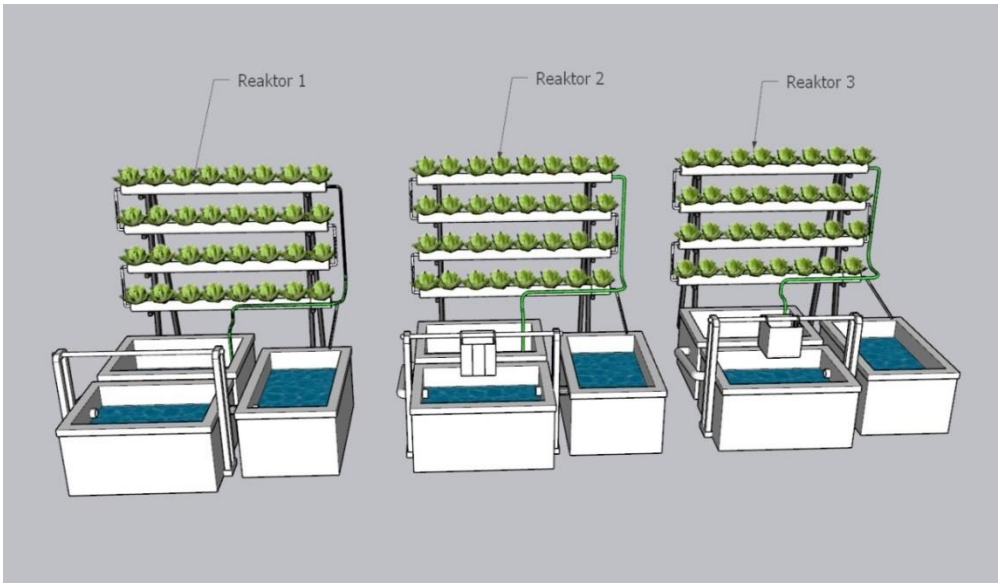
Instalasi	Perlakuan
Reaktor 1	Tidak diberikan perlakuan apapun
Reaktor 2	Diberikan sampah organik yang berasal dari restoran setiap 3 hari sekali, dengan berat 4 kilogram sebanyak 7 kali
Reaktor 3	Diberikan sampah organik yang berasal dari pasar setiap 3 hari sekali, dengan berat 4 kilogram sebanyak 7 kali

Pada penelitian ini menggunakan alat integrasi akuaponik dengan reaktor maggot BSF yang terdiri dari 3 bak dan 1 tas penampung maggot serta sampah organik berupa sampah restoran dan sampah pasar berupa sayuran dan buah. Air diambil dari air sumur pada saat awal mulai running akuaponik lalu dialirkan keseluruh bak dan pipa selama 24 jam menggunakan pompa air.

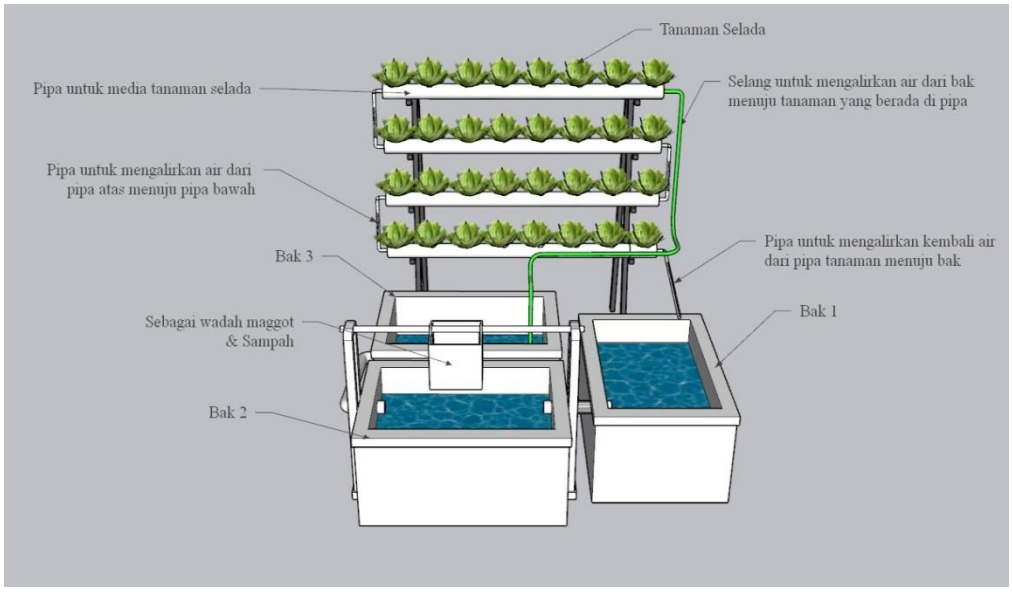
3.4.1 Persiapan Akuaponik

Dalam penelitian menggunakan alat intergrasi akuaponik dengan reaktor maggot BSF yang terdiri dari 3 bak air, 1 tas untuk menampung maggot dan sampah organik berupa sampah restoran dan sampah pasar, serta 4 buah pipa untuk tanaman. Air yang berada dalam bak utama diambil dari air sumur. 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. Dan untuk alat integrasi akuaponik



Gambar 3. 3 Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot



Gambar 3. 4 Detail Alat Integrasi Akuaponik dengan Reaktor Maggot

3.4.2 Pengamatan Sampel Air

Pengamatan sampel dilakukan pada periode awal atau minggu pertama dan pada periode akhir atau minggu terakhir dari keseluruhan waktu reaktor berjalan yaitu selama 1 bulan. Pengamatan dilakukan dengan mengukur konsentrasi air dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang ada pada Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP.

3.4.3 Pengambilan Sampel Air

Pengambilan sampel air dilakukan pada tiga kolam yang berbeda dari alat integrasi akuaponik. Pengambilan sampel menggunakan ember dan diambil sebanyak 1 liter per sampel. Setelah diambil lalu sampel air dimasukkan ke dalam jerigen dan diberi label. Kemudian dilakukan pengawetan sampel dengan menambahkan HNO_3 pekat sebanyak 5 mL

3.4.4 Pengujian Sampel Mikronutrien

Pengujian sampel air dari ketiga kolam yang berbeda dari alat integrasi akuaponik dilakukan berdasarkan masing-masing unsur mikronutrien yaitu mangan (Mn), tembaga (Cu), dan seng (Zn) dan pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom (SSA) dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Parameter Mn menggunakan SNI 6989.5:2009 dengan panjang gelombang 279,5 nm. Parameter Cu menggunakan SNI 6989.6:2009 dengan panjang gelombang 324,8 nm. Serta pada parameter Zn menggunakan SNI 6989.7:2009 dengan panjang gelombang 213,9 nm.

3.5 Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data secara kuantitatif berupa kandungan mikronutrien pada air akuaponik. Analisis dilakukan dengan perbandingkan hasil pengambilan sampel pada awal running akuaponik dengan reaktor maggot dan pada saat di akhir.

3.5.1 Analisis Kandungan mangan (Mn)

Kandungan mangan (Mn) dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan mengacu pada SNI SNI 6989.5:2009. Lalu data diolah dalam bentuk tabel perbandingan agar memudahkan dalam analisis kandungan Mn yang terkandung. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi Mn yaitu:

$$Konsentrasi\ Mangan\ Total\ (mg/L) = C\ \times fp$$

Keterangan

C : Kadar yang didapat dari hasil pengukuran

fp : faktor pengenceran

3.5.2 Analisis Kandungan Tembaga (Cu)

Kandungan Tembaga (Cu) dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan mengacu pada SNI 6989.6:2009. Lalu data diolah dalam bentuk tabel perbandingan agar memudahkan dalam analisis kandungan Cu yang terkandung. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi Cu yaitu:

$$Konsentrasi\ Tembaga\ Total\ (mg/L) = C\ \times fp$$

Keterangan

C : Kadar yang didapat dari hasil pengukuran

fp : faktor pengenceran

3.5.3 Analisis Kandungan Seng (Zn)

Kandungan Seng (Zn) dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan mengacu pada SNI 6989.7:2009. Lalu data diolah dalam bentuk tabel perbandingan agar memudahkan dalam analisis kandungan Zn yang terkandung. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi Zn yaitu:

$$Konsentrasi\ Seng\ Total\ (mg/L) = C\ \times fp$$

Keterangan

C : Kadar yang didapat dari hasil pengukuran

fp : faktor pengenceran

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Konsentrasi

Uji konsentrasi awal dilakukan untuk menentukan jumlah zat pada sampel awal . Pengujian dilakukan untuk menentukan konsentrasi mangan, tembaga, seng.

4.1.1 Hasil Pengujian Mangan (Mn)

Hasil uji Konsentrasi Mn disajikan pada Tabel 4. 1

Tabel 4.1 Hasil uji Konsentrasi Mn

Reaktor	Satuan	Periode Awal	Periode Akhir
Bak Kontrol	mg/L	0,45	0,50
Sampah Resto	mg/L	0,43	0,55
Sampah Pasar	mg/L	0,44	0,75

Berdasarkan Gambar 4.1, pada reaktor bak kontrol didapatkan konsentrasi awal sebesar 0,45 mg/L, pada reaktor 2 atau sampah resto didapatkan konsentrasi awal sebesar 0,43 mg/L, dan pada reaktor 3 atau sampah pasar didapatkan konsentrasi awal sebesar 0,44 mg/L. Selanjutnya pada periode akhir bak kontrol didapatkan konsentrasi akhir sebesar 0,50 mg/L dimana mengalami kenaikan konsentrasi paling rendah sebesar 0,05 mg/L. Pada periode akhir reaktor sampah resto didapatkan konsentrasi akhir sebesar 0,55 mg/L dimana mengalami kenaikan sebesar 0,12 mg/L. Pada periode akhir reaktor yang berisi sampah pasar didapatkan konsentrasi akhir sebesar 0,75 mg/L memiliki kenaikan kadar mangan yang paling tinggi yaitu sebesar 0,31 mg/L. Hal ini menunjukkan karakteristik sampah mempunyai kontribusi terhadap peningkatan konsentrasi mangan dalam

sistem Akuaponik khususnya pada sampah organik yang didominasi oleh organik. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan kenaikan kadar Mn seperti penambahan dari atmosfer serta dekomposisi bahan organik (Stokes dkk., 1988).

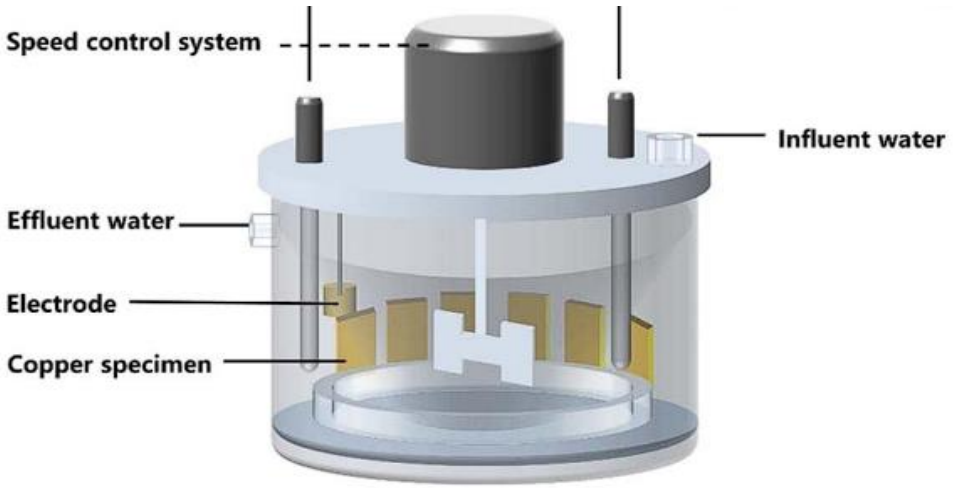
4.1.2 Hasil Pengujian Tembaga (Cu)

Hasil uji Konsentrasi tembaga disajikan pada Tabel 4. 2 Nilai Konsentrasi Awal Tembaga

Tabel 4. 2 Hasil uji Konsentrasi Awal Tembaga

Reaktor	Satuan	Periode Awal	Periode Akhir
Bak Kontrol	mg/L	<LOD	0,19
Sampah Resto	mg/L	<LOD	<LOD
Sampah Pasar	mg/L	<LOD	<LOD

Berdasarkan tabel 4.2, hasil uji konsentrasi menunjukkan bahwa mayoritas reaktor sampel menunjukkan "<LOD" (Batas Deteksi), yang menunjukkan bahwa kadar Cu berada di bawah batas terdeteksi tembaga (Cu) yang terdeteksi berada di bawah Limit of Detection (LOD). Pada uji konsentrasi periode akhir, bak kontrol terdeteksi kandungan tembaga dengan nilai 0,19 mg/L. Batas nilai LOD Cu adalah 0,098 mg/L. Adapun faktor yang menyebabkan terdeteksinya kandungan Cu pada reaktor bak kontrol yaitu adanya hubungan arus pendek pada pompa reaktor bak kontrol dan adanya partikel yang terkikis dari komponen pada pompa yang mengandung material tembaga (Xu dkk., 2023). Gambar 4.2 menunjukkan berbagai part atau komponen dari pompa, termasuk komponen yang mengandung tembaga, yang dapat berkontribusi terhadap penambahan tembaga dalam sistem. Tembaga dipilih karena memiliki konduktivitas listrik yang baik, sehingga digunakan dalam pembuatan gulungan motor listrik pada pompa air.



Gambar 4.1 Komponen pompa air

Sumber: Xu dkk.,2023

Hasil ini menunjukkan bahwa kandungan Cu dalam air akuaponik tidak mencapai tingkat yang terdeteksi oleh peralatan uji yang digunakan. LOD merupakan total atau konsentrasi analit terkecil dari sampel uji yang dapat dibaca oleh instrument (Currie, 1995). Kekurangan tembaga dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem dalam sistem akuaponik. Tanaman yang mengalami defisit tembaga tidak dapat berfungsi secara optimal dalam menyerap nutrisi lain, hali ini dapat menyebabkan akumulasi nutrisi lain sehingga dapat menjadi faktor ketidakseimbangan ekosistem (Górecki & Daniel, 2013). Disamping itu, tanaman dengan defisit tembaga lebih rentan terhadap serangan hama serta penyakit, yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas dan kuantitas produksi (Sambo dkk., 2019)

4.1.3 Hasil Pengujian Seng (Zn)

Hasil uji konsentrasi Zn disajikan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil uji Konsentrasi Zn

Reaktor	Satuan	Periode Awal	Periode Akhir
Bak Kontrol	mg/L	2,35	1,65
Sampah Resto	mg/L	2,89	1,28
Sampah Pasar	mg/L	3,07	0,61

Berdasarkan Tabel 4.3, pada bak kontrol didapatkan konsentrasi awal 2,35 mg/L, pada reaktor sampah resto didapatkan konsentrasi awal 2,89 mg/L, dan pada reaktor sampah pasar didapatkan konsentrasi awal 3,07 mg/L. Selanjutnya pada periode akhir bak kontrol didapatkan konsentrasi akhir sebesar 1,65 mg/L dimana mengalami penurunan kadar paling rendah sebesar 0,7 mg/L. Pada reaktor sampah resto didapatkan konsentrasi akhir sebesar 1,28 mg/L dimana mengalami penurunan sebesar 1,61 mg/L. Serta pada reaktor yang berisi sampah pasar didapatkan konsentrasi akhir sebesar 0,61 mg/L dimana mengalami penurunan kadar Zn yang paling tinggi yaitu sebesar 2,46 mg/L. Hal ini menunjukan karakteristik sampah mempunyai kontribusi terhadap penyerapan konsentrasi seng dalam sistem akuaponik. Faktor yang menyebabkan tingginya penyerapan seng yaitu ketersediaan nutrisi lain dalam air. Kandungan makro dan mikronutrien mempengaruhi penyerapan seng. Menurut Brown dkk. (1993), tanaman dengan asupan nutrisi esensial yang kurang cenderung memiliki penyerapan seng yang lebih rendah karena fungsi metabolisme yang terganggu. Sebaliknya, kandungan nutrisi esensial yang lebih dapat mendukung tanaman dalam meningkatkan kemampuan penyerapan seng. Faktor lain yang menyebabkan perbedaan penyerapan seng adalah kehadiran ion logam lain, dimana hal ini dapat mempengaruhi penyerapan seng oleh tanaman air melalui kompetisi ionik. Sebagai contoh keberadaan ion seperti kadmium (Cd) dan timbal (Pb) dapat

menghambat penyerapan seng karena mereka bersaing untuk tempat penyerapan yang sama pada akar tanaman (Huang dkk., 1997).

Pada kelompok penelitian kali ini juga mengidentifikasi kandungan makronutrien dan logam berat. Hasil pengujian data didapatkan bahwa kandungan makronutrien pada reaktor sampah pasar memiliki kandungan yang paling baik. Sementara kandungan logam berat pada reaktor sampah resto memiliki kandungan tertinggi. Dapat disimpulkan bahwa kedua hal tersebut mendukung mengapa terdapat perbedaan penyerapan kandungan seng pada reaktor.

4.2 Perbandingan Hasil Uji dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimal Akuaponik

Pada sub bab ini peneliti membahas perbandingan hasil uji konsentrasi dengan akuaponik konvensional dan nilai standar optimal akuaponik, dimana pada akuaponik konvensional pasokan nutrisi berasal dari air hujan dan penambahan garam mineral dengan tingkat kemurnian tinggi (Delaide dkk., 2016). Pengujian dilakukan pada awal dan akhir periode untuk setiap reaktor. Perbandingan hasil uji dengan standar optimum akuaponik bertujuan untuk mengevaluasi hasil uji serta memberikan gambaran mengenai efektivitas dan efisiensi dari sistem yang diuji dalam mencapai standar yang telah ditetapkan.

4.2.1 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Mangan (Mn) dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimum Akuaponik

Perbandingan Hasil Uji konsentrasi mangan disajikan pada Tabel 4. 4

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Mn Dengan Nilai Akuaponik Konvensional Dan Standar Optimum Akuaponik

Jenis Reaktor	Periode	Hasil Uji (mg/L)	Standar Optimum (mg/L)	Rata- Rata Nilai Akuaponik Konvensional (mg/L)
Bak Kontrol	Awal	0,45	1,195	0,5
	Akhir	0,5		
Sampah Resto	Awal	0,43		
	Akhir	0,55		
Sampah Pasar	Awal	0,44		
	Akhir	0,75		

Hasil perbandingan hasil uji Tabel 4.4, reaktor bak kontrol pada pengukuran sampel periode awal didapatkan konsentrasi sebesar 0,45 mg/L dan pada sampel periode akhir didapatkan konsentrasi sebesar 0,5 mg/L. Reaktor sampah resto pada pengukuran sampel periode awal didapatkan konsentrasi sebesar 0,43 mg/L dan pada sampel periode akhir didapatkan konsentrasi sebesar 0,55 mg/L. Reaktor sampah pasar pada pengukuran sampel periode awal didapatkan konsentrasi sebesar 0,44 mg/L, pada sampel periode akhir didapatkan kenaikan kadar tertinggi serta paling mendekati kadar optimum dimana didapatkan nilai sebesar 0,75 mg/L. Berdasarkan hasil data dapat disimpulkan bahwa reaktor akuaponik dengan produksi maggot mengungguli akuaponik konvensional. .Namun, jika dibandingkan dengan nilai optimum untuk akuaponik dengan produksi maggot BSF masih dibawah nilai tersebut. Hal ini menandakan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap efisiensi sistem akuaponik. Penerapan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kandungan optimum dapat dilakukan dengan penambahan nutrisi mikronutrien dalam bentuk $MnSO_4$ (Ru dkk., 2017). Dengan kadar optimal, mangan membantu dalam proses oksidasi-reduksi yang mengontrol ketersediaan nutrisi lain seperti besi dan fosfor bagi tanaman (Górecki & Daniel, 2013).

4.2.2 Perbandingan Uji konsentrasi tembaga (Cu) dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimum Akuaponik

Perbandingan Hasil Uji konsentrasi tembaga disajikan pada Tabel 4. 5

Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Cu Dengan Nilai Akuaponik Konvensional Dan Standar Optimum Akuaponik

Jenis Reaktor	Periode	Hasil Uji (mg/L)	Standar Optimum (mg/L)	Rata- Rata Nilai Akuaponik Konvensional (mg/L)
Bak Kontrol	Awal	<LOD	0,0783	0,09
	Akhir	0,19		
Sampah Resto	Awal	<LOD		
	Akhir	<LOD		
Sampah Pasar	Awal	<LOD		
	Akhir	<LOD		

Hasil perbandingan hasil uji Tabel 4.5, pada keseluruhan reaktor memiliki nilai konsentrasi yang kurang dari nilai standar optimum untuk kandungan tembaga. Pada reaktor bak kontrol untuk pengujian periode akhir nilai yang diperoleh 0,19 mg/L, nilai ini melebihi standar optimum sebesar 0,0783 mg/L. Pada akuaponik konvensional nilai rata rata yang didapatkan yaitu sebesar 0,09 mg/L. Berdasarkan hasil data dapat disimpulkan bahwa reaktor akuaponik dengan produksi maggot pada parameter Cu belum mampu menandingi akuaponik konvensional. Hal ini menandakan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap efisiensi sistem akuaponik. Untuk mencapai kandungan optimum dapat dilakukan dengan penambahan nutrisi mikronutrien dalam bentuk $CuSO_4$ (Ru dkk., 2017). Kandungan tembaga dalam jumlah yang optimal dapat menjaga keseimbangan ekosistem dalam akuaponik. Tembaga berperan mengendalikan populasi mikroba, Dengan adanya tembaga pada level yang tepat, aktivitas mikroba yang terlibat dalam proses nitrifikasi dapat berjalan dengan efisien, mengubah amonia yang

beracun menjadi nitrat yang aman bagi ikan dan baik bagi tanaman Ondrasek & Rengel, (2012).

4.2.3 Perbandingan Uji konsentrasi seng (Zn) dengan Akuaponik Konvensional dan Standar Optimum Akuaponik

Perbandingan Hasil Uji konsentrasi seng disajikan pada Tabel 4. 6

Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Uji konsentrasi Zn Dengan Nilai Akuaponik Konvensional Dan Standar Optimum Akuaponik

Jenis Reaktor	Periode	Hasil Uji (mg/L)	Standar Optimum (mg/L)	Rata- Rata Nilai Akuaponik Konvensional (mg/L)
Bak Kontrol	Awal	2,35	0,168	0,14
	Akhir	1,65		
Sampah Resto	Awal	2,89		
	Akhir	1,28		
Sampah Pasar	Awal	3,07		
	Akhir	0,61		

Berdasarkan hasil perbandingan hasil uji Tabel 4.6, reaktor bak kontrol pada pengukuran sampel periode awal didapatkan konsentrasi sebesar 2,35 mg/L dan pada sampel periode akhir didapatkan konsentrasi sebesar 1,65 mg/L. Reaktor sampah resto pada pengukuran sampel periode awal didapatkan konsentrasi sebesar 2,89 mg/L dan pada sampel periode akhir didapatkan konsentrasi sebesar 1,28 mg/L. Reaktor sampah pasar pada pengukuran sampel periode awal didapatkan konsentrasi sebesar 3,07 mg/L, pada sampel periode akhir didapatkan penurunan tertinggi serta paling mendekati kadar optimum dimana didapatkan nilai sebesar 0,61 mg/L. Berdasarkan hasil data dapat disimpulkan bahwa reaktor akuaponik dengan produksi maggot memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan

akuaponik konvensional. Dilain hal, hasil pengukuran jika dibandingkan dengan standar nilai optimal untuk akuaponik memiliki nilai konsentrasi yang melebihi dari standar. Hal ini menandakan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap efisiensi sistem akuaponik. Cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kadar seng adalah dengan metode pengendapan dengan penambahan Ca (OH)2 atau NaOH. Cara ini berfokus untuk mengatur pH air dengan nilai tertentu untuk menghasilkan proses pengendapan yang optimum. (Said, 2010). Pada percobaan kali ini keseluruhan reaktor menggunakan air tanah yang terdapat pada lokasi, dimana hal ini dapat menjadi perhatian penting dikarenakan lokasi penelitian berada tidak jauh dari Gunung Merapi. Gunung Merapi merupakan salah satu gunung yang paling aktif di Indonesia, aktifitas vulkanis dapat menyebabkan pelapukan serta pelepasan berbagai elemen salah satunya adalah seng yang dapat masuk kedalam air tanah (Jasim dkk., 2013). Menurut studi Marschner (2012), tanaman akan menyerap lebih banyak seng ketika konsentrasinya tinggi di perairan. Hal ini dapat menjadi faktor penyerapan pada reaktor sampah memiliki nilai penyerapan paling tinggi. Namun, perlu diingat bahwa pada konsentrasi yang terlalu tinggi akan berdampak pada tanaman seperti keracunan seng yang menghambat pertumbuhan bahkan menyebabkan kematian (Nagajyoti dkk., 2010).

4.3 Perbandingan Hasil Uji dengan Baku Mutu PERMEN LH NO.5 Tahun 2014

Perbandingan hasil pengujian kualitas air yang diperoleh dari penelitian dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. Perbandingan antara pengujian konsentrasi awal dan akhir dilakukan untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi perubahan yang terjadi dari hasil perlakuan yang telah dilakukan. Pada penelitian kali ini , air yang telah melalui proses akuaponik akan dialirkan ke badan air dimana badan air tersebut bukan merupakan sungai yang digunakan sebagai air baku minum. Berdasarkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 untuk sungai yang

tidak digunakan sebagai air baku minum maka baku mutu ditetapkan pada golongan II.

4.3.1 Perbandingan hasil uji mangan (Mn) dengan Baku Mutu

Perbandingan hasil uji mangan disajikan pada Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Uji konsentrasi mangan

Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Mangan dengan Baku Mutu

Jenis Reaktor	Periode	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu Gol. II (mg/L)	Keterangan
Bak Kontrol	Awal	0,45	5	Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	0,5		Memenuhi Baku Mutu
Sampah Resto	Awal	0,43		Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	0.55		Memenuhi Baku Mutu
Sampah Pasar	Awal	0,44		Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	0,75		Memenuhi Baku Mutu

Berdasarkan tabel 4.7, Menurut PERMEN LH No. 5 Tahun 2014 baku mutu untuk parameter mangan tergolong kedalam golongan II dimana bernilai 5 mg/L. Mangan dapat masuk kedalam tubuh manusia melalui air yang terkontaminasi baik alami ataupun buatan. Jika mangan masuk kedalam tubuh manusia dengan kadar yang melebihi batas aman dapat berakibat disfungsi pada sistem saraf dan metabolisme (O'Neal dan Zheng, 2015). Hasil analisis menunjukkan bahwa semua reaktor berhasil memenuhi baku mutu, hal ini menunjukan bahwa konsentrasi mangan dalam ketiga reaktor tersebut berada dalam batas yang diperbolehkan sesuai regulasi dan aman bagi lingkungan.

4.3.2 Perbandingan hasil uji tembaga (Cu) dengan Baku Mutu

Perbandingan hasil uji tembaga disajikan pada Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Tembaga dengan Baku Mutu

Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Uji Konsentrasi Tembaga dengan Baku Mutu

Jenis Reaktor	Periode	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu Gol. II (mg/L)	Keterangan
Bak Kontrol	Awal	<LOD	3	Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	0,19		Memenuhi Baku Mutu
Sampah Resto	Awal	<LOD		Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	<LOD		Memenuhi Baku Mutu
Sampah Pasar	Awal	<LOD		Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	<LOD		Memenuhi Baku Mutu

Berdasarkan tabel 4.8, Menurut PERMEN LH No. 5 Tahun 2014 baku mutu untuk parameter mangan tergolong kedalam golongan II dimana bernilai 3 mg/L Tembaga salah satu zat esensial yang penting bagi ekosistem, namun kandungan yang berlebih berdampak buruk kepada lingkungan. Tembaga yang tinggi pada air dapat meracuni seluruh ekosistem, selain itu jika masuk kedalam tubuh manusia dapat berakibat sakit perut, muntah, diare, mual bahkan keracunan (Ungureanu dan Mustatea, 2022). Hasil analisis menunjukkan bahwa semua reaktor berhasil memenuhi baku mutu, hal ini menunjukan bahwa konsentrasi tembaga dalam ketiga reaktor tersebut berada dalam batas yang diperbolehkan sesuai regulasi dan aman untuk lingkungan.

4.3.3 Perbandingan hasil uji seng (Zn) dengan Baku Mutu

Perbandingan hasil uji seng disajikan pada Tabel 4.9

Tabel 4. 9 Perbandingan Hasil Uji konsentrasi seng dengan Baku Mutu

Jenis Reaktor	Periode	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu Gol. II (mg/L)	Keterangan
Bak Kontrol	Awal	2,35	10	Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	1,65		Memenuhi Baku Mutu
Sampah Resto	Awal	2,89		Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	1,28		Memenuhi Baku Mutu
Sampah Pasar	Awal	3,07		Memenuhi Baku Mutu
	Akhir	0,61		Memenuhi Baku Mutu

Berdasarkan tabel 4.9, Menurut PERMEN LH No. 5 Tahun 2014 baku mutu untuk parameter mangan tergolong kedalam golongan II dimana bernilai 10 mg/L. Seng yang berlebih pada lingkungan dapat berdampak buruk kepada lingkungan itu sendiri dan juga manusia, dimana seng dapat mengakibatkan gangguan sistem imun (Ungureanu dan Mustatea, 2022). Hasil analisis menunjukkan bahwa semua reaktor berhasil memenuhi baku mutu, hal ini menunjukan bahwa konsentrasi seng dalam ketiga reaktor tersebut berada dalam batas yang diperbolehkan sesuai regulasi dan aman untuk lingkungan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini merupakan project besar terkait Studi Teknologi Integrasi Pengelolaan Sampah Produksi Larva BSF dengan Akuaponik. berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan:

1. Hasil pengukuran untuk parameter Mn didapatkan pada reaktor dengan sampah pasar memiliki kenaikan kadar mangan yang paling tinggi yaitu sebesar 0,31 mg/L. Pada Parameter Cu, keseluruhan reaktor hasil yang diperoleh yaitu <LOD atau dibawah nilai deteksi. Pada Parameter Zn, didapatkan pada reaktor dengan sampah pasar memiliki nilai penurunan tertinggi sebanyak 2,46 mg/L. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa jenis sampah berpengaruh terhadap kandungan konsentrasi Mn, dan Zn pada air dalam alat integrasi akuaponik dengan produksi maggot BSF. Pada parameter Cu untuk perlakuan yang telah dilakukan tidak berpengaruh terhadap nilai konsentrasi.
2. Hasil pengukuran untuk parameter Mn didapatkan pada reaktor dengan sampah pasar memiliki kadar mangan yang paling tinggi yaitu sebesar 0,75 mg/L dan paling mendekati nilai standar optimum yaitu sebesar 1,195 mg/L. Pada Parameter Cu, mayoritas reaktor hasil yang diperoleh yaitu <LOD, hasil ini menunjukan kadar yang tidak optimal dimana kadar optimal untuk parameter Cu pada sistem akuaponik sebesar 0,078 mg/L. Pada Parameter Zn hasil pengukuran diperoleh pada reaktor dengan sampah pasar memiliki penurunan tertinggi serta paling mendekati kadar optimum didapatkan nilai sebesar 0,61 mg/L dimana untuk nilai standar optimum sebesar 0,168 mg/L. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa pada parameter Mn pada reaktor akuaponik dengan produksi maggot mengungguli akuaponik konvensional. Mn, Cu, dan Zn pada air

dalam alat integrasi akuaponik dengan produksi maggot BSF pada setiap reaktor belum sesuai atau memenuhi nilai standar optimum akuaponik.

3. Hasil pengukuran untuk tiap konsentrasi Mn, Cu, dan Zn menunjukkan bahwa secara keseluruhan dari sampel tiap reaktor memenuhi baku. Adapun nilai untuk baku mutu parameter Mn yaitu sebesar 5 mg/L, parameter Cu sebesar 3 mg/L, serta pada parameter Zn sebesar 10 mg/L. Dari hasil ini dapat disimpulkan pada air dalam alat integrasi akuaponik dengan produksi maggot BSF pada setiap reaktor aman bagi lingkungan dan memenuhi nilai baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. .

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian kali ini sebagai berikut :

1. perlu adanya pengujian parameter mikronutrien yang lain sehingga dapat mengetahui efektivitas dari pengaruh sampah terhadap konsentrasi parameter berbagai parameter mikronutrien.
2. Perlu adanya jenis sampah yang lain sehingga dapat mengetahui jenis sampah yang paling efektif bagi akuaponik.
3. Perlu adanya penambahan jumlah pengambilan sampel seperti setiap minggu ataupun tiga hari sekali agar dapat mengetahui apakah konsentrasi mikronutrien berubah secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. 2020. **Manganese in plants**: **from acquisition to subcellular allocation**. *Frontiers in plant science*. 11. 300.

Alloway, B. J. (2008). **Zinc in Soils and Crop Nutrition**. IZA and IFA.

Ayala, M. B., & Sandmann, G. 1988. **Activities of Cu-containing proteins in Cu-depleted pea leaves**. *Physiologia Plantarum*. **72**. 4. 801-806.

Ayu, D. P. S., Taniwiryono, D., Andreina, R., Nursetyowati, P., dan Surya, D. I. 2022. **Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Hasil Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bantuan Larva *Black Soldier Fly (BSF).*** *Agro Bali: Agricultural Journal*. **1.**5. 102-112.

Badan Standarisasi Nasional. 2009. **Air dan Air Limbah Bagian 5: Cara Uji Mangan (Mn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)**. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2009. **Air dan Air Limbah Bagian 6: Cara Uji Tembaga (Cu) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)**. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2009. **Air dan Air Limbah Bagian 7: Cara Uji Seng (Zn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).** Jakarta.

Bittsanszky, A., Uzinger, N., Gyulai, G., Mathis, A., Junge, R., Villarroel, M., Kotzen, B., & Komives, T. 2016. **Nutrient Supply of Plants in Aquaponic Systems**. *Ecocyles: Science Journal of the European Ecocycles Society*. **2.**2. 17-20.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). **Zinc in plants**. *New phytologist*. **4.**173. 677-702.

Brown, P. H., Cakmak, I., & Zhang, Q. 1993. **Form and function of zinc plants. In Zinc in Soils and Plants**. *Proceedings of the International Symposium on 'Zinc in Soils and Plants' held at The University of Western Australia*, 27–28 September. 93-106.

Cossu, R., & Stegmann, R. 2018. **Solid waste landfilling: concepts, processes, technology**. Elsevier.

Cottenie, A. 1981. **Trace Elements In Agriculture and In The Environment. Laboratory of Analytical and Agrochemistry**. Faculty of Agriculture. State University of Ghent. Belgium.

Currie, L. A. 1995. **Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities**. *Pure and applied chemistry*. **10**. 67. 1699-1723.

Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. 2016**. Lettuce (Lactuca sativa L. var. Sucrine) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics**. *Water*. **10**. 8 467.

Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. 2011. **Black soldier fly larvae for organic waste treatment-prospects and constraints**. *Proceedings of the WasteSafe*. 2. 13-15.

Grossule, V., & Lavagnolo, M. C. 2020**. The treatment of leachate using Black Soldier Fly (BSF) larvae**. *Adaptability and resource recovery testing*. **Journal of environmental management**, 253, 109707.

Hafeez, B. M. K. Y., Khanif, Y. M., & Saleem, M. 2013. **Role of zinc in plant nutrition-a review**. *American journal of experimental Agriculture*. **2**. 3 374-391.

Handy, R. D., Henry, T. B., Scown, T. M., Johnston, B. D., & Tyler, C. R. 2008. **Manufactured nanoparticles**. *their uptake and effects on fish—a mechanistic analysis. Ecotoxicology*. 17. 396-409.

Huang, J. W., Chen, J., Berti, W. R., & Cunningham, S. D. 1997. **Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction**. *Environmental Science & Technology*. 3. 31. 800-805.

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**. *Earth and Environmental Science*. October. 1257. 1. p. 012004.

Jasim, A., Hemmings, B., Mayer, K., & Scheu, B. 2019**. Groundwater flow and volcanic unrest**. *Volcanic unrest:* **From science to society**. 83-99.

Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. 2011. **Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity**. *Proceedings of the national academy of sciences*. **108**. 9. 3465-3472.

Marschner, H. 2012**. Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.)**. Academic Press.

Millaleo, R., Reyes-Díaz, M., Ivanov, A. G., Mora, M. L., & Alberdi, M. 2010. **Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms**. *Journal of soil science and plant nutrition*. **10**. 4. 470-481.

Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. 2010. **Heavy Metals, Occurrence and Toxicity for Plants***: A Review. Environmental Chemistry Letters.* **8.** 3. 199-216.

Newton, G. L., Booram, C. V., Barker, R. W., & Hale, O. M. 1977. **Dried Hermetia illucens larvae meal as a supplement for swine**. *Journal of Animal Science*. **44**. 3. 395-400.

Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G., & Dove, R. 2005. **Using the black soldier fly, Hermetia illucens, as a value-added tool for the management of swine manure.** *Animal and Poultry Waste Management Center*. 17.18.

O'Neal, S. L., & Zheng, W. (2015). **Manganese toxicity upon overexposure: a decade in review**. *Current environmental health reports*. 2. 315-328.

Ondrasek, G., & Rengel, Z. (2012). **The role of soil organic matter in trace element bioavailability and toxicity**. *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. 17. 403-423.

Palm, H.W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S.M., Vermeulen, T., Haïssam Jijakli, M. and Kotzen, B., 2018. **Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature**. *Aquaculture internationa*. 26. 813-842.

Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. **Peraturan Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.** Jakarta

Rakocy, J. E. 2012. **Aquaponics—integrating fish and plant culture**. *Aquaculture production systems*, 344-386.

Resh, H. M. 2022. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. CRC press.

Ru, D., Liu, J., Hu, Z., Zou, Y., Jiang, L., Cheng, X., & Lv, Z. 2017. **Improvement of aquaponic performance through micro-and macro-nutrient addition**. *Environmental Science and Pollution Research*. 24. 16328-16335.

Said, N. I. 2010. **Metoda penghilangan logam berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) di dalam air limbah industri.** *Jurnal Air Indonesia*, **6.** 2.

Salam, M., Alam, F., Dezhi, S., Nabi, G., Shahzadi, A., Hassan, S.U., Ali, M., Saeed, M.A., Hassan, J., Ali, N. and Bilal, M., 2021. **Exploring the role of Black Soldier Fly Larva technology for sustainable management of municipal solid waste in developing countries**. *Environmental Technology & Innovation*. *24*. .101934.

Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S. and Terzano, R., 2019. **Hydroponic solutions for soilless production systems: issues and opportunities in a smart agriculture perspective.** *Frontiers in plant science*. 10. 923.

Saparinto, C., & Susiana, R. (2024). **Panduan Lengkap Budi Daya Ikan dan Sayuran dengan Sistem Akuaponik**. Andi.

Stokes, P.M., Campbell, P.G.C., Schroeder, W.H., Trick, C., France, R.L., Puckett, K.J., LaZerte, B., Speyer, M., Hanna, J.E. and Donaldson, J., 1988. **Manganese in the Canadian environment**. NRCC.

Ungureanu, E. L., & Mustatea, G. 2022. **Toxicity of heavy metals. In Environmental Impact and Remediation of Heavy Metals**. IntechOpen.

Walker, C. D., & Webb, J. 1981. **Copper in plants forms and behavior: In copper in soils and plants.** Eds. JF Loneragan, AD Robson & RD Graham.

Wibowo, A., & Djajawinata, D. T. 2012. **Penanganan sampah perkotaan terpadu**.

Wita N, Pramiati P and Dwi I 2020 Pengaruh Komposisi Sampah Pasar terhadap Kualitas Kompos Organik dengan Metode Larva Black Soldier Fly (BSF) Prosiding Seminar Nasional Pakar ke 3 Tahun 2020

Xu, P., Fu, Q., & Zhao, M. 2023**. The influence of calcium on copper corrosion and its by-product release in drinking water**. *RSC advances*, **13**.26. 17842-17855.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengujian Kandungan mikronutrien pada Air Akuaponik

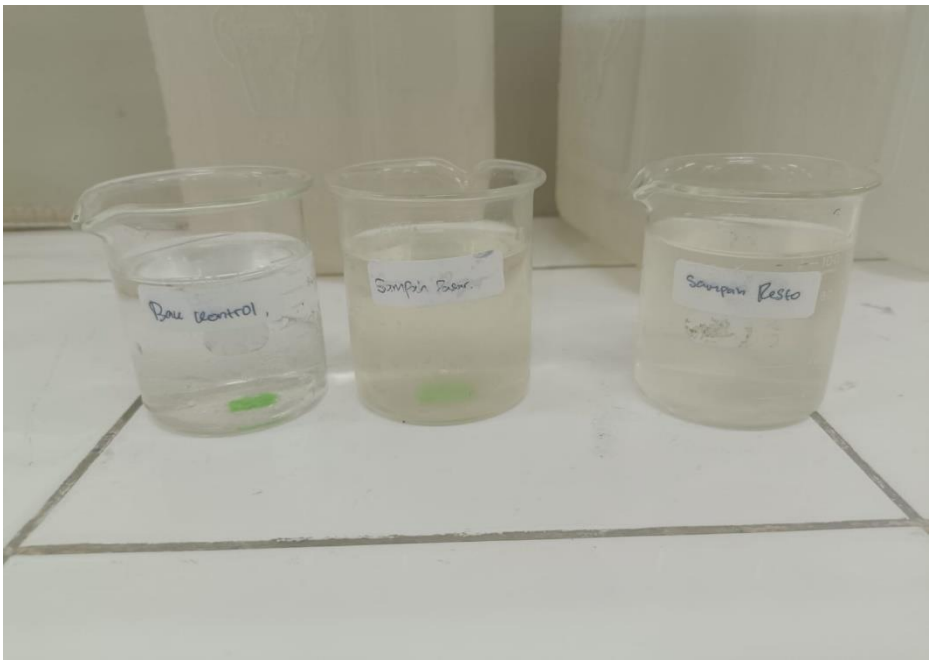
Lampiran 1. 1 Pengamatan Sistem Akuaponik



Lampiran 1. 2 Sampel Air Pengujian mikronutrien



Lampiran 1. 3 Persiapan Sampel Pengujian



Lampiran 1. 4 Penyaringan Sampel Air



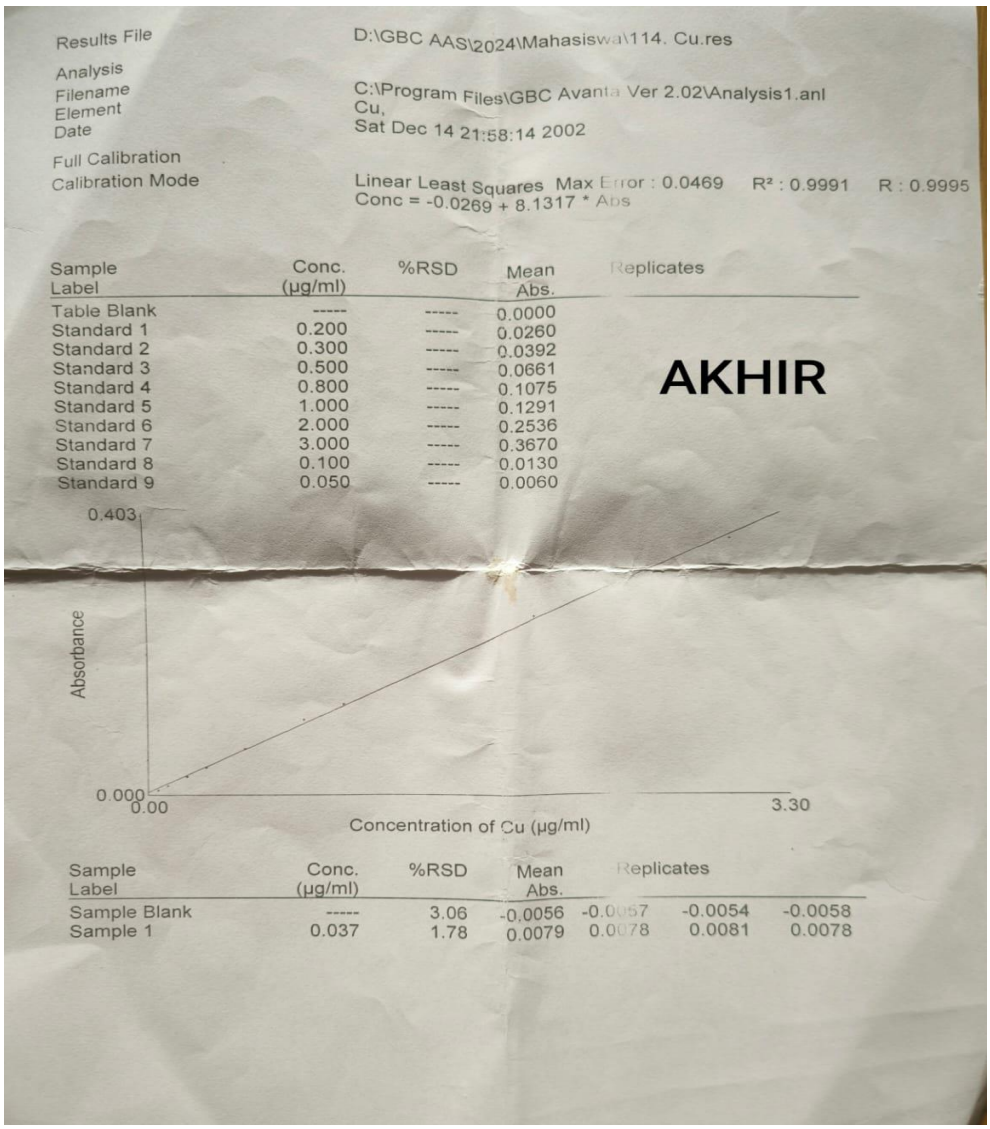


Lampiran 1. 5 Destruksi Sampel Pengujian





Lampiran 1. 6 Hasil Pengujian AAS



Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\114. Cu.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Cu,
Date Sat Dec 14 21:58:14 2002

Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0469 R^2 : 0.9991 R : 0.9995
Conc = -0.0269 + 8.1317 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.200	-----	0.0260	
Standard 2	0.300	-----	0.0392	
Standard 3	0.500	-----	0.0661	
Standard 4	0.800	-----	0.1075	
Standard 5	1.000	-----	0.1291	
Standard 6	2.000	-----	0.2536	
Standard 7	3.000	-----	0.3670	
Standard 8	0.100	-----	0.0130	
Standard 9	0.050	-----	0.0060	

AKHIR

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	3.06	-0.0056	-0.0057	-0.0054	-0.0058
Sample 1	0.037	1.78	0.0079	0.0078	0.0081	0.0078

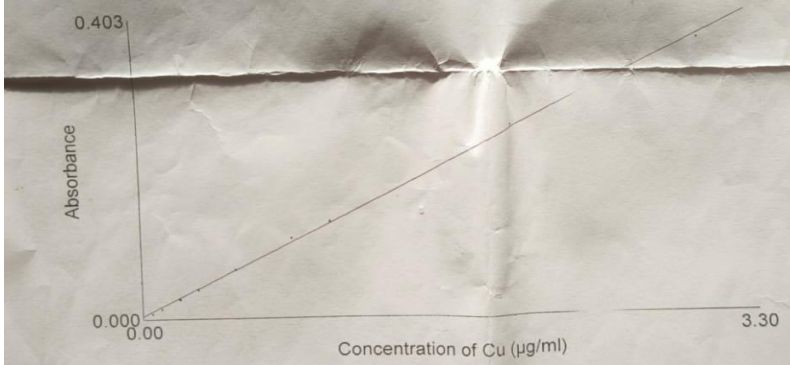
Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\106. cu.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Cu,
Date Mon Dec 09 23:05:33 2002

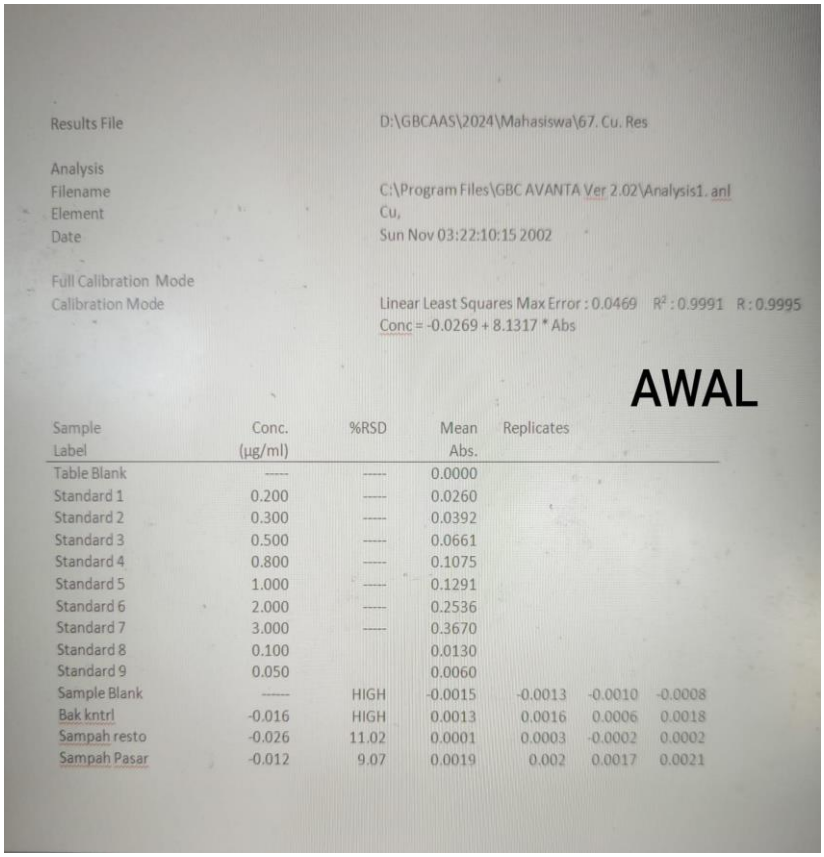
Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0469 R^2 : 0.9991 R : 0.9995
Conc = -0.0269 + 8.1317 * Abs

AKHIR

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.200	-----	0.0260	
Standard 2	0.300	-----	0.0392	
Standard 3	0.500	-----	0.0661	
Standard 4	0.800	-----	0.1075	
Standard 5	1.000	-----	0.1291	
Standard 6	2.000	-----	0.2536	
Standard 7	3.000	-----	0.3670	
Standard 8	0.100	-----	0.0130	
Standard 9	0.050	-----	0.0060	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0015	-0.0018	-0.0008	-0.0020
SP	-0.018	HIGH	0.0011	0.0008	0.0006	0.0019
SR	-0.006	HIGH	0.0026	0.0030	0.0014	0.0034



Results File D:\GBCAAS\2024\Mahasiswa\67. Cu. Res

Analysis
Filename C:\Program Files\GBC AVANTA Ver 2.02\Analysis1. anl
Element Cu,
Date Sun Nov 03:22:10:15 2002

Full Calibration Mode
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0469 R^2 : 0.9991 R : 0.9995
Conc = -0.0269 + 8.1317 * Abs

AWAL

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Table Blank	-----	-----	0.0000			
Standard 1	0.200	-----	0.0260			
Standard 2	0.300	-----	0.0392			
Standard 3	0.500	-----	0.0661			
Standard 4	0.800	-----	0.1075			
Standard 5	1.000	-----	0.1291			
Standard 6	2.000	-----	0.2536			
Standard 7	3.000	-----	0.3670			
Standard 8	0.100		0.0130			
Standard 9	0.050		0.0060			
Sample Blank	------	HIGH	-0.0015	-0.0013	-0.0010	-0.0008
Bak kntrl	-0.016	HIGH	0.0013	0.0016	0.0006	0.0018
Sampah resto	-0.026	11.02	0.0001	0.0003	-0.0002	0.0002
Sampah Pasar	-0.012	9.07	0.0019	0.002	0.0017	0.0021

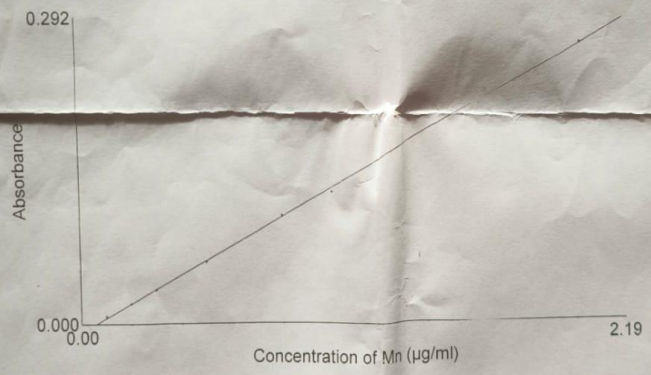
Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\112. Mn.res

Analysis
Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Mn,
Date Sat Dec 14 21:47:38 2002

Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0286 R^2 : 0.9995 R : 0.9998
Conc = 0.0630 + 7.3425 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.100	-----	0.0067	
Standard 2	0.200	-----	0.0187	
Standard 3	0.300	-----	0.0322	
Standard 4	0.500	-----	0.0588	
Standard 5	0.800	-----	0.1020	
Standard 6	1.000	-----	0.1237	
Standard 7	2.000	-----	0.2652	

AKHIR



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0034	-0.0039	-0.0026	-0.0039
Sample 1	0.100	17.78	0.0051	0.0061	0.0043	0.0049

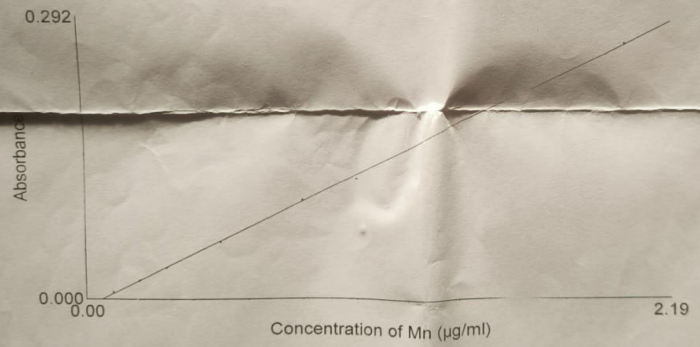
Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\105. mn.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Mn,
Date Mon Dec 09 23:02:17 2002

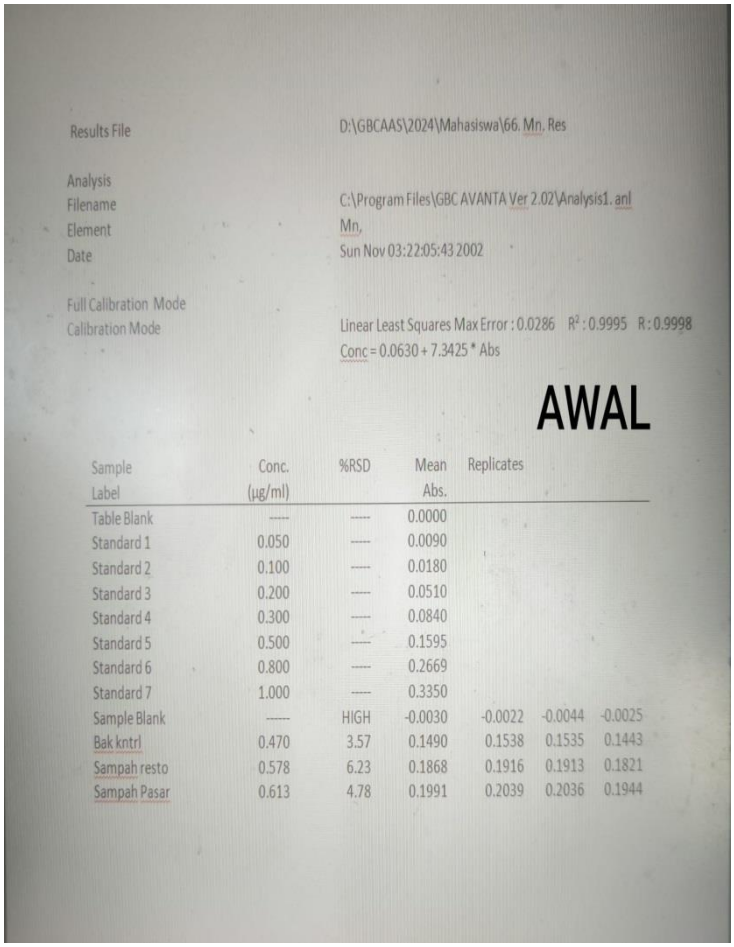
Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0286 R^2 : 0.9995 R : 0.9998
Conc = 0.0630 + 7.3425 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.100	-----	0.0067	
Standard 2	0.200	-----	0.0187	
Standard 3	0.300	-----	0.0322	
Standard 4	0.500	-----	0.0588	
Standard 5	0.800	-----	0.1020	
Standard 6	1.000	-----	0.1237	
Standard 7	2.000	-----	0.2652	

AKHIR



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	HIGH	0.0012	0.0025	0.0010	-0.0000
SP	0.150	6.61	0.0119	0.0127	0.0117	0.0112
SR	0.111	2.08	0.0065	0.0066	0.0065	0.0064



Results File D:\GBCAAS\2024\Mahasiswa\66. Mn. Res

Analysis
Filename C:\Program Files\GBC AVANTA Ver 2.02\Analysis1. anl
Element Mn,
Date Sun Nov 03:22:05:43 2002

Full Calibration Mode
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0286 R^2 : 0.9995 R : 0.9998
Conc = 0.0630 + 7.3425 * Abs

AWAL

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Table Blank	-----	-----	0.0000			
Standard 1	0.050	-----	0.0090			
Standard 2	0.100	-----	0.0180			
Standard 3	0.200	-----	0.0510			
Standard 4	0.300	-----	0.0840			
Standard 5	0.500	-----	0.1595			
Standard 6	0.800	-----	0.2669			
Standard 7	1.000	-----	0.3350			
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0030	-0.0022	-0.0044	-0.0025
Bak kntrl	0.470	3.57	0.1490	0.1538	0.1535	0.1443
Sampah resto	0.578	6.23	0.1868	0.1916	0.1913	0.1821
Sampah Pasar	0.613	4.78	0.1991	0.2039	0.2036	0.1944

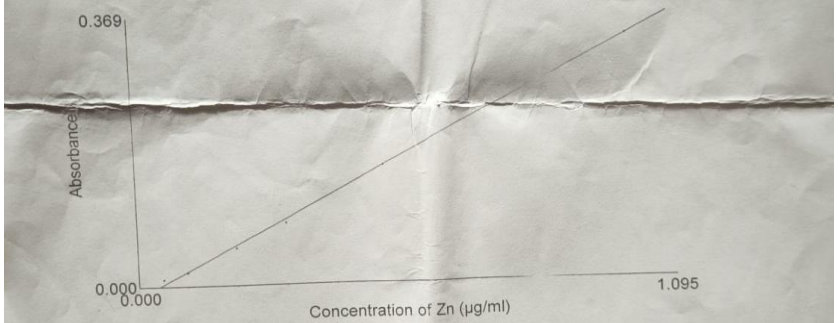
Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\113. Zn.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Zn,
Date Sat Dec 14 21:53:20 2002

Full Calibration
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0209 R^2 : 0.9990 R : 0.9995
Conc = 0.0452 + 2.8518 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0090	
Standard 2	0.100	-----	0.0180	
Standard 3	0.200	-----	0.0510	
Standard 4	0.300	-----	0.0840	
Standard 5	0.500	-----	0.1595	
Standard 6	0.800	-----	0.2669	
Standard 7	1.000	-----	0.3350	

AKHIR



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0039	-0.0061	-0.0034	-0.0022
Sample 1	0.329	8.21	0.0997	0.1045	0.1042	0.0902

Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\107. zn.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Element Zn,

Date Mon Dec 09 23:09:25 2002

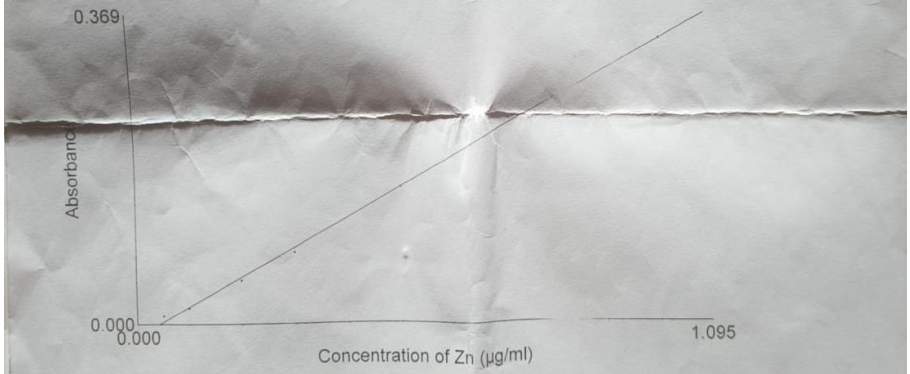
Full Calibration

Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0209 R^2 : 0.9990 R : 0.9995

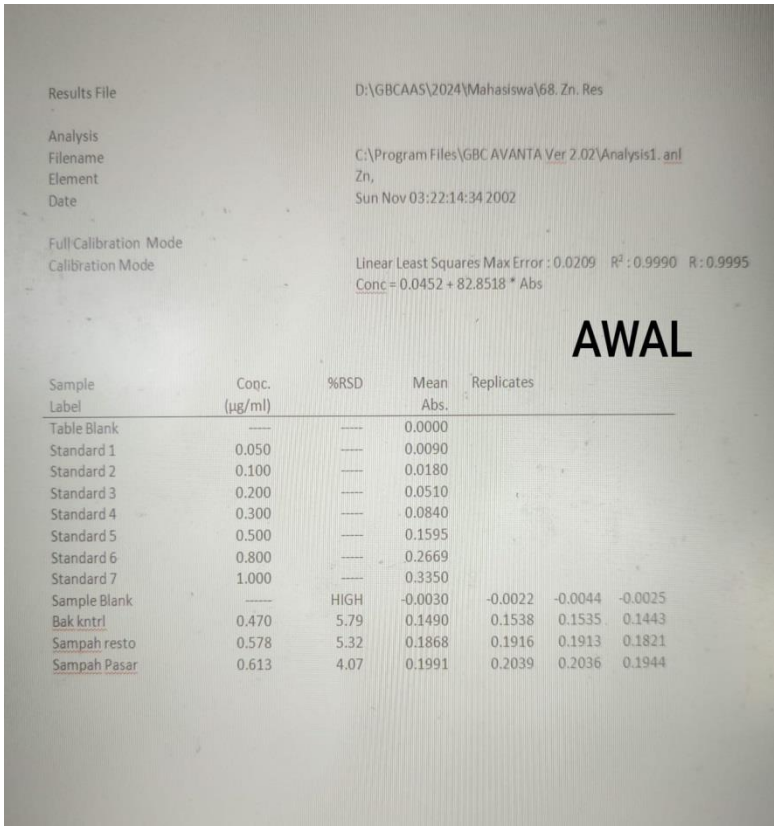
Conc = 0.0452 + 2.8518 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0090	
Standard 2	0.100	-----	0.0180	
Standard 3	0.200	-----	0.0510	
Standard 4	0.300	-----	0.0840	
Standard 5	0.500	-----	0.1595	
Standard 6	0.800	-----	0.2669	
Standard 7	1.000	-----	0.3350	

AKHIR



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0028	-0.0020	-0.0042	-0.0023
SP	0.121	7.17	0.0266	0.0244	0.0278	0.0276
SR	0.257	7.20	0.0742	0.0699	0.0726	0.0802



Results File D:\GBCAAS\2024\Mahasiswa\68. Zn. Res

Analysis
Filename C:\Program Files\GBC AVANTA Ver 2.02\Analysis1. anl
Element Zn,
Date Sun Nov 03:22:14:34 2002

Full Calibration Mode
Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0209 R^2 : 0.9990 R : 0.9995
Conc = 0.0452 + 82.8518 * Abs

AWAL

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Table Blank	-----	-----	0.0000			
Standard 1	0.050	-----	0.0090			
Standard 2	0.100	-----	0.0180			
Standard 3	0.200	-----	0.0510			
Standard 4	0.300	-----	0.0840			
Standard 5	0.500	-----	0.1595			
Standard 6	0.800	-----	0.2669			
Standard 7	1.000	-----	0.3350			
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0030	-0.0022	-0.0044	-0.0025
Bak kntrl	0.470	5.79	0.1490	0.1538	0.1535	0.1443
Sampah resto	0.578	5.32	0.1868	0.1916	0.1913	0.1821
Sampah Pasar	0.613	4.07	0.1991	0.2039	0.2036	0.1944

Lampiran 1. 7 Permen LH no.5 Tahun 2014

No	Parameter	Kadar yang diperbolehkan Mg/L
1.	Mangan (Mn)	5
2.	Tembaga (Cu)	3
3.	seng (Zn)	10

LAMPIRAN XLVII
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 5 TAHUN 2014
TENTANG
BAKU MUTU AIR LIMBAH

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
YANG BELUM MEMILIKI BAKU MUTU AIR LIMBAH YANG DITETAPKAN

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr^{6+})	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stanum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H_2S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl_2)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen (NH_3-N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO_3-N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO_2-N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD_5	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Sumber : Permen LH no. 5 Tahun 2014

Lampiran 2 Kadar Total Mikronutrien pada Air dari Reaktor Akuaponik

Lampiran 2. 1 Rumus perhitungan kadar total

$$Konsentrasi\ kadar\ Total\ (mg/L) = C\ \times fp$$

Keterangan

C : Kadar yang didapat dari hasil pengukuran

fp : faktor pengenceran

Lampiran 2. 2 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Mn

Konsentrasi Mangan Awal dan Akhir			
Reaktor	**Jenis Reaktor**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**
Reaktor 1	Bak Kontrol	0.45	0.50
Reaktor 2	Sampah Resto	0.43	0.55
Reaktor 3	Sampah Pasar	0.44	0.75

Lampiran 2. 3 Hasil Perhitungan Periode Awal & akhir Cu

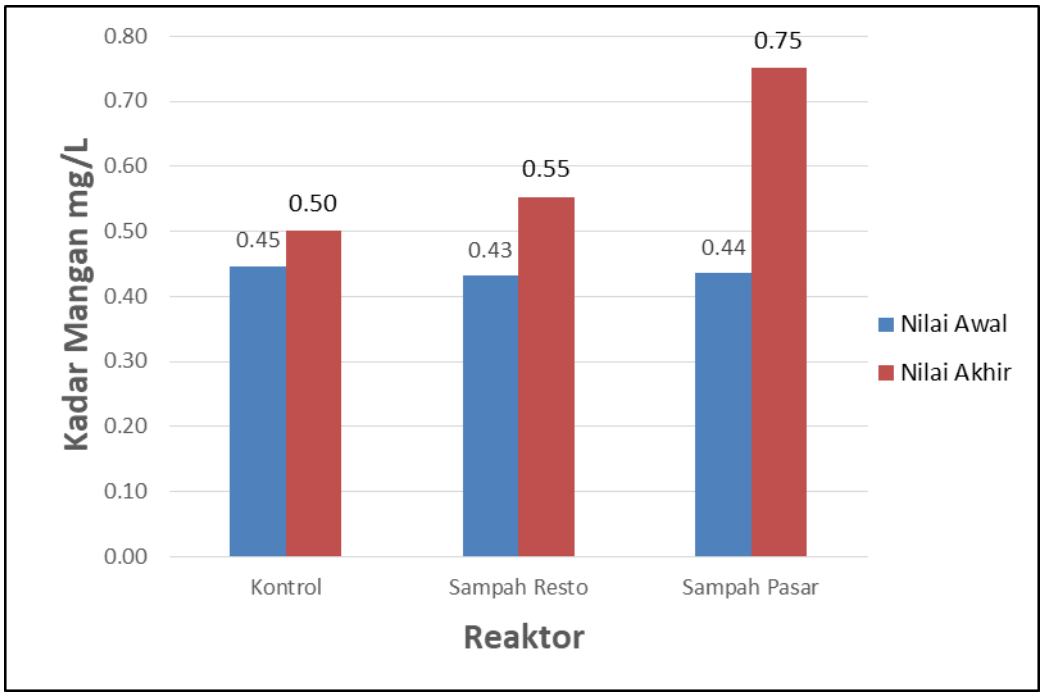
Konsentrasi Tembaga Awal dan Akhir			
Reaktor	**Jenis Reaktor**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**
Reaktor 1	Bak Kontrol	-0.08	0.19
Reaktor 2	Sampah Resto	-0.13	-0.03
Reaktor 3	Sampah Pasar	-0.06	-0.09

Lampiran 2. 4 Hasil Perhitungan Periode Awal & Akhir Zn

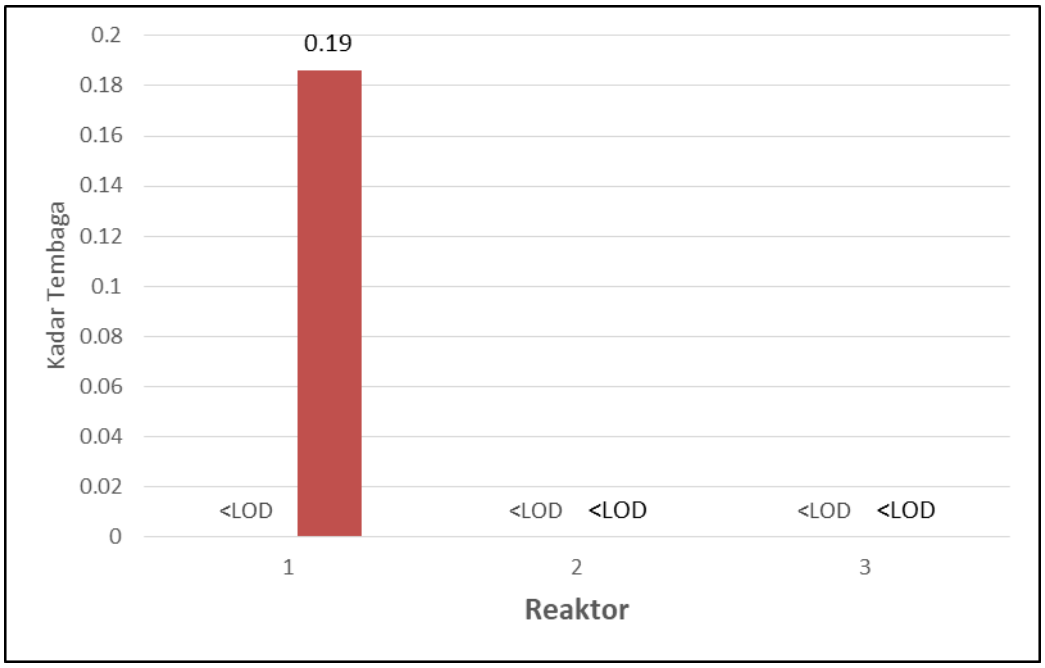
Konsentrasi Seng Awal dan Akhir			
Reaktor	**Jenis Reaktor**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**
Reaktor 1	Bak Kontrol	2.35	1.65
Reaktor 2	Sampah Resto	2.89	1.28

Reaktor 3	Sampah Pasar	3.07	0.61

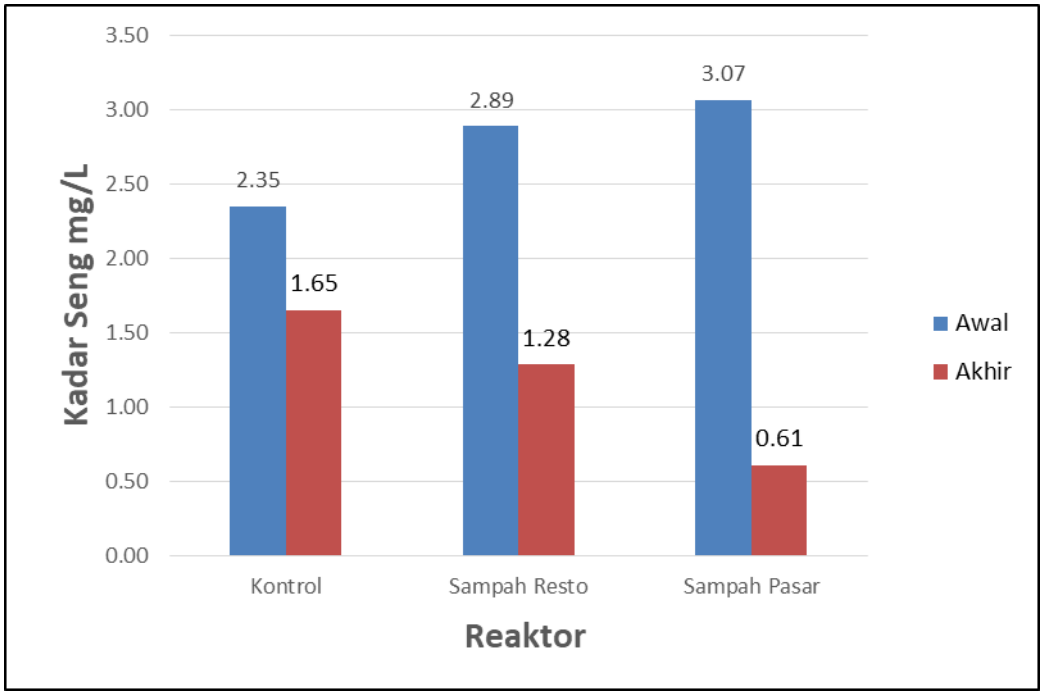
Lampiran 2. 5 Grafik Hasil Konsentrasi Mangan



Lampiran 2. 6 Grafik Hasil Konsentrasi Cu



Lampiran 2. 5 Grafik Hasil Konsentrasi Logam Berat Cr


3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
Kadar Seng mg/L
2.35
1.65
2.89
1.28
3.07
0.61
Kontrol
Sampah Resto
Sampah Pasar
Reaktor
Awal
Akhir

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Muhammad Haydar Respati lahir di Samboja, 26 April 2001. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Adapun riwayat pendidikan penulis adalah TK Negeri Pembina Wates (2004-2006), 017 Samboja (2006-2013), SMP Negeri 1 Samboja (2013-2017), SMA Negeri 3 Unggulan Tenggarong (2017-2019), dan Universitas Islam Indonesia Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (2020-2024)