TA/TL/2021/1262

TUGAS AKHIR

ESTIMASI INTAKE LOGAM BERAT PADA KONSUMSI IKAN DARI SUNGAI CODE, YOGYAKARTA DAN RISIKO KESEHATANNYA

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

NURAINA FITRIANI

16513085

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2021

TUGAS AKHIR

ESTIMASI INTAKE LOGAM BERAT PADA KONSUMSI IKAN DARI SUNGAI CODE, YOGYAKARTA DAN RISIKO KESEHATANNYA

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

NURAINA FITRIANI

16513085

Disetujui,

Dosen Pembimbing:

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T
NIK : 155131313
Tanggal: 7 Januari 2021

Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng
NIK : 195130101
Tanggal: 7 Januari 2021

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D
NIK: 025100406
Tanggal : 7 Januari 2021

HALAMAN PENGESAHAN

ESTIMASI INTAKE LOGAM BERAT PADA KONSUMSI IKAN DARI SUNGAI CODE, YOGYAKARTA DAN RISIKO KESEHATANNYA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 7 Januari 2021

Disusun Oleh :

Nuraina Fitriani

16513085

Tim Penguji:

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T ( )

Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng ( )

Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D ( )

LEMBAR 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 tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab 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 sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 7 Januari 2021

Yang membuat pernyataan,



Nuraina Fitriani

NIM: 16513085

PRAKATA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Estimasi Intake Logam Berat pada Konsumsi Ikan dari Sungai Code, Yogyakarta dan Risiko Kesehatannya**. Penyusunan laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah membantu penulisan tugas akhir ini, antara lain :

1. Allah SWT yang telah memberikan ilmu pengetahuan, kesehatan, kelancaran, dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D selaku penguji dan ketua Program Studi Teknik Lingkungan UII.
3. Ibu Dr. Suphia Rahmawati S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang bersedia meluangkan waktu, memberikan ilmu pengetahuan dan arahan.
4. Ibu Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir dan Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri., S.T., M.Eng yang memberikan waktu, masukan, dan arahan.
5. Kedua orangtua penulis, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, kepercayaan, dan dukungan penuh kepada semua keputusan yang telah penulis ambil selama penulisan laporan ini.
6. Seluruh dosen, staff, dan Keluarga Besar Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII. Terima kasih atas bantuan, pengajaran, pengalaman, dan cerita yang telah diberikan selama ini.

7. Seluruh staff Laboratorium Prodi Teknik Lingkungan. Terutama Pak Tasyono yang sudah membantu dalam pengujian sampel.
8. Teman-teman Angkatan 2016 Prodi Teknik Lingkungan.
9. Teman dalam proses pengerjaan laporan, Nauval, Reza, dan grup Sungai Code (Aggi, Ahfi, Fariz, Hamidi).
10. Masyarakat daerah sekitar Sungai Code, khususnya para pemancing yang bersedia membantu penulis mencari sampel ikan.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Kekurangan yang terdapat didalam laporan tugas akhir ini tidak luput dari kesalahan dan keterbatasan ilmu pengetahuan dari penulis. Berdasarkan hal tersebut, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun untuk kemajuan penulis dan kelengkapan laporan ini. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis dan kita semua.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 7 Januari 2021

Nuraina Fitriani

ABSTRAK

NURAINA FITRIANI. Estimasi Intake Logam Berat pada Konsumsi Ikan dari Sungai Code, Yogyakarta dan Risiko Kesehatannya. Dibimbing Oleh Dr. SUPHIA RAHMAWATI, S.T., M.T. dan ADELIA ANJU ASMARA, S.T., M.Eng.

Keberadaan logam berat di Sungai Code akan terakumulasi di ikan yang hidup di dalam sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Timbal (Pb), Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Kromium (Cr), dan Kadmium (Cd) pada ikan di Sungai Code serta mengestimasi intake dan risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi ikan di Sungai Code. Metode pengujian logam berat dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk mengetahui risiko kesehatan masyarakat. Pengambilan sampel dilakukan pada tujuh lokasi sepanjang Sungai Code di musim penghujan. Konsentrasi logam berat pada ikan dalam berat basah yang diperoleh adalah timbal (Pb) 0,099-0,558 mg/kg, Besi (Fe) 0,648-16,231 mg/kg, Mangan (Mn) 0,017-0,837 mg/kg, Tembaga (Cu) 0,001-0,478 mg/kg, Kromium (Cr) 0,050-1,568 mg/kg, dan Kadmium (Cd) 0,001-0,071 mg/kg. Estimasi intake pada ikan yang diperoleh yaitu kadmium (Cd) $9{,}04 \times 10^{-8}$ – $8{,}66 \times 10^{-6}$ mg/kg/hari, timbal (Pb) 1,21-6,81 x 10^{-5} mg/kg/hari, tembaga (Cu) $3{,}57 \times 10^{-6}$ – $1{,}25 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari, kromium (Cr) $6{,}15 \times 10^{-6}$ – $1{,}91 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari, mangan (Mn) $3{,}27 \times 10^{-5}$ – $2{,}38 \times 10^{-4}$ mg/kg/hari, dan besi (Fe) $3{,}97 \times 10^{-4}$ – $4{,}62 \times 10^{-3}$ mg/kg/hari. Karakteristik risiko pada Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menunjukkan bahwa satu kondisi tidak aman dari hasil estimasi intake maksimum logam berat kadmium (Cd) pada sampel ikan.

Kata kunci: Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan, ARKL, Ikan, Logam Berat, Sungai Code

ABSTRACT

NURAINA FITRIANI. Estimation of Heavy Metals Intake Due to Fish Consumption in Code River, Yogyakarta and Health Risk Assessment. Supervised by Dr. SUPHIA RAHMAWATI, S.T., M.T., and ADELIA ANJU ASMARA, S.T., M.Eng.

The presence of heavy metals in the Code River will accumulate in fish that lives in the river. This study aims to determine the level of heavy metals: Lead (Pb), Iron (Fe), Manganese (Mn), Copper (Cu), Chromium (Cr), and Cadmium (Cd) uptake by fish in the Code River and estimate their intake and it's health risks on those who eat fish from the Code River. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) was used to test the presence of heavy metals and Environmental Health Risk Analysis was used to see the their public health risks. Samples were taken at seven locations along the Code River in the rainy season. The concentration of heavy metals in fish obtained are lead (Pb) 0.099-0.558 mg/kg, Iron (Fe) 0.648-16.231 mg/kg, Manganese (Mn) 0.017-0.837 mg/kg, Copper (Cu) 0.001-0.478 mg/kg, Chromium (Cr) 0.050-1.568 mg/kg, and Cadmium (Cd) 0.001-0.071 mg/kg in wet weight. Estimated intake of fish obtained are cadmium (Cd) 9.04×10^{-8} - 8.66×10^{-6} mg/kg/day, lead (Pb) 1.21-6.81 $\times 10^{-5}$ mg/kg/day, copper (Cu) 3.57×10^{-6} - 1.25×10^{-4} mg/kg/day, chromium (Cr) 6.15×10^{-6} - 1.91×10^{-4} mg/kg/day, manganese (Mn) 3.27×10^{-5} - 2.38×10^{-4} mg/kg/day, and iron (Fe) 3.97×10^{-4} - 4.62×10^{-3} mg/kg/day. The risk characteristics in the Environmental Health Risk Analysis indicate that one condition is unsafe from the maximum intake of heavy metal cadmium (Cd) in fish samples.

***Keywords**: ARKL, Code River, Environmental Health Risk Analysis, Fish, Health Risk Assessment, Heavy Metals*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN iii
LEMBAR PERNYATAAN iv
PRAKATA v
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR NOTASI xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Logam berat 5
2.2 Ikan 6
2.2.1 Logam Berat di Ikan 6
2.2.2 Mekanisme Logam Berat di Ikan 7
2.2.3 Dampak Logam Berat yang Dikonsumsi dari Ikan 8
2.3 Estimasi *Intake* dan Analisis Risiko Kesehatan 11
2.4 Studi-studi Terdahulu 12
BAB III METODE PENELITIAN 16
3.1 Prosedur Penelitian 16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian 17
3.2.1 Titik Pengambilan Sampel 17
3.2.2 Pengambilan Sampel dan Pengawetan 24
3.3 Alat dan Metode Pengujian 24

3.3.1 Preparasi Sampel 24
3.3.2 Destruksi Sampel 25
3.3.3 Pengujian Logam Berat 26
3.4 Prosedur Analisis Risiko Kesehatan Melalui *Intake Oral* (Ingesti) 27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Identifikasi Ikan 31
4.2 Konsentrasi Logam Berat 35
4.2.1 Berdasarkan Jenis Ikan 35
4.2.2 Berdasarkan Zona 43
4.3 Estimasi Intake dan Analisis Risiko Kesehatan 47
4.3.1 Hasil Wawancara Masyarakat 47
4.3.2 Identifikasi Bahaya 48
4.3.3 Analisis Dosis-Respons 50
4.3.4 Analisis Pajanan (Estimasi *Intake*) 53
4.3.5 Karakteristik Risiko 61
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 63
5.1 Simpulan 63
5.2 Saran 64
DAFTAR PUSTAKA 66
LAMPIRAN 73

DAFTAR NOTASI

C = konsentrasi sampel, mg/kg bb

Ci = konsentrasi sampel pembacaan AAS, mg/L

Cb = konsentrasi blanko pembacaan AAS, mg/L

Fc = faktor pengenceran

W = berat kering sampel, kg

Fp = faktor pemekatan

Vt = volume akhir sampel setelah destruksi, L

I = Asupan (*intake*), mg/kg/hari

C = konsentrasi *risk agent*, mg/kg

R = laju asupan atau konsumsi, g/hari

fE = frekuensi pajanan

Dt = durasi pajanan, tahun (*real time* atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai *default residential*)

Wb = Berat badan, kg

tavg = Periode waktu rata-rata (Dt x 365 hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

kg bb = Kilogram berat basah

DAFTAR TABEL

1 Pengaruh Logam Berat Terhadap Manusia 9

2 Nilai default faktor-faktor pemajanan menurut US-EPA (1990) 11

3 Studi tentang Logam Berat di ikan dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan 12

4 Informasi Titik Pengambilan Sampel 19

5 Batas Maksimum 29

6 Identifikasi Sampel ikan 32

7 Identifikasi Bahaya 48

8 Analisis Dosis-Respons 51

DAFTAR GAMBAR

1 Mekanisme Logam Berat 7
2 Peta Titik Pengambilan Sampel 17
3 Diagram Kadar Air ikan 34
4 Diagram Konsentrasi Logam Berat (1) 35
5 Diagram Konsentrasi Logam Berat (2) 39
6 Diagram Konsentrasi Logam Berat (3) 40
7 Diagram Konsentrasi Logam Berat Menurut Zona 44
8 Diagram Persentase Logam Berat Melebihi Batas Maksimum 46
9 Diagram Estimasi Intake Pada ikan (1) 55
10 Diagram Estimasi Intake Pada ikan (2) 57
11 Diagram Estimasi Intake Pada Ikan (3) 59

DAFTAR LAMPIRAN

1 Sampel S1 (Ikan Cere) 73
2 Sampel S2-A (Ikan Wader) 73
3 Sampel S2-B (Ikan Lele) 73
4 Sampel S2-C (Ikan Gabus) 74
5 Sampel S3 (Ikan Wader) 74
6 Sampel S3-A (Ikan Wader) 74
7 Sampel S3-B (Ikan Nila) 75
8 Sampel S4-A (Ikan Wader) 75
9 Sampel S4-B (Ikan Sapu-sapu) 75
10 Sampel S4-C (Ikan Gabus) 76
11 Sampel S5-A (Ikan Red Devil) 76
12 Sampel S5-B (Ikan Sapu-sapu) 76
13 Sampel S5-C (Ikan Gabus) 77
14 Sampel S5-D (Ikan Nila) 77
15 Sampel S5-E (Ikan Red Devil) 77
16 Sampel S6-A (Ikan Nila) 78
17 Sampel S6-B (Ikan Nilem) 78
18 Sampel S6-C (Ikan Sapu-sapu) 78
19 Sampel S7-A (Ikan Nila) 79
20 Sampel S7-B (Ikan Wader) 79
21 Sampel S7-C (Ikan Sapu-sapu) 79
22 Hasil Wawancara Masyarakat 80
23 Data Konsentrasi Logam Berat 82
24 Konsentrasi ikan Menurut Zona 84
25 Data Analisis Pajanan (Estimasi Intake) 85
26 Data Karakteristik Risiko 92
27 Data Kadar Air ikan 93
28 Prosedur Preparasi Sampel 94

29 Prosedur Destruksi Sampel..... 95
30 Prosedur Pengujian Logam Berat 97

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran adalah masuknya sebuah zat pencemar ke lingkungan melebihi ambang batas daya tampung lingkungan (Palar, 2008). Dengan banyaknya aktifitas masyarakat yang dilakukan di sepanjang sungai maupun keadaan masuknya pencemar dari alam sendiri, maka perlu diperhatikan kualitas sungai dan biota air yang hidup di dalamnya. ikan merupakan salah satu biota air yang dapat menjadi indikator dalam terjadinya pencemaran. Logam hampir selalu ditemui di dalam air sungai, walau jumlahnya terbatas. Jika kandungan logam berlebih maka hal ini memungkinkan dalam memengaruhi pencemaran air sungai dan terakumulasi di ikan dan menyebabkan penurunan risiko kesehatan. Terutama jika masyarakat mengonsumsi ikan maupun air dari sungai tersebut.

Sungai Code atau Sungai Boyong (di bagian hulu) merupakan sungai yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan sungai yang bermata air di kaki Gunung Merapi, Sungai Code menjadi salah satu sungai utama bagi masyarakat Daerah Istimewa Yogyakarta. Masyarakat yang dekat dengan daerah aliran Sungai Code juga masih melakukan kegiatan memancing dan mengonsumsi ikan. Masyarakat yang mengonsumsi ikan dari Sungai Code berpotensi untuk turut mengakumulasi logam berat dan berpotensi menyebabkan risiko kesehatan.

Keberadaan logam berat yang terakumulasi di sungai dan ikan akhirnya memunculkan penelitian-penelitian terkait hal tersebut, misalnya pada tahun 2015, sebuah penelitian di daerah perairan Sungai Wakak, Kendal, mendapatkan kontaminasi logam berat Kadmium (Cd) sebesar <0,01 mg/kg sedangkan konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada ikan melebihi batas maksimum yaitu 0,61 mg/kg sampai 2,08 mg/kg (Marwah *et al*, 2015). Sementara untuk kandungan logam berat di perairan Sungai Code pada tahun 2020 adalah konsentrasi Mn antara 1,095-5,509 mg/L, konsentrasi Fe antara 1,975-15,662 mg/L, konsentrasi Cr antara 0,025-0,156 mg/L, dan konsentrasi Pb antara 0,898-7,047 mg/L dimana melebihi

baku mutu air (Abdi, 2020). Keberadaan logam berat dapat berbahaya karena bersifat akumulatif sehingga dapat terakumulasi di jaringan tubuh organisme dalam jangka waktu lama melalui rantai makanan sehingga dampaknya akan berujung pada manusia. Logam berat terdiri dari logam berat esensial dan non-esensial. Logam berat esensial adalah logam yang diperlukan keberadaannya dalam tubuh manusia namun hanya dalam batas kosentrasi tertentu sedangkan logam berat non-esensial adalah logam berat yang kandungannya tidak diperlukan oleh tubuh dan justru berbahaya bagi tubuh. Sejumlah penyakit yang dapat ditimbulkan oleh logam berat diantaranya adalah penyakit Parkinson, mengganti fungsi enzim, mengganggu fungsi sistem syaraf, dan sebagainya (BPOM RI, 2010).

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dilakukan penelitian untuk mengetahui risiko kesehatan masyarakat ditinjau beberapa seberapa banyak laju asupan (*intake*) dari parameter logam berat pada ikan air tawar di Sungai Code. Pada penelitian sebelumnya sampel ikan yang digunakan hanya dari 1 jenis ikan dan satu jenis logam. Oleh karena itu, penelitian dengan beberapa jenis ikan menarik untuk diteliti terutama dengan parameter logam berat yang beragam, diantaranya adalah Pb, Mn, Fe, Cu, Cr, Cd.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada maka dalam penelitian ini dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa kandungan logam berat (Pb, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd) pada ikan di Sungai Code?
2. Bagaimana risiko kesehatan masyarakat di sekitar Sungai Code ditinjau dari intake logam berat yang berasal dari konsumsi ikan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui kandungan logam berat (Pb, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd) pada ikan di Sungai Code

2. Mengestimasi *intake* dan risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi ikan di Sungai Code

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain :

1. Memperoleh data kandungan logam berat (Pb, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd) pada ikan di Sungai Code
2. Mengestimasi *intake* dan risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi ikan di Sungai Code

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2019 hingga bulan Maret 2020 di sepanjang aliran Sungai Code, D.I. Yogyakarta dan pada musim hujan.
2. Jenis ikan yang diambil untuk penelitian adalah sejumlah ikan yang dapat ditemukan di Sungai Code seperti ikan Wader (*Barbodes binotatus*), ikan Nila (*Oreochromis niloticus)*, ikan Nilem (*Osteochilus vittatus*), ikan Gabus (*Channa striatta*), ikan Lele (*Clarias betrachus)*, ikan Sapu-sapu (*Hypostosmus hyposarcus),* dan ikan Red Devil (*Amphilopus labiatus)*.
3. Perlakuan komposit saat destruksi untuk masing-masing sampel.
4. Pengujian kadar logam berat (Pb, Cd, Cu, Cr, Mn, Fe) pada sampel ikan diambil di Sungai Code dan diuji di Laboratorium FTSP Universitas Islam Indonesia.
5. Standar Nasional Indonesia yang digunakan untuk penelitian ini adalah antara lain :
    - SNI 2354.5:2011 tentang Penentuan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Produk Perikanan. Sesuai untuk acuan pengujian logam berat untuk sampel ikan di Indonesia.
    - SNI 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam berat

Logam berat adalah istilah umum untuk unsur logam yang memiliki atomberat lebih tinggi dari 40,04 (massa atom Ca). Logam berat masuk ke lingkungan dengan cara alami dan antropogenik. Sumber tersebut meliputi: alami pelapukan kerak bumi, pertambangan, erosi tanah, pembuangan industri, limpasan perkotaan, limbah cair, agen pengendali hama atau penyakit yang diterapkan pada tanaman, dampak polusi udara, dan lain-lain. Beberapa contoh logam berat adalah Cd, Cr, Cu, dan Pb (Yu *et al*, 2005).

Sungai Code difungsikan untuk mengairi area pertanian di Sleman sampai Bantul serta digunakan untuk beragam aktifitas seperti untuk perikanan, mandi, cuci, kakus, dan sebagainya. Bersamaan dengan bertambahnya masyarakat yang tinggal di kawasan Sungai Code sehingga menjadi area pemukiman. Oleh karena itu, masalah-masalah di daerah aliran Sungai Code pun menjadi beragam (Widodo *et al*, 2013). Menurut Palar (2008), keberadaan logam dalam perairan dapat berasal dari sumber-sumber alamiah dan dari aktivitas manusia. Sumber-sumber logam alamiah yang masuk ke dalam badan perairan bisa meliputi pengikisan dari batu mineral disekitar perairan. Selain itu, partikel-partikel logam yang terdapat di udara dapat masuk ke badan air akibat terbawa oleh hujan (Palar, 2008). Edokpayi *et al* (2016) menyatakan bahwa pencemaran logam berat pada air dapat diakibatkan oleh lindi yang masuk ke badan air. Lindi yang dibentuk oleh reaksi biokimia kaya akan kandungan organik dan dapat melarutkan banyak logam seperti Pb, Cu, Zn, Cd, dan Mn. Logam mudah teradsorpsi ke sedimen dan dapat mengakibatkan sumber sekunder dari kontaminasi logam berat dalam air dan biota air. Musim mempengaruhi lingkungan tempat ikan hidup. Pada musim hujan memiliki konsentrasi yang cenderung lebih rendah dari musim kemarau. Karena pada musim hujan kandungan logam di perairan mengalami peluruhan dan musim kemarau kandungan logam akan lebih terkonsentrasi (Darmono, 2008). Meskipun

demikian, ikan sudah terus-menerus mengakumulasi ikan dari lingkungannya terlepas dari perbedaan musim.

2.2 Ikan

Selain mampu terkontaminasi di air dan sedimen, logam berat juga dapat terakumulasi di makhluk hidup, salah satunya ikan. Banyak jenis ikan yang dikembangkan di Indonesia meliputi perikanan air tawar, air asin (laut), dan air payau atau tambak (Mareta dan Sofia, 2011). Jenis-jenis ikan air tawar yang dapat ditemukan di aliran Sungai Code adalah ikan Wader (*Barbodes binotatus*), ikan Nila (*Oreochromis niloticus)*, ikan Nilem (*Osteochilus vittatus*), ikan Gabus (*Channa striatta*), ikan Lele (*Clarias betrachus)*, ikan Sapu-sapu (*Hypostosmus hyposarcus)*, ikan Cere (*Gambusia affinis*), dan ikan Red Devil (*Amphilopus labiatus).* Berdasarkan hasil penelitian Abriana (2017), daging ikan mempunyai komposisi kimia sebagai berikut: karbohidrat 0% sampai 1%, air 60% sampai 84%, lemak 0,1% sampai 2,2%, protein 18% sampai 30%, sisanya mineral dan vitamin.

2.2.1 Logam Berat di Ikan

Salah satu faktor yang mempengaruhi daya racun yang ditimbulkan oleh logam-logam berat adalah fisiologis dari biota organismenya. Proses fisiologi yang terjadi pada setiap biota turut mempengaruhi tingkat logam berat yang menumpuk (akumulasi) dalam tubuh dari biota perairan. Besar kecilnya jumlah logam berat yang terkandung dalam tubuh akan daya racun yang diakibatkan oleh logam berat. Disamping itu proses fisiologi ini turut mempengaruhi peningkatan kandungan logam berat dalam badan perairan. Ada biota-biota tertentu yang memiliki kemampuan menetralisasi (mentoleransi) logam berat tertentu hingga pada konsentrasi tententu pula (mempunyai toleransi tinggi). Sementara itu, biota-biota lainnya yang tidak memiliki kemampuan untuk menetralisasi daya racun oleh logam berat yang masuk (toleransi rendah) (Palar, 2008).

Hati sebagai organ aktif cenderung menumpuk sejumlah besar berat logam melalui pengikatan dengan metalotionin untuk detoksifikasi (Ploetz et al, 2007). Akumulasi dan distribusi logam berat dalam jaringan ikan dipengaruhi oleh

konsentrasi total di lingkungan akuatik dan atribut fisiologis dan ekologis termasuk habitat, perilaku makan, spesies, dan tingkat pertumbuhan (Monikh et al, 2013). Biasanya, ikan demersal yang terkait dengan sedimen menumpuk lebih banyak logam berat di jaringan dibandingkan spesies pelagis dan midwater (Monikh et al, 2012).

Menurut Ochiai (1977) dalam Palar (2008), seorang ahli kimia telah mengelompokkan mekanisme keracunan oleh logam ke dalam 3 (tiga) kategori yaitu :

1. Memblokir atau menghalangi gugus fungsi biomolekul yang esensial untuk proses-proses biologi seperti protein dan enzim
2. Menggantikan ion-ion logam esensial yang terdapat dalam molekul terkait
3. Mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk dai gugus-gugus aktif yang dimiliki oleh biomolekul

2.2.2 Mekanisme Logam Berat di Ikan

Berikut ini gambar mekanisme uptake dan depurasi logam berat pada ikan di sungai.

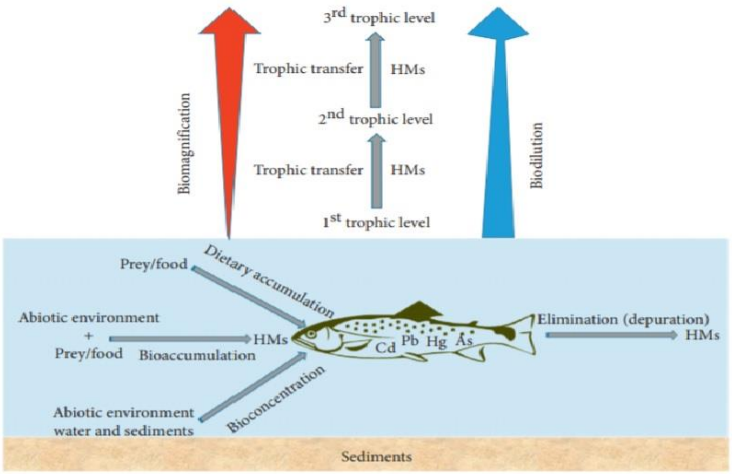


FIGURE 3: Schematic summarizing terms and concepts involved in trophodynamics of heavy metals ([62], used with permission of Tailor and Francis).

Source: Ali et al., 2019 [https://doi.org/10.1155/2019/6730305]

Gambar 1. Mekanisme Logam Berat

Mekanisme logam berat pada ikan dapat berupa akumulasi dan depurasi. Proses *uptake* merupakan proses penyerapan logam dimulai dari logam-logam berat yang dibuang dari kegiatan antropogenik atau dari alam sendiri yang masuk ke badan air kemudian beberapa mengendap di sedimen dan sebagian lainnya masuk ke tubuh ikan kecil yang akan dimakan oleh ikan yang lebih besar sampai ikan kemudian dimakan oleh manusia sesuai rantai makanan. Proses akumulasi adalah dimana logam-logam berat akan diakumulasi di dalam tubuh hewan air karena pengambilan logam berat (*uptake rate*) oleh hewan air lebih cepat dibandingkan dengan proses depurasi (pelepasan) dimana hasil depurasi ikan dapat kembali ke badan air maupun sedimen. Logam berat kemudian terlibat dalam proses enzimatik yang akan terikat dengan protein (*ligan binding*). Hewan air akan mengonsumsi makanan yang mengandung logam berat dan masuk ke alur pencernaan. Dalam alur pencernaan (*gastrointestinal*) melalui dindingnya akan meluncur ke saluran sirkulatori. Dari cairan sirkulatori, bahan-bahan kimia sebagian di metabolisme dan yang lain bertemu dengan jaringan tubuh dan ditimbun dalam jaringan lemak. Proses pelepasan (depurasi) logam berat adalah proses pengeluaran atau peluruhan logam berat yang ada di ikan yang berasal dari ekskresi ikan. Konsentrasi logam berat yang masih ada di badan ikan adalah konsentrasi logam berat yang tertinggal. Jumlah konsentrasi logam berat dalam tubuh ikan dapat dipengaruhi oleh media air yang bersalinitas (Aslin, 2012). Biokonsentrasi merupakan suatu peningkatan konsentrasi polutan di dalam lingkungan. Bioakumulasi adalah penimbunan senyawa dalam makhluk hidup yang ditandai dengan peningkatan konsentrasi. Biomagnifikasi yaitu peningkatan konsentrasi polutan dalam tubuh makhluk hidup melalui sistem rantai makanan (trofik).

2.2.3 Dampak Logam Berat yang Dikonsumsi dari Ikan

Ikan memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat di jaringan mereka dengan penyerapan di sepanjang permukaan insang dan ginjal, hati dan dinding saluran usus ke tingkat yang lebih tinggi daripada konsentrasi lingkungan (Annabi et al, 2013). Akumulasi logam berat oleh organisme dapat bersifat pasif atau selektif; dan perbedaan akumulasi logam berat oleh organisme dapat disebabkan oleh perbedaan penyerapan, pengeluaran atau keduanya. Logam berat non esensial

seperti Kadmium (Cd), Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) tidak esensial perannya dalam organisme hidup; menunjukkan toksisitas yang ekstrim bahkan pada tingkat yang sangat rendah tingkat keterpaparan (logam) dan telah dianggap sebagai ancaman utama bagi segala bentuk kehidupan terutama kesehatan manusia (Rajeshkumar dan Li, 2018).

Bioakumulasi logam terjadi dengan masuknya logam berat dari lingkungan ke dalam tubuh ikan melalui makanan, kulit, dan insang. Sebagian logam berat akan terdepurasi dan sebagian lainnya akan tetap terakumulasi di jaringan otot, lemak, dan daging ikan (Yulaipi, 2013). Efek toksik terjadi saat mekanisme ekskresi, metabolisme, penyimpanan dan detoksifikasi tidak ada lagi mampu mengimbangi penyerapan logam. Sementara itu salah satu contoh pertahanan diri ikan terhadap paparan logam berat adalah keberadaan lendir pada ikan yang bertindak sebagai penghalang fisik dan biokimia yang dinamis, menampilkan banyak peran biologis dan ekologis seperti osmoregulasi, perlindungan terhadap abrasi, perlindungan terhadap racun lingkungan dan toksisitas logam berat, pemberian makanan orang tun, dan perlindungan terhadap patogen (Reverter *et al*, 2018).

Ikan yang mengandung logam berat dan dikonsumsi manusia dapat menyebabkan beragam penyakit. Berikut tersaji tabel penyakit yang dapat ditimbulkan oleh akumulasi logam berat pada ikan yang kemudian dikonsumsi manusia.

Tabel 1. Pengaruh Logam Berat Terhadap Manusia

Logam	Dampak
Kadmium (Cd)	Penyakit itai-itai (mengakibatkan tulang lunak dan gagal ginjal), kerusakan syaraf dan otak (BPOM RI, 2010).
Kromium (Cr)	Sakit perut, muntah, iritasi saluran pernafasan, paparan kronis merusak hati dan ginjal (BPOM RI, 2010).

Timbal (Pb)	Keracunan timbal "plumbism" : hilangnya nafsu makan (anorexia), anemia, konstipasi, lesu atau lekas marah (BPOM RI, 2010).
Tembaga (Cu)	Dalam jumlah besar, tembaga dapat mengakibatkan rasa tidak enak di lidah dan lebih parah dapat mengakibatkan kerusakan pada hati. Dapat memicu penyakit Wilson dan Kinsky (Irianti dan Tanti T, 2017).
Mangan (Mn)	Kerusakan pada sistem syaraf pusat dengan gejala yang mirip dengan penyakit Parkinson (Palar, 2008).
Besi (Fe)	Unsur Fe berikatan dengan Hb darah membentuk haemoglobin yang berfungsi sebagai pengikat oksigen (O_2) dalam darah.

2.3 Estimasi *Intake* dan Analisis Risiko Kesehatan

Analisis risiko kesehatan lingkungan merupakan penilaian risiko kesehatan yang dapat terjadi pada suatu waktu tertentu dan pada populasi manusia berisiko. Analisis risiko juga merupakan suatu alat pengelolaan risiko, yakni proses penilaian atau penaksiran bersama para ilmuwan dan birokrat untuk memprakirakan peningkatan risiko kesehatan pada manusia yang terpajan oleh zat-zat toksik (Djafri, 2014). Analisis risiko kesehatan terdiri dari identifikasi bahaya, analisis pemajanan, analisis dosis-respons, dan karakteristik risiko (Basri *et al*, 2014). Analisis pemajanan perlu memperhatikan semua rute (inhalasi, ingesi dan absorpsi) dan media (udara, air, tanah, makanan, minuman) agar *total intake* bisa dihitung. Analisis rute pajanan biasanya menghasilkan *critical pathway*, yaitu jalur pemajanan yang dominan. *Pathway* ini menyangkut *media lingkungan* apa yang menjadi wahana *risk agent* itu dan dengan cara apa zat itu masuk ke dalam tubuh. Sekali *critical pathway* ditemukan, jalur-jalur lain kemungkinan kontribusinya kecil dan boleh jadi bisa diabaikan. Perhitungan *intake* membutuhkan nilai-nilai *default* beberapa variabel faktor pemajanan (Djafri, 2014). Untuk penelitian ini memakai data rekreasi untuk jalur pemajanan konsumsi ikan pada tabel berikut.

Tabel 2. Nilai default faktor-faktor pemajanan menurut US-EPA (1990)

Penggunaan Lahan	Jalur Pemajanan	Asupan Harian	Frekuensi Pajanan (hari/tahun)	Durasi Pajanan (tahun)	Berat Badan (kg)
Rekreasi	Konsumsi ikan lokal	54 g	350	30	70 (dewasa)

2.4 Studi-studi Terdahulu

Berikut ini merupakan studi-studi sebelumnya terkait dengan kandungan logam berat di ikan dan analisis risiko kesehatan lingkungan.

Tabel 3. Studi tentang Logam Berat di ikan dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

No	Nama Studi	Penulis	Tahun Terbit	Jurnal	Keterangan
1	*Assessment of potentially toxic heavy metals and health risk in water, sediments, and different fish species of River Kabul, Pakistan*	Hazrat Ali, Ezzat Khan	2018	*Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.*	Studi tentang potensi toksisitas logam berat dan risiko kesehatan pada beberapa jenis ikan di Sungai Kabul, Pakistan menggunakan perhitungan estimasi intake mingguan (*Estimation Weekly Intake/EWI*) untuk risiko kesehatan dengan konsumsi ikan.

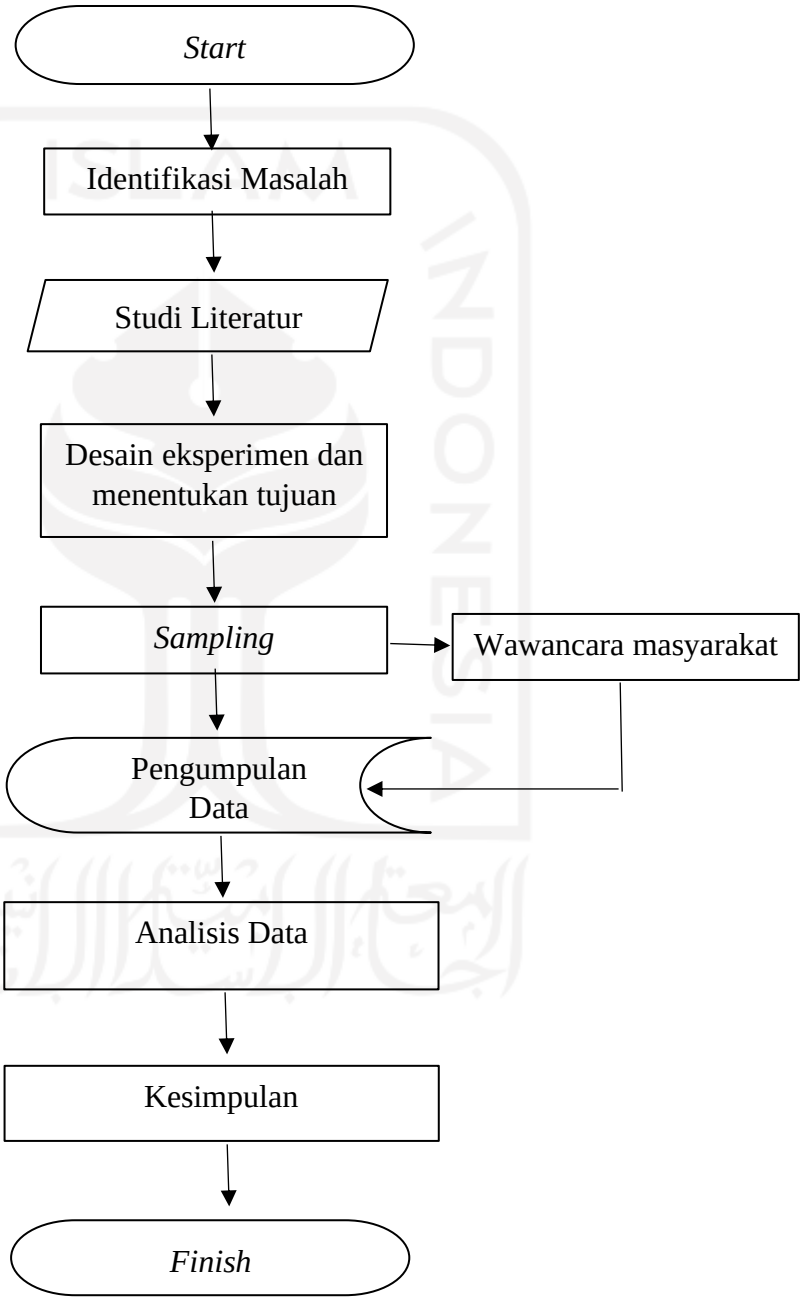
2	*Determination of Heavy Metals in Freshwater Fishes of the Tigris River in Baghdad*	Montazer Mensoor, Ali Said	2018	Fishes. MDPI.	Studi tentang kandungan logam berat Cd, Pb, Cu, Cr, Zn pada ikan di Sungai Tigris, Baghdad.
3	*Assessment of heavy metals in foods around the industrial areas: Health hazard inference in Bangladesh*	Saiful Islam, Ram Proshad, Mohammad Asadul Haque, Fazlul Hoque, Shahin Hossin & Nazirul Islam Sarker	2018	*Geocarto International*	Studi tentang logam berat makanan menggunakan perhitungan intake harian (*Estimation Daily Intake*/EDI), risiko non-karsinogenik (*Target Quotient Hazard*/THQ), dan risiko karsinogenik (*Target Risk*/TR) pada konsumsi ikan di Bangladesh.

4	*Heavy Metal in Fish: Analysis dan Human Health-A Review*	Fazureen Azaman, Hafizan Juahir, Kamaruzzaman Yunus, Azman Azid, Mohd Khairul Amri Kamarudin, Mohd Ekhwan Toriman, Ahmad Dasuki Mustafa, Mohammad Azizi Amran, Che Noraini Che Hasnam, Ahmad Shakir Mohd Saudi	2015	Jurnal Teknologi *(Sciences & Engineering)*	Review studi tentang analisis logam berat Pb, Hg, dan Cd, Cu, Cr, Mn, Fe, Zn pada ikan dan risiko kesehatannya.

5	Prinsip dan Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	Defriman Djafri	2014	Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas	Studi tentang prinsip dan metode perkiraan risiko kesehatan lingkungan.
6	Kandungan Logam Berat Pb, Hg, Cd, DAN Cu Pada Daging ikan Rejung (*Sillago sihama*) di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah	Nica Cahyani, Djamar T. F Lumban Batu, Sulistiono	2016	Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia	Studi tentang kandungan logam berat dalam satu spesies ikan Rejung di Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah.
7	Studi Pencemaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada ikan Tongkol (*Euthynnus sp.*) di Pantai Utara Jawa	Izza Hananingtyas	2017	*BIOTROPIC The Journal of Tropical Biology*	Studi tentang spesies ikan Tongkol yang tercemar logam berat Pb dan Cd di Pantai Utara jawa.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

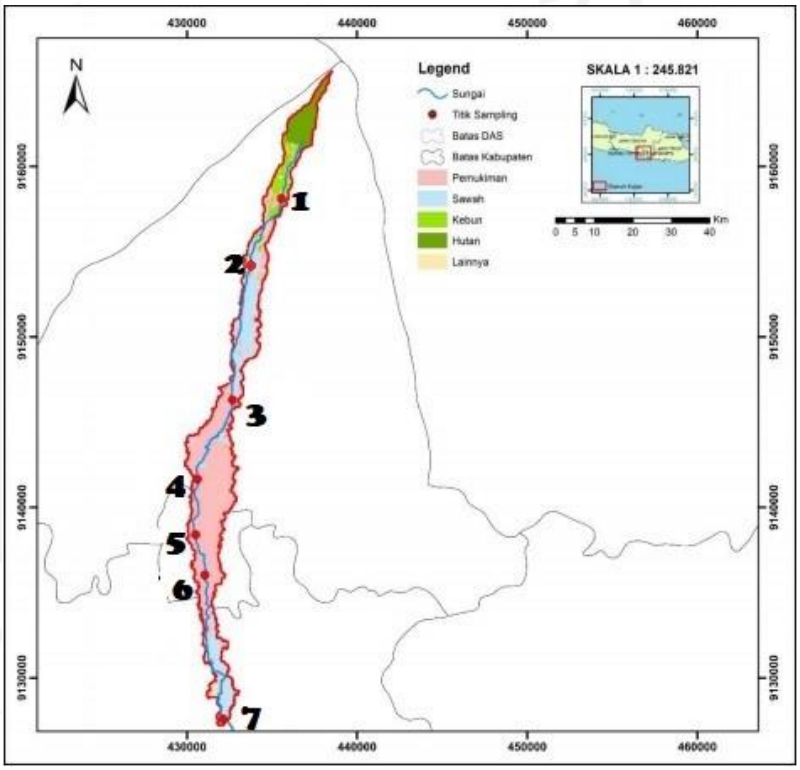


3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pengambilan sampel menggunakan rentang 2,5 bulan dimulai dari akhir Desember 2019 sampai dengan akhir bulan Februari 2020 dengan kondisi musim hujan. Sedangkan pengujian sampel dimulai dari bulan Januari sampai bulan Juli 2020. Sampel ikan di Sungai Code dipancing masyarakat kemudian dimasukkan ke dalam *ziplock bag* lalu ke dalam *coolbox* berisi es batu.

3.2.1 Titik Pengambilan Sampel

Penentuan titik pengambilan sampel berdasarkan fungsi tata guna lahan dan studi sebelumnya. Berikut peta titik sampling.



Gambar 2. Peta Titik Pengambilan Sampel

Dalam peta titik pengambilan di atas, setiap titik diberi penomoran dengan rencana pembagian 3 zona sesuai fungsi tata guna lahan. Tiga zona yakni Zona A berwarna hijau dan biru, Zona B berwarna merah dan Zona C berwarna biru muda. Masing-masing zona mempresentasikan karakteristik dari lokasi sampling. Zona A mempresentasikan karakteristik lokasi alamiah sungai sebelum terdapat banyak

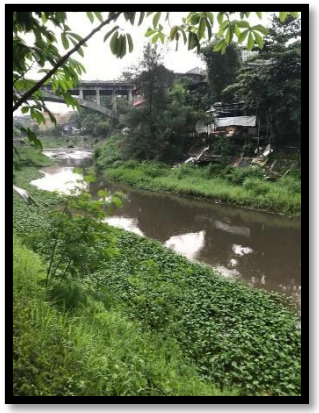
interaksi dengan aktivitas manusia. Zona B mempresentasikan kondisi sungai di Kawasan pertokoan, industri, dan pemukiman masyarakat. Zona C mempresentasikan karakteristik akhir sungai dengan tata guna lahan sebagian besar persawahan dan permukiman. Untuk Zona C hanya terdapat satu titik pengambilan saja karena mempertimbangkan dari kebiasaan konsumsi dan perilaku memancing masyarakat sekitar sungai Code yang sudah sulit untuk ditemukan. Pada daerah semakin hilir, masyarakat yang memancing ikan di Sungai Code untuk dikonsumsi lebih sedikit dibandingkan Zona A dan B sehingga titik pengambilan dapat menjadi satu titik yang mewakilkan bagian hilir sungai. Berikut ini tabel informasi koordinat dan keterangan lokasi, lebar sungai, zona, karakteristik dan gambar untuk setiap titik *sampling*.

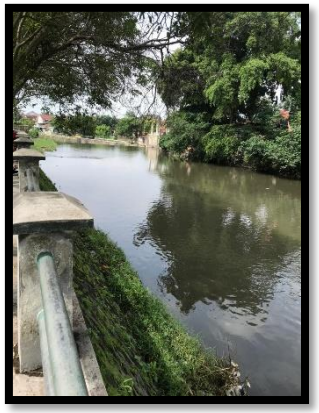
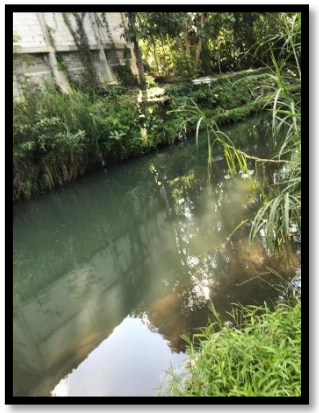
"Bagian ini sengaja dikosongkan."

Tabel 4. Informasi Titik Pengambilan Sampel

Zona	Kode Titik	Koordinat	Lokasi	Lebar Sungai (m)	Karakteristik Lokasi	Gambar Lokasi
A	1	7°36’57.5”S 110°24’55.5” E	Jembatan Boyong - Kaliurang Barat, Kaliurang Hargobinangun, Kab. Sleman, D.I Yogyakarta	5,90	Pada titik paling hulu Sungai Code ini sangat jarang ditemukan masyarakat yang memancing. Kondisi fisik lingkungan di lokasi ini sangat baik dengan kondisi air yang jernih dan masih terdapat banyak pepohonan asri serta keberadaan hewan indikator lingkungan seperti capung yang bisa ditemukan disini.	

A	2	7º38’57.5”S 110º24’02.4” E	Jembatan DAM Kemput - Jl. Turgo, Purwobinangun, Pakem, Kab. Sleman, D.I Yogyakarta	6,70	Di Jembatan DAM Kemput Sungai Code, daerah sekitarnya masih dapat ditemukan orang memancing. Namun, praktik penambangan pasir yang ada di sekitar Sungai Code pada lokasi 2 ini menyebabkan sebagian masyarakat memancing di anak sungai maupun percabangannya. Kondisi lingkungan masih cukup baik, dapat ditemukan banyak pepohonan dan air masih cukup jernih.	
A	3	7º42’57.6”S 110º23’21.4” E	Jembatan Lojajar - Jl. Pelajar, Sinduharjo, Ngaglik, Kab. Sleman, D.I Yogyakarta	9,55	Jembatan Lojajar berada di dalam komplek pemukiman warga dan banyak terdapat orang memancing. Kondisi lingkungan didominasi oleh lahan pertanian, ruko pertokoan, dan pemukiman masyarakat.	

B	4	7º45’43.4”S 110º22’13.1” E	Jembatan Pogung Baru - Jl. Jembatan Baru UGM, Pogung Kidul, Sinduandi, Mlati, Kab. Sleman, D.I Yogyakarta	25,00	Jembatan Pogung Baru berada di daerah kampus UGM sehingga kondisi lingkungannya didominasi oleh pemukiman, pertokoan, bengkel, kampus, dan restoran. Kondisi air sungai cukup keruh. Masyarakat masih banyak memancing di lokasi ini.	
B	5	7º47’39.1”S 110º22’10.4” E	Jembatan Jambu - Jl. Mas Suharto Jambu, Mergangsan, Kota Yogyakarta, D.I. Yogyakarta	14,25	Jembatan Jambu berada pada daerah yang didominasi pertokoan, permukiman, pertokoan yang menjual piala, tempat makan, dan dekat dengan daerah wisata Jalan Malioboro. Kondisi air sungai keruh. Masyarakat sekitar sungai masih banyak yang memancing dan mengonsumsi ikan dari Sungai Code.	

B	6	7º48’51.8”S 110º22’29.2” E	Jembatan Keparakan Kidul - Jl. Keparakan, Keparakan, Mergangsan, Kota Yogyakarta, D.I Yogyakarta	22,20	Jembatan Keparakan Kidul berada di daerah yang didominasi pemukiman, pertokoan, perkantoran, SPBU dan dekat dengan gedung Fakultas Hukum UII. Kondisi air sungai cukup keruh. Masih terdapat masyarakat yang memancing di daerah ini.	
C	7	7º53’34.2”S 110º23’07.2” E	Jembatan Kembang Songo - Jl. Imogiri Timur, Kembangsongo, Puton, Trimulyo, Jetis, Kab.	13,20	Jembatan Kembang Songo berada di daerah yang didominasi pemukiman warga dan lahan pertanian. Sungai ini merupakan bagian hilir sungai Code dan hampir berada di pertemuan antara Sungai Gajahwong dan Sungai Code sebelum mengalir ke Laut Selatan. Di lokasi ini sangat sulit ditemukan masyarakat yang	

			Bantul, D.I Yogyakarta		memancing ikan langsung dari Sungai Code.	

"Bagian ini sengaja dikosongkan."

3.2.2 Pengambilan Sampel dan Pengawetan

Pengambilan sampel ikan menggunakan metode memancing (ditangkap menggunakan pancingan bukan dijala). Sebagian besar sampel ikan diambil dari masyarakat yang memancing. Hal ini karena masyarakat jauh lebih mengenal daerah sekitar Sungai Code dan bertujuan untuk mengetahui jumlah kuantitas hasil pancingan ikan yang akan dikonsumsi oleh masyarakat itu sendiri. Banyaknya pengambilan jumlah ikan dilakukan sesuai dengan kebiasaan masyarakat saat memancing untuk mengetahui batas konsumsi masyarakat sendiri. Sementara itu untuk pengawetan, sampel akan dimasukkan ke dalam ziplock dan *coolbox* selama diperjalanan lalu dinginkan dalam *freezer* bersuhu -22^{o}C untuk memperlambat pembusukan dan menghindari pertumbuhan jamur maupun mikroorganisme lain.

3.3 Alat dan Metode Pengujian

Alat yang digunakan dalam pengujian logam berat pada ikan antara lain: timbangan analitik, cawan porselen, erlenmeyer, corong kaca, kertas Whatman No. 42, spatula, mortar dan alu, *hot plate*, lemari asam, pipet ukur 5 mL, tabung vial 20 mL, dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Metode pengujian terdapat tiga tahap yaitu preparasi sampel, destruksi sampel, dan pengujian logam berat.

3.3.1 Preparasi Sampel

Pengambilan sampel untuk pengujian hanya dari daging ikan saja karena umumnya sebagian besar masyarakat lebih banyak mengkonsumsi daging ikan dibanding bagian ikan yang lain. Prinsip pengujian logam berat yaitu pada sampel ikan dilepaskan dari jaringan daging contoh dengan cara digesti kering pada suhu 105^{o}C. Sampel didestruksi dan logam pada sampel kemudian diikat dalam asam nitrat (HNO_3) teknis 65%. Larutan kemudian ditambahkan hidrogen peroksida (H_2O_2) teknis 30% untuk menghilangkan kandungan lemak pada sampel. Persiapan sampel dimulai dari mengetahui morfologi ikan seperti mengukur panjang ikan, berat basah keseluruhan atau satu ekor ikan. Lalu daging ikan digerus dan dihaluskan (dapat menggunakan *blender* atau dicincang sampai halus). Sampel ikan kemudian diletakkan di cawan porselen yang sebelumnya telah dihitung berat cawan porselennya, kemudian sampel di dalam cawan porselen ditimbang berat

basahnya. Setelah itu sampel ikan di oven dengan suhu 105^{o}C selama 2-3 jam. Sampel ikan lalu dikeluarkan dari dalam oven dan didinginkan dalam desikator selama 10 menit. Sampel ikan kemudian ditimbang berat keringnya untuk mengetahui kandungan air dalam sampel dan ditumbuk dengan mortar serta alu sampai cukup halus. Penumbukan ini berguna agar ukuran sampel semakin kecil dan memudahkan untuk melarutkannya pada saat destruksi. Detail analisis dapat dilihat pada Lampiran 25.

3.3.2 Destruksi Sampel

Destruksi adalah suatu kegiatan pemecahan senyawa menjadi unsur-unsurnya sehingga dapat dianalisis atau disebut juga perombakan, yaitu dari bentuk organik logam menjadi bentuk logam-logam anorganik (Kristianingrum, 2012). Destruksi ada dua macam, yaitu destruksi basah dan destruksi kering. Pemilihan cara tersebut tergantung pada sifat zat organik, sifat zat antara dalam bahan, mineral yang akan dianalisis serta sensitivitas yang digunakan (Bintang, 2010). Untuk destruksi sampel di penelitian ini adalah destruksi basah. Sampel ikan yang telah ditumbuk, ditimbang di timbangan analitik sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke erlenmeyer. Lalu ditambahkan 45 mL Aquades dan 5 mL HNO_3 65%. Penambahan HNO_3 berfungsi untuk proses oksidasi dan pengikatan logam dalam larutan sampel. Sampel dihomogenkan kemudian dipanaskan di *hotplate*.

Selama destruksi, dilakukan penambahan H_2O_2 30% teknis jenis EMSURE untuk menghilangkan kandungan lemak dalam sampel yang mampu membuat sampel keruh. Penambahan ini dilakukan secara perlahan-lahan sampai lemak hilang dan larutan sampel berwarna kuning jernih atau tidak keruh lagi. Sampel ikan di destruksi sampai 10 mL di dalam lemari asam. Perlakuan ini dilakukan dua kali. Karena menggunakan perlakuan komposit, maka kedua sampel ikan yang sudah didestruksi masing-masing sebanyak 10 mL dicampur dan dihomogenkan di *stirrer*, setelah itu dipanaskan sebentar sampai sampel kurang lebih 15 mL. Setelah larutan sampel didinginkan, lalu disaring dengan kertas Whatman No. 42 dan tambahkan air bebeas mineral sampai 20 mL. Sampel lalu dimasukkan ke dalam botol vial 20 mL.

3.3.3 Pengujian Logam Berat

Sebelum pengujian sampel logam berat maka dibuat larutan deret standar untuk kalibrasi. Misalnya untuk setiap parameter logam menggunakan 0,1 mg/L, 0,2 mg/L, 0,3 mg/L, 0,4 mg/L, 0,5 mg/L, 0,8 mg/L, 1 mg/L. Sampel ikan yang sudah didestruksi lalu diukur absorbansi dan konsentrasinya di Spekrofotometri Serapan Atom jenis GBC. Panjang gelombang disesuaikan dengan logam berat yang akan diukur. Misalnya: Fe dengan λ = 248,3 nm, Cr dengan λ = 357,9 nm, Mn dengan λ = 279,5 nm, Cu dengan λ = 324,7 nm, Cd dengan λ = 228,8 nm, dan Pb dengan λ = 283,3 nm. Untuk Cr yang diuji adalah total kromium (Cr).

Spektroskopi Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) adalah sebuah metode untuk mengukur konsentrasi sampel suatu logam yang memiliki tingkat ketepatan tinggi sehingga cocok untuk mengukurzat dengan kosentrasi yang rendah (Khopkar, 1990). Menurut Gunanjar (1997) dalam Torowati *et al* (2008) spektrofotometri serapan atom (AAS) adalah suatu metode yang difungsikan untuk menentukan unsur-unsur dalam suatu sampel atau cuplikan yang berbentuk larutan. Larutan sampel tersebut diukur absorbansinya menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom dengan cara melewatkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu pada suatu kuvet. Sebagian cahaya diserap dan sebagian lainnya dilewatkan.

Setelah diukur di SSA, dihitung nilai konsentrasinya rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{(Ci - Cb)x\ Fc\ x\ Vt}{W\ x\ Fp}$$

Keterangan :

C = konsentrasi sampel (mg/kg)

Ci = konsentrasi sampel pembacaan AAS (mg/L)

Cb = konsentrasi blanko pembacaan AAS (mg/L)

Fc = faktor pengenceran

W = berat kering sampel (kg)

Fp = faktor pemekatan

Vt = volume akhir sampel setelah destruksi (L)

3.4 Prosedur Analisis Risiko Kesehatan Melalui *Intake Oral* (Ingesti)

Untuk mengetahui jumlah *intake* masyarakat dilakukan wawancara dengan masyarakat sekitar Sungai Code berdasarkan kuesioner. Data yang akan diperoleh dari wawancara adalah banyak konsumsi, frekuensi konsumsi, cara pengolahan ikan, dan tujuan pengambilan ikan.

Prosedur analisis risiko kesehatan melalui *intake oral* atau ingesti menggunakan perhitungan konsumsi ikan oleh masyarakat pada setiap orang. Sebelum melakukan perhitungan intake untuk analisis data, maka terlebih dahulu dilakukan wawancara dengan masyarakat lokal atau sekitar daerah Sungai Code pada setiap titik. Isi wawancara meliputi seberapa banyak bobot ikan (dalam kilogram) tersebut setiap kali konsumsi, frekuensi makan ikan tersebut dalam seminggu, siapa saja yang mengonsumsi ikan dalam setiap KK (rumah), dan cara pengolahan ikan untuk konsumsi. Sehingga akan didapatkan data untuk dianalisis risiko kesehatannya melalui jalur pajanan oral.

Analisis risiko kesehatan terdiri dari empat tahap yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis-respons, analisis pajanan, dan karakteristik risiko. Data identifikasi bahaya dari agen risiko dimuat dalam sebuah tabel. Analisis dosis-respons yaitu mencari nilai RfD dan atau RfC dari suatu agen diteliti dan dampak yang berpotensi dimunculkan oleh agen terhadap tubuh manusia. Dosis referensi (RfD) dan referensi konsentrasi (RfC) adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai *Risk Quotient* (RQ) yang aman pada efek non-karsinogenik suatu agen risiko, sedangkan *Slope Factor* (SF) yaitu referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik (Direktorat Jendral PP dan PL, 2012).

Analisis pemajanan atau *exposure assessment* yang disebut juga penilaian kontak, bertujuan untuk mengenali jalur-jalur pajanan *risk agent* agar jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi berisiko bisa dihitung (Basri *et al*, 2014). Data dan informasi yang dibutuhkan untuk menghitung asupan adalah semua variabel yang terdapat dalam persamaan (1) berikut.

$$I = \frac{C\ x\ R\ x\ fE\ x\ Dt}{Wb\ x\ t\ avg}$$

Keterangan :

- I : Asupan (*intake*), mg/kg/hari
- C : konsentrasi *risk agent*, mg/kg
- R : laju asupan atau konsumsi, g/hari
- fE : frekuensi pajanan
- Dt : durasi pajanan, tahun (*real time* atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai *default residential*)
- Wb : Berat badan, kg
- tavg : Periode waktu rata-rata (Dt x 365 hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

Langkah selanjutnya adalah karakteristik risiko, yaitu penentuan tingkat risiko apakah pada konsentrasi tertentu yang dianalisis berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat. Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (*RQ),* tingkat risiko untuk efek-efek nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk (ECR)* untuk efek-efek karsinogenik. *RQ* dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik (*Intake*) *risk agent* dengan *RfD* atau *RfC*-nya menurut persamaan (3) dibawah ini.

$$RQ = \frac{Intake\ (\frac{\frac{mg}{kg}}{hari})}{RfD\ atau\ RfC}$$

Sedangkan untuk zat yang cenderung bersifat karsinogenik adalah menggunakan ECR dengan mengalikan Intake dengan *Slope Factor* (SF) rumus (4) dibawah ini.

ECR = Intake (*mg/kg/hari*) x SF

Apabila nilai RQ melebihi 1 (satu) dan nilai ECR melebihi nilai 10^{-4} maka perlu dilakukan manajemen risiko (Rahman, 2007). Setelah menghitung konsentrasi logam berat, banyak *intake* dan penentuan RQ, selanjutnya data akan diolah secara statistik dengan diagram untuk mengetahui gambaran konsentrasi logam berat pada setiap jenis ikan, kadar air setiap ikan pada masing-masing lokasi, dan diagram estimasi intake.

Jika ada hasil analisis risiko yang tidak aman, maka akan dilakukan pengelolaan risiko dengan menentukan batas aman. Berikut ini merupakan rumus untuk memperkirakan batas aman.

Penentuan konsentrasi aman agen non-karsinogenik dalam rumus (5).

$$C(a) = \frac{RfD\ x\ Wb\ x\ t\ avg}{R\ x\ tE\ x\ fE\ x\ Dt}$$

Penentuan konsentrasi aman agen karsinogenik dalam rumus (6).

$$C(a) = \frac{\left(\frac{0{,}0001}{SF}\right) x\ Wb\ x\ 70\ x\ 365}{R\ x\ fE\ x\ Dt}$$

Penentuan laju konsumsi aman agen non-karsinogenik dalam rumus (7).

$$R(a) = \frac{RfD\ x\ Wb\ x\ t\ avg}{C\ x\ tE\ x\ fE\ x\ Dt}$$

Penentuan laju konsumsi aman agen karsinogenik dalam rumus (8).

$$R(a) = \frac{\left(\frac{0{,}0001}{SF}\right) x\ Wb\ x\ 70\ x\ 365}{C\ x\ fE\ x\ Dt}$$

Berikut ini merupakan tabel batas maksimum logam-logam berat :

Tabel 5. Batas Maksimum

Logam Berat	Batas Maksimum	Referensi
Cd	0,5 mg/kg	(Badan Standar Nasional, 2009)
Cr	<1 mg/kg	FAO (Nurkhasanah, 2015)
Cu	1,0 mg/kg	(FAO/WHO, 2004)

Logam Berat	Batas Maksimum	Referensi
Pb	0,4 mg/kg	(Badan Standar Nasional, 2009)
Mn	0,2 mg/kg	(WHO, 2004)
Fe	1 mg/kg	(Badan Standar Nasional, 2009)

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Ikan

Sungai Code dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga zona yang mempresentasikan kondisi wilayah yakni zona A (hulu), zona B (tengah), zona C (hilir). Pembagian dan karakteristik masing-masing zona telah dijelaskan dalam Subbab 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian. Berikut tabel (6) menyajikan identifikasi ikan dan gambar (3) menyajikan kadar air ikan.

"Bagian ini sengaja dikosongkan."

Tabel 6. Identifikasi Sampel ikan

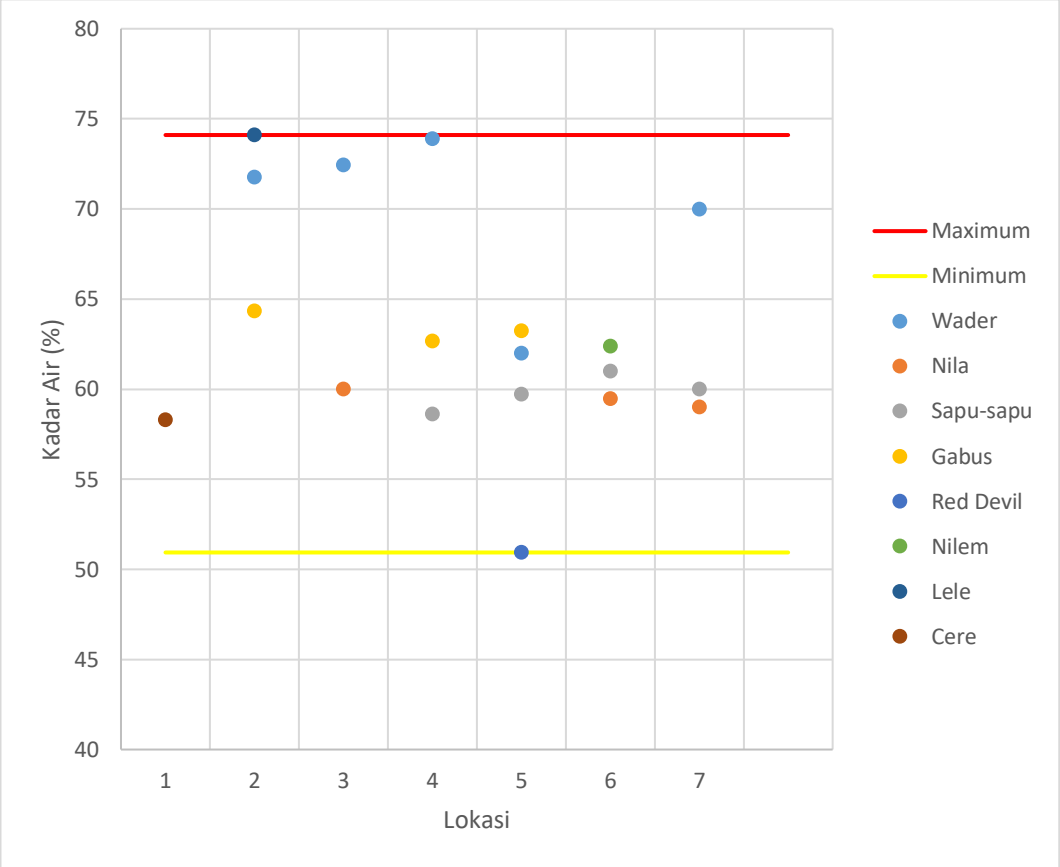
Kode Sampel	Titik/Zona	Nama ikan	Nama Ilmiah	Panjang (cm)	Panjang rata-rata (cm)	Berat Basah (gram)	Berat Basah Rata-rata (gram)	Berat Kering (gram)
S2-A	2/A	Ikan Wader	*Barbodes binotatus*	11,5	10,1 ± 2,9	49,9	29,4	2,0
S3-A	3/A			12,0		20,0		2,0
S3	3/A			8,0		7,5		2,0
S4-A	4/B			12,8		34,0		2,0
S7-B	7/B			6,0		35,9		2,0
S3-B	3/A	Ikan Nila	*Oreochromis niloticus*	13,0	18,1 ± 5,0	68,9	107,1	2,0
S5-D	5/B			15,6		70,2		2,0
S6-A	6/B			19,5		148,8		2,0
S7-A	7/C			24,5		140,3		2,0
S4-B	4/B	Ikan Sapu-sapu	*Hypostosmus hyposarcus*	25,8	32,9 ± 6,7	99,1	194,9	2,0
S5-B	5/B			42,0		374,1		2,0
S6-C	6/B			31,0		150,9		2,0
S7-C	7/C			33,0		155,6		2,0

Kode Sampel	Titik/Zona	Nama ikan	Nama Ilmiah	Panjang (cm)	Panjang rata-rata (cm)	Berat Basah (gram)	Berat Basah Rata-rata (gram)	Berat Kering (gram)
S2-C	2/A	Ikan Gabus	*Channa striatta*	16,5	22,0 ± 8,6	31,0	136,3	2,0
S4-C	4/B			32,0		338,2		2,0
S5-C	5/B			17,5		39,7		2,0
S5-A	5/B	Ikan Red Devil	*Amphilopus labiatus*	17,7	17,1	113,9	119,3	2,0
S5-E	5/B			16,5		124,7		2,0
S6-B	6/B	Ikan Nilem	*Osteochilus vittatus*	13,0	13,0	28,8	28,7	2,0
S2-B	2/A	Ikan Lele	*Clarias betrachus*	22,0	22,0	31,1	31,1	2,0
S1	1/A	Ikan Cere	*Gambusia affinis*	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

**Untuk gambar masing-masing sampel ikan berada pada Lampiran (1) sampai dengan (21)*

**Kode dengan huruf 'S' adalah singkatan dari kata 'Site' atau tempat, kemudian diikuti nomor urutan titik lokasi penelitian lalu kode ikan setiap lokasi. Misalnya sampel S2-A berarti sampel ikan A di Site (lokasi) 2.*

Berikut ini merupakan gambar diagram kadar air masing-masing ikan pada setiap titik lokasi penelitian.



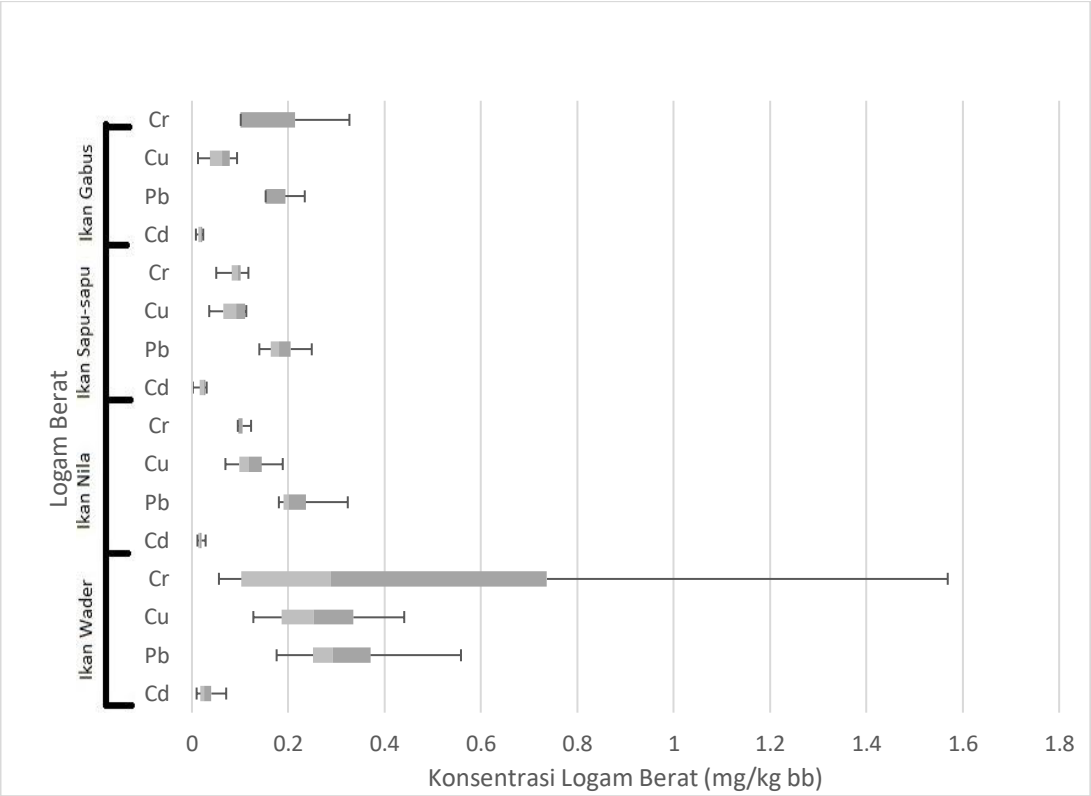
Gambar 3. Diagram Kadar Air ikan

Pada gambar di atas terlihat kadar air ikan berkisar antara 50% sampai dengan 74%. Kadar air ikan Red Devil adalah yang terendah berada di kisaran 50%. Diikuti kadar air ikan Cere 58%, ikan Sapu-sapu 58-62%, ikan Nilem 62%, ikan Gabus 62-65%, dan ikan Wader 69-74%. Setiap jenis ikan memiliki kadar air yang berbeda sesuai dengan kondisi masing-masing ikan. Kandungan air rata-rata dari ikan yang berlemak adalah sekitar 70%. Kadar air normalnya berada di rentang 60% sampai 84% (Abriana, 2017). Berdasarkan hasil penelitian, kadar air cukup berada di rentang normal karena lebih dari 50% sampel ikan memiliki kadar air didalam rentang 60-80%.

4.2 Konsentrasi Logam Berat

4.2.1 Berdasarkan Jenis Ikan

Berikut ini merupakan konsentrasi kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), dan kromium (Cr) pada setiap jenis ikan dalam penelitian.



Gambar 4. Diagram Konsentrasi Logam Berat (1)

Pada gambar diatas, ikan Wader memiliki konsentrasi logam berat dalam berat basah terbesar dibandingkan dengan jenis ikan lain. Hal tersebut diduga karena pengaruh eksternal dari lingkungan air yang mengandung logam berat dan habitat ikan maupun internal seperti usia, ukuran, dan sifat ikan (Ali *et al*, 2018). Menurut Abdi (2020), lima dari enam lokasi *sampling* air di Sungai Code telah tercemar logam berat. Akibat air di Sungai Code tercemar juga mempengaruhi waktu paparan ikan terhadap logam berat di air dan ditunjang sifat akumulatif ikan. Jenis ikan yang berpotensi terhadap paparan logam berat berada pada tempat hidup yang berdekatan dengan sumber masukan cemaran (Prastyo *et al*, 2017). Sehingga, apabila lingkungan sekitarnya mengandung banyak logam berat dan ikan sudah

terpapar lama maka kemungkinan tingkat konsentrasinya juga meningkat. Ikan Wader merupakan ikan famili *Cyprinidae* yang menyukai berenang di bagian tengah kedalaman air sampai dekat dengan dasar sungai (Trijoko *et al*, 2015). Logam berat akan berbahaya bagi ekosistem perairan terutama famili *Cyprinidae* yang memperoleh makan di perairan dalam. Akibatnya spesies ini lebih berpotensi terkontaminasi jika dibandingkan dengan ikan lain (Popek *et al*, 2003).

Konsentrasi logam Kromium (Cr) pada ikan Wader adalah yang tertinggi yaitu pada rentang 0,055-1,568 mg/kg bb. Konsentrasi logam kromium (Cr) melebihi batas maksimum FAO < 1 mg/kg bb yaitu tertinggi berada di konsentrasi 1,568 mg/kg bb (Nurkhasanah, 2015). Logam kromium (Cr) dapat berasal secara alami melalui pembakaran minyak dan batu bara, serta baja kromium. Secara antropogenik, kromium (Cr) dapat dilepaskan ke lingkungan melalui pupuk (Velma *et al*, 2009). Konsentrasi kromium (Cr) bisa ditemukan pada beberapa jenis pupuk seperti kotoran ayam, fosfor, *supper phosphate*, *triple supper phosphate*, *phosphate rock* dan konsentrasi tertinggi (0,290%) ditemukan di *phosphate rock* (Aswood, 2016). Selain pupuk-pupuk tersebut, pemupukan dengan pupuk seng (Zn) dapat meningkatkan konsentrasi logam berat Cd, Pb dan Cr dalam tanah (Nacke *et al*, 2012). Penggunaan pupuk dapat terjadi pada wilayah hulu dan hilir sekitar Sungai Code yang sebagian besar merupakan persawahan. Limbah pupuk ini kemudian secara alami mengalir memasuki badan air Sungai Code. Logam Kromium (Cr) total dapat masuk ke tubuh ikan. Akumulasi kromium terjadi secara berbeda di berbagai macam organ bagian ikan (Aslam dan Yousafzai, 2017). Sehingga yang diukur dalam penelitian ini adalah total kromium (Cr) pada ikan. Instrumen yang digunakan untuk mengukur logam berat total kromium (Cr) adalah Spektrofotometer Serapan Atom-Flame. Total kromium (Cr) memiliki beragam jenis, misalnya kromium heksavalent (Cr(VI)) dan kromium trivalent (Cr(III). Kromium heksavalent (Cr(VI)) jauh lebih berbahaya dibandingkan kromium trivalent (Cr(III)) karena sifatnya yang toksik. Namun, proses-proses kimiawi terjadi di lingkungan air menyebabkan reduksi dari senyawa Cr(VI) yang sangat toksik menjadi Cr(III) yang kurang beracun (Palar, 2004).

Logam Timbal (Pb) memiliki rentang konsentrasi 0,175-0,558 mg/kg bb. Konsentrasi logam berat timbal (Pb) di tubuh ikan Wader melampaui batas maksimum 0,4 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009). Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain tata guna lahan, kondisi wilayah, serta habitat dan sifat ikan. Keberadaan Sungai Code yang mengalir di bagian tengah Provinsi D.I Yogyakarta sangat berpengaruh pada kandungan logam berat timbal (Pb) di air dan juga biota air. Abdi (2020) dalam penelitian kandungan logam berat di Sungai Code Yogyakarta memperoleh hasil pengujian konsentrasi logam Timbal (Pb) di air melebihi baku mutu 0,03 mg/L dan berada di kisaran antara 0,898-7,047 mg/L. Oleh karena itu, konsentrasi logam berat di air berpeluang meningkatkan konsentrasi logam berat di ikan karena proses akumulasi pada daging ikan turut dipengaruhi proses *uptake* (penyerapan) logam berat oleh ikan dari dalam air.

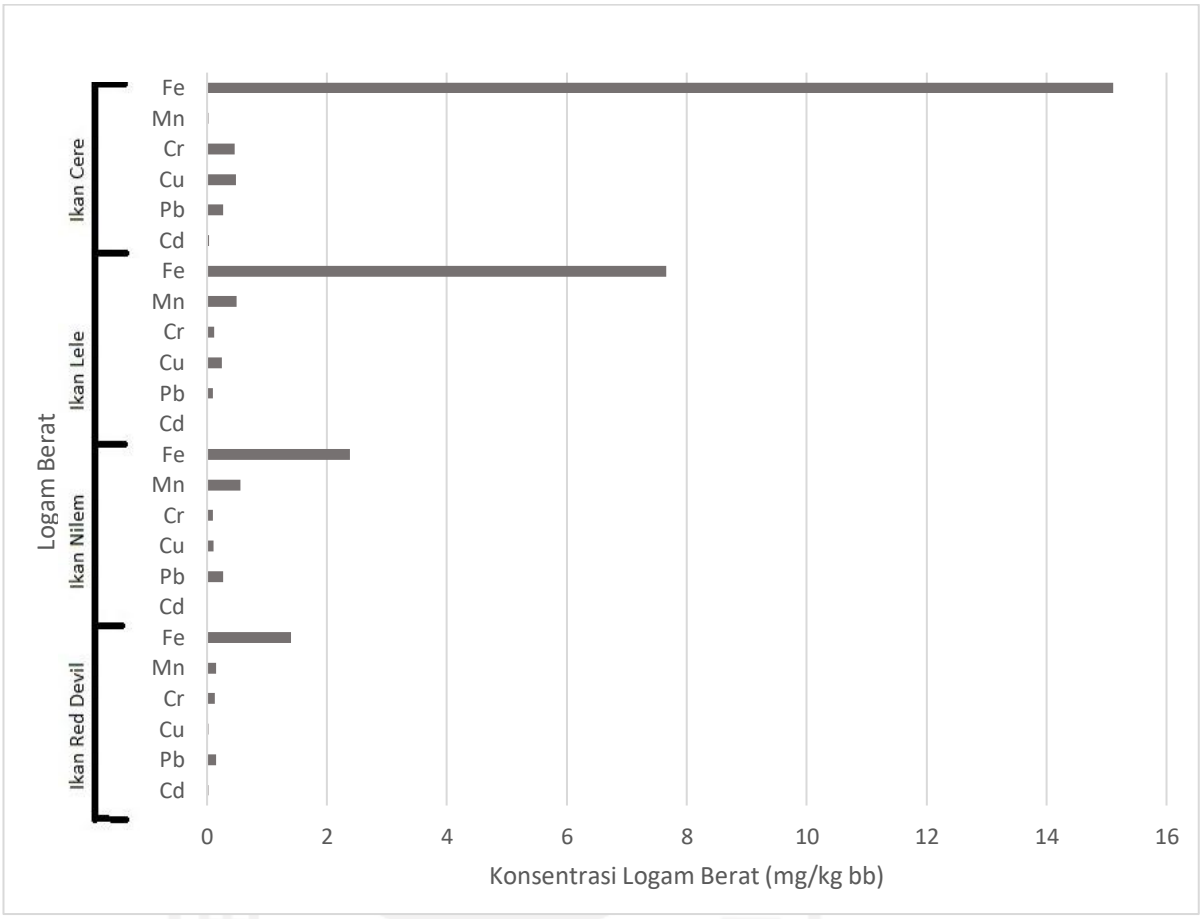
Konsentrasi logam Tembaga (Cu) pada ikan Wader yaitu 0,127-0,440 mg/kg bb dan tidak melebihi batas maksimum 1 mg/kg (WHO, 2004). Logam tembaga (Cu) sangat diperlukan untuk metabolisme ikan (Rosli *et* al, 2018). Logam tembaga (Cu) dapat ditemukan di lingkungan alami dan penting untuk pertumbuhan normal dan metabolisme semua organisme hidup. Namun, hal ini dapat menimbulkan potensi bahaya yang membahayakan kesehatan organisme akuatik dan manusia karena tembaga akan berubah sifatnya menjadi racun pada konsentrasi tinggi. Hasti (2020) menyatakan, meningkatnya konsentrasi logam berat tembaga (Cu) pada bagian hulu Sungai Code disebabkan oleh proses pengendapan bijih tembaga dimana proses tersebut berhubungan dengan aktifitas intrusi magma gunung berapi. Sungai Code pada bagian hulu memang dekat dengan Gunung Merapi. Sementara untuk tengah Sungai Code, diduga bersumber dari masukan limbah dari industri pembuatan piala pada proses galvanisasi yang berjarak sekitar 100 m dari Sungai Code (Hasti, 2020). Konsentrasi logam berat pada ikan Wader dari logam Kadmium (Cd) berkisar 0,009-0,071 mg/kg bb. Konsentrasi logam Kadmium (Cd) di dalam ikan tidak melampaui batas maksimum 0,5 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009).

Selain faktor-faktor tersebut, adanya faktor internal seperti sifat atau kemampuan ikan berupa akumulasi dan depurasi juga turut memengaruhi konsentrasi logam berat di tubuhnya. Akumulasi juga terjadi akibat kecenderungan logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat – zat organik yang ada di dalam tubuh organisme. Logam berat dimasukkan ke dalam sel dan didistribusikan oleh darah ke seluruh jaringan tubuh sehingga dapat terakumulasi pada organ tubuh. Sirkulasi darah menyebabkan logam berat terakumulasi di dalam dinding pembuluh darah dan jaringan ikat yang terdapat disekitar otot ikan (Yulaipi, 2013). Sahetapy (2011) dalam Fadillah *et al* (2017) menyebutkan bahwa akumulasi logam pada ikan dapat berlangsung akibat adanya kontak antara media yang terkontaminasi logam dengan ikan. Kontak terjadi dengan adanya pemindahan zat kimia dari lingkungan air ke dalam atau permukaan tubuh ikan. Masuknya logam ke dalam tubuh ikan dengan tiga cara yaitu jalur makanan, insang, dan difusi melalui permukaan kulit. Sifat ikan berupa depurasi yaitu proses ekskresi logam berat yang ada di ikan juga dipengaruhi oleh kondisi wilayah dimana jumlah konsentrasi logam berat dalam tubuh ikan dapat dipengaruhi oleh media air (Aslin, 2012).

Ikan Gabus mempunyai rentang konsentrasi paling kecil yakni konsentrasi logam Kadmium (Cd) berkisar 0,008-0,023 mg/kg bb, logam Timbal (Pb) 0,152-0,234 mg/kg bb, logam Tembaga (Cu) 0,012-0,093 mg/kg bb, dan logam Kromium (Cr) 0,101-0,326 mg/kg bb. Perbedaan dan keterbatasan jumlah hasil ikan yang diperoleh dari memancing juga turut memengaruhi rentang konsentrasi logam berat masing-masing ikan.

Berikut ini merupakan konsentrasi kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), kromium (Cr), mangan (Mn), dan besi (Fe) pada tiga jenis ikan selanjutnya dalam penelitian.

"Bagian ini sengaja dikosongkan."



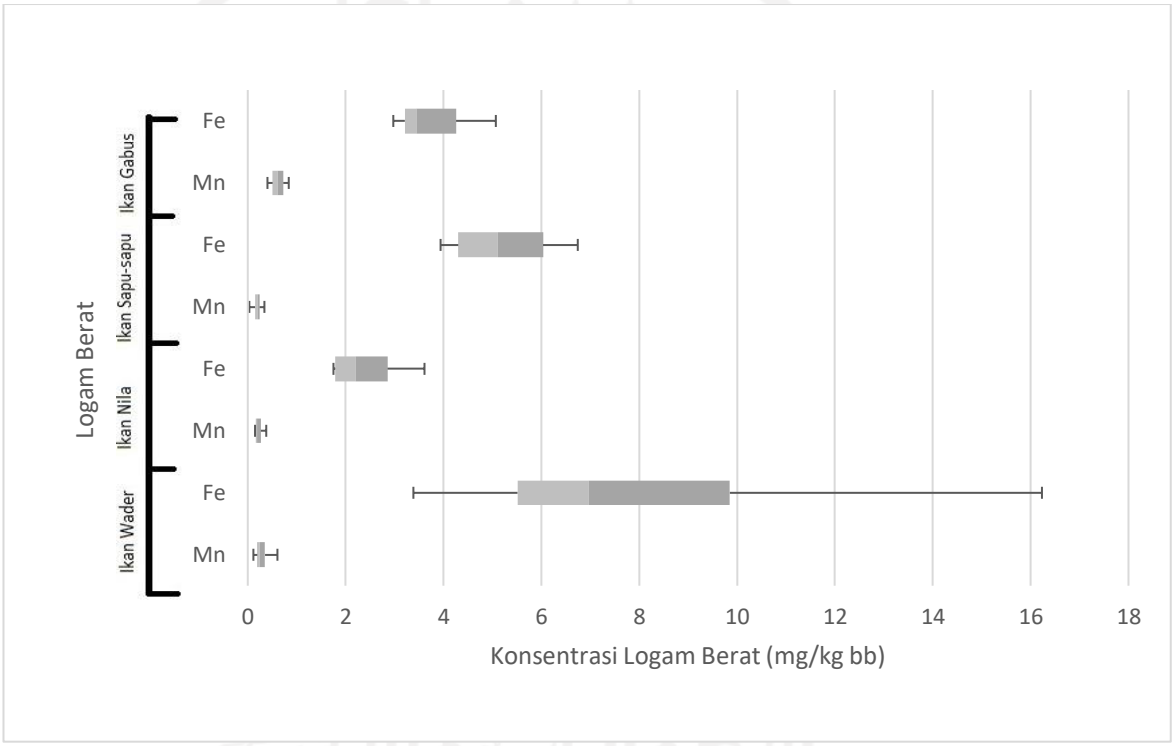
Gambar 5. Diagram Konsentrasi Logam Berat (2)

Menurut gambar diatas, konsentrasi tertinggi pada semua ikan berada pada logam Besi (Fe) dan 100% konsentrasi semua jenis ikan melebihi batas maksimum 1 mg/kg bb (WHO, 2004). Dimana ikan Cere memiliki konsentrasi logam Besi (Fe) terbesar yaitu 15,114 mg/kg bb. Keberadaan logam Besi (Fe) yang tinggi pada setiap jenis ikan pada diagram diatas karena logam Besi (Fe) merupakan logam esensial yang keberadaannya diperlukan oleh tubuh ikan itu sendiri. Sementara itu, logam Kadmium (Cd) memiliki konsentrasi paling rendah diantara semua jenis ikan.

Menurut Prabowo (2005) dalam Prastyo (2017), ikan yang umumnya berpeluang terhadap paparan logam berat memiliki mobilitas yang rendah. Karena itu, sifat ikan Red Devil yang cenderung invasif, aktif atau memiliki mobilitas tinggi dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat ditubuhnya. Sehingga

konsentrasi logam berat pada ikan Red Devil adalah yang terendah dibandingkan yang lain. Keempat ikan pada diagram diatas tidak mempunyai rentang konsentrasi karena pada penelitian ini hanya terdapat sampel tunggal dari masing-masing ikan dan menunjukkan bahwa semua ikan melebihi baku mutu konsentrasi Mangan (Mn) dan Besi (Fe). Konsentrasi logam Mangan (Mn) memiliki batas maksimum 0,2 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009).

Berikut ini merupakan konsentrasi mangan (Mn) dan besi (Fe) pada empat jenis ikan dalam penelitian.



Gambar 6. Diagram Konsentrasi Logam Berat (3)

Pada gambar 6 diatas, konsentrasi logam Besi (Fe) selalu memiliki rentang terbesar dibandingkan dengan jenis logam Mangan (Mn). Konsentrasi logam Besi (Fe) pada ikan Wader berkisar di 3,385-16,231 mg/kg bb, ikan Nila 1,751-3,611 mg/kg bb, ikan Sapu-sapu 3,940-6,744 mg/kg bb, ikan Gabus 2,974-5,069 mg/kg bb. Konsentrasi pada semua ikan melampaui batas maksimum 1 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009). Pada umumnya, besi (Fe) merupakan salah satu logam esensial. Adapun faktor lain yang mempengaruhi tingginya kadar besi (Fe) dalam

daging ikan, yaitu akumulasi logam berat dari partikulat tersuspensi (termasuk sedimen) dan akumulasi logam berat dari makanan ikan (sistem rantai makanan) (Ainiyah, 2018). Ikan umumnya menyerap logam berat melalui insang, kemudian dipindahkan melalui darah ke ginjal. Bentuk logam berat anorganik disimpan dalam jaringan, kemudian ditransfer ke ginjal dan diekskresikan. Logam organik tidak diekskresikan tetapi diakumulasi dalam jaringan otot (Ainiyah, 2018). Ikan mampu mengakumulasi logam dari lingkungannya, misalnya dari air maupun sedimen di sungai. Hasti (2020) memperoleh konsentrasi besi (Fe) pada sedimen yang berkisar antara 992,09 mg/kg bb sampai dengan 3197,89 mg/kg bb di Sungai Code, Yogyakarta. Sedangkan Abdi (2020), konsentrasi besi (Fe) pada air Sungai Code yang diperoleh berkisar antara 1,975 mg/L sampai dengan 15,662 mg/L. Konsentrasi besi (Fe) di sedimen dan air melebihi baku mutu yang berlaku. Sehingga faktor-faktor inilah yang turut mempengaruhi akumulasi konsentrasi logam yang tinggi pada ikan.

Konsentrasi logam Mangan (Mn) pada ikan Wader berkisar di 0,114-0,606 mg/kg bb, ikan Nila 0,148-0,377 mg/kg bb, ikan Sapu-sapu 0,032-0,339 mg/kg bb, ikan Gabus 0,402-0,837 mg/kg bb. Konsentrasi logam Mangan (Mn) dalam ikan Gabus dan ikan Wader melebihi batas maksimum 0,2 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009). Pada umumnya, mangan (Mn) adalah logam yang berasal secara alami yang ditemukan di batuan, tanah, dan air. Mangan tersebar di lingkungan dan terdiri dari sekitar 0,1% kerak bumi (WHO, 2004). Abdi (2020) memperoleh hasil pengujian konsentrasi logam mangan (Mn) tinggi yang berada pada kisaran 1,095 mg/L sampai dengan 5,509 mg/L di Sungai Code. Sangat jauh melebihi baku mutu air. Lingkungan perairan Sungai Code yang mengandung logam mangan (Mn) tinggi ini tentu menyebabkan biota air yang hidup didalamnya juga mengandung logam tersebut, terutama sifat ikan yang mudah mengakumulasi logam yang berada disekitarnya. Hal tersebut juga didukung oleh pernyataan Darmono (2008) bahwa logam berat dapat diakumulasi dalam tubuh ikan melalui tiga jalur antara lain melalui kulit (difusi), saluran makanan (biomagnifikasi), dan pernafasan (respirasi). Logam diserap dalam daging ikan oleh darah yang kemudian berikatan dengan protein darah lalu didistribusikan keseluruh jaringan tubuh. Akumulasi logam yang

tertinggi umumnya berada dalam hati dan ginjal. Akumulasi logam berat pada jaringan tubuh ikan dari yang terbesar hingga yang terkecil yaitu insang > hati > otot > daging (Darmono, 2008).

Secara keseluruhan, pada semua sampel ikan yang diperoleh, konsentrasi tertinggi berada pada logam besi (Fe) 0,648-16,231 mg/kg bb, logam Kromium (Cr) berkisar dari 0,050-1,568 mg/kg bb, konsentrasi logam mangan (Mn) 0,017-0,837 mg/kg bb, konsentrasi logam timbal (Pb) 0,099-0,558 mg/kg bb, konsentrasi logam tembaga (Cu) 001-0,478 mg/kg bb, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) 0,001-0,071 mg/kg bb. Menurut Darmono (2008), kekuatan pemasukan atau kompetisi logam berat ke dalam badan ikan berturut-turut adalah Cd > Pb > Cu. Meskipun kekuatan pemasukan logam kadmium (Cd) cukup kuat, tetapi keberadaan protein tionin yang dapat berikatan dengan kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) membentuk metalotionin yang turut berfungsi mengurangi efek toksik dari logam-logam tersebut (Hamilton *et al*, 1986).

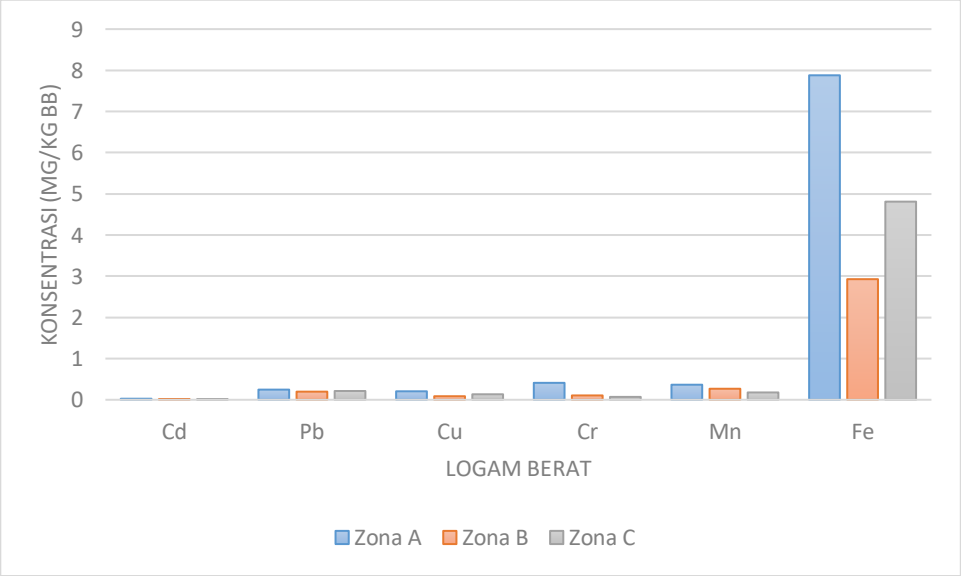
Sementara itu koefisien oktanol-air (K_{ow}) juga mempengaruhi konsentrasi logam berat. Koefisien oktanol-air (K_{ow}) menunjukkan sifat hidrofobik dari senyawa kimia. Menurut Karickhoff *et al* (1979) dan Noordsij *et al* (2003), senyawa hidrofobik (kelarutan rendah di air) memiliki nilai log $K_{ow} > 0$ dan senyawa bersifat hidrofilik (kelarutan tinggi dalam air) memiliki log K_{ow} nilai <0 (Fahimah *et al*, 2019). Misalnya, pada penelitian Fahimah *et al* (2019), ditemukan bahwa nilai koefisien oktanol-air (K_{ow}) logam berat adalah Pb 2250 (Log K_{ow}: 3,35), Cd 7305 (Log K_{ow}: 3,87), Cu 6894 (Log K_{ow}: 3,84). Menunjukkan bahwa Pb, Cd, dan Cu memiliki log Nilai $K_{ow} > 0$ (positif), artinya Pb, Cd, dan Cu memiliki karakter hidrofobik atau lipofilik (lebih disukai lemak) sehingga memiliki kelarutan yang lebih tinggi di area oktanol daripada di air. Logam berat yang memiliki nilai log K_{ow} yang tinggi berpotensi untuk melakukan proses biokonsentrasi logam berat dalam organisme akuatik (Fahimah *et al*, 2019). Dengan demikian, nilai Log K_{ow} dapat memengaruhi konsentrasi logam berat yang diperoleh pada sampel ikan yang diteliti. Sehingga hasil konsentrasi akan beragam sesuai dengan nilai log Kow masing-masing. Misalnya, pada konsentrasi logam tembaga (Cu) cukup tinggi pada

ikan sesuai dengan nilai log Kow yang positif. Menurut Sikdar dan Kundu (2018), biokonsentrasi di jaringan lipid terjadi diproses pertukaran senyawa dari media air (serapan bahan kimia senyawa tidak melalui makanan atau konsumsi) dan biokonsentrasi dipengaruhi oleh hidrofobisitas senyawa kimia yang diperoleh dari evaluasi nilai koefisien oktanol-air (Fahimah *et al*, 2019).

Selain dari faktor-faktor kimia yang disebutkan diatas, faktor fisika seperti pH dan suhu juga turut mempengaruhi kondisi ikan. Sebagai pertahanan terhadap pengaruh pH air yang rendah atau tinggi, ikan dapat menghasilkan peningkatan jumlah lendir pada kulit dan sisi dalam penutup insang. Nilai pH yang sangat tinggi atau rendah menyebabkan kerusakan jaringan ikan, terutama pada insangnya, dan perdarahan dapat terjadi pada insang dan tubuh bagian bawah. Jumlah lendir yang berlebih, seringkali mengandung darah, dapat dilihat pada pemeriksaan post mortem pada kulit dan insang. Lendirnya berwarna kusam dan berair. Sementara untuk suhu, laju metabolisme ikan berkorelasi erat dengan suhu air: semakin tinggi suhu air (yaitu semakin dekat ke nilai optimal dalam kisaran normal), semakin besar metabolism ikan (Svobodová, 1993).

4.2.2 Berdasarkan Zona

Berikut ini merupakan gambar konsentrasi rata-rata logam berat menurut zona masing-masing lokasi ikan di Sungai Code.



Gambar 7. Diagram Konsentrasi Rata-rata Logam Berat Menurut Zona

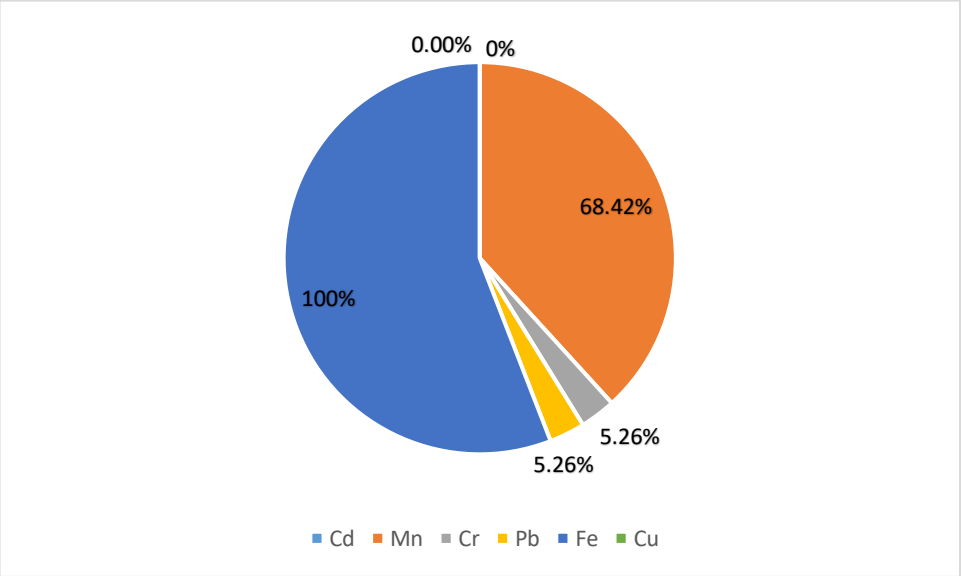
Pada gambar 7 diatas, zona A memiliki konsentrasi rata-rata logam berat yang cukup tinggi dibandingkan zona lain. Terutama konsentrasi rata-rata logam besi (Fe) mendominasi ketiga zona diikuti dengan konsentrasi logam mangan (Mn). Keberadaan logam besi (Fe) di lingkungan dapat berasal alam dan dari kegiatan antropogenik seperti membuang kaleng bekas, limbah besi, dan baterai oleh masyarakat yang langsung ke sungai. Terutama daerah aliran Sungai Code berada di pemukiman padat penduduk. Sedangkan untuk mangan (Mn) secara alami dapat ditemukan di badan air Sungai Code dan Munir (1995) dalam Safitri (2019) menyatakan bahwa mangan (Mn) merupakan salah satu sumber daya mineral. Mineral terbentuk melalui pembentukan pegunungan, aktivitas magma pada gunung api. Konsentrasi mangan (Mn) di air Sungai Code pada tahun 2019 berkisar dari 1,095-5,509 mg/L (Abdi, 2020). Keberadaan mangan (Mn) yang kemungkinan mengendap di sedimen juga dapat terbawa oleh air hujan hingga sampai ke perairan. Selain itu, sumber antropogenik mangan (Mn) di lingkungan umumnya bisa dari pemukiman yaitu pembuangan air limbah kota, limbah lumpur, dan pertanian (WHO, 2004). Zona A adalah daerah yang paling dekat dengan Gunung Merapi dan mempunyai konsentrasi Mangan (Mn) tertinggi dibandingkan Zona B dan Zona C. Keberadaan Gunung Merapi juga dapat memengaruhi konsentrasi timbal (Pb) pada Zona A yang berada di wilayah hulu sungai. Menurut Wahyuni *et al* (2012) dalam Abdi (2020), secara alami abu vulkanik dari Gunung Merapi mengandung berbagai unsur logam seperti Timbal (Pb), Barium (Ba), Stronsium (Sr), dan Zirkonium (Zr) dan keberadaan unsur logam tersebut dalam abu vulkanik yang menyebar di lingkungan dengan kuantitas yang cukup besar sangat dimungkinkan bahwa abu vulkanik dari Gunung Merapi tersebut dapat mengkontaminasi perairan (sungai atau sumur) yang berada di sekitarnya. Adapun konsentrasi Timbal (Pb) yang terdapat dalam abu vulkanik dari Gunung Merapi berdasarkan hasil penelitian tersebut adalah sebesar 16,71 mg/kg. Selain itu, di Zona A juga memiliki konsentrasi logam kromium (Cr) yang cukup tinggi karena zona ini memiliki tata guna lahan berupa persawahan dan salah satu sumber logam kromium (Cr) dapat berasal dari penggunaan pupuk (Velma *et al,* 2009). Misalnya, pemupukan dengan

pupuk seng (Zn) dapat meningkatkan konsentrasi logam berat Cd, Pb dan Cr dalam tanah (Nacke *et al*, 2012).

Zona B mempresentasikan kondisi tata guna lahan berupa perkotaan dimana banyak terdapat pemukiman, pertokoan, gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, dan destinasi wisata seperti Jalan Malioboro. Konsentrasi logam Timbal (Pb) berada pada posisi tertinggi ketiga setelah logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada zona ini. Zona B padat penduduk, sehingga kegiatan antropogenik berpotensi tinggi untuk meningkatkan konsentrasi logam di daerah ini. Contohnya, pembuangan sampah seperti kaleng-kaleng bekas yang mengandung logam besi (Fe) ke Sungai Code oleh masyarakat. Selain itu, menurut Hasti (2020), pada bagian tengah Sungai Code terdapat industri pengencer triplek yang diduga masukan limbahnya ke sungai turut mempengaruhi konsentrasi timbal (Pb).

Sedangkan Zona C mempresentasikan kondisi hilir dari Sungai Code sebelum bertemu dengan Sungai Gajahwong dan mengalir ke Laut Selatan. Pada Zona C kondisi tata guna lahan sebagian besar lahan pertanian, pemukiman, dan pertokoan. Zona C memiliki konsentrasi logam Timbal (Pb) ketiga terbesar setelah logam Mangan (Mn) dan Besi (Fe). Logam timbal (Pb) dapat berasal dari hasil pembuangan rumah tangga berupa plastik, kaleng bekas, sisa kaleng cat, dan baterai yang dibuang ke sungai (Anjani, 2018). Untuk data konsentrasi berdasarkan zona selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran 24.

Pada gambar 8 ini menunjukkan diagram persentase konsentrasi logam berat yang melampaui nilai ambang batas.



Gambar 8. Diagram Persentase Logam Berat Melebihi Batas Maksimum

Nilai persentase tertinggi berada pada logam Besi (Fe) yaitu 100% atau semua sampel ikan yang diteliti melebihi batas maksimum yaitu 1 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009). Sementara untuk logam tembaga (Cu) dan kadmium (Cd), semua konsentrasi sampel berada dibawah batas maksimum. Konsentrasi logam kromium (Cr) sebesar 5.26% melebihi baku mutu FAO < 1 mg/kg bb (Nurkhasanah, 2015), logam mangan (Mn) sebesar 68,42% melebihi batas maksimum 0,2 mg/kg bb (WHO, 2004), dan timbal (Pb) sebanyak 5,26% melebihi batas maksimum 0,4 mg/kg bb (Badan Standar Nasional, 2009) pada sampel ikan.

Konsentrasi yang melebihi batas maksimum ini bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi wilayah, tata guna lahan, serta sifat akumulasi dari masing-masing organisme di setiap lokasi penelitian. Masuknya logam berat ke dalam jaringan tubuh organisme melalui proses bioakumulasi dan sebagian besar berlangsung melalui rantai makanan. Logam berat masuk ke tubuh ikan melalui rantai makanan dan logam berat yang terlarut di air serta terendap di sedimen juga ikut terakumulasi saat memasuki tubuh ikan. Rantai makanan pada organisme perairan berawal dari fitoplankton yang akan dimakan oleh zooplankton, zooplankton dimakan oleh ikan-ikan kecil, ikan-ikan kecil dimangsa oleh ikan-ikan besar dan akhirnya ikan ikan besar dimakan oleh manusia. Proses ini terjadi terus

menerus sehingga terjadi akumulasi logam berat pada tubuh manusia (Nurkhasanah, 2015). Selain itu, logam timbal (Pb) memiliki afinitas yang cukup rendah di dalam perairan. Sedangkan, kromium (Cr) dalam bentuk Cr^{6+} memiliki afinitas yang cukup tinggi, meskipun dalam bentuk Cr^{3+} memiliki afinitas yang cukup rendah didalam perairan (Abdi, 2020).

4.3 Estimasi Intake dan Analisis Risiko Kesehatan

4.3.1 Hasil Wawancara Masyarakat

Wawancara kepada masyarakat dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat dan frekuensi konsumsi ikan tersebut dalam seminggu. Hal ini berguna untuk mengestimasi *intake* dari masing-masing jenis ikan sehingga dapat diketahui seberapa besar jumlah *intake* masyarakat setiap hari.

Berdasarkan hasil wawancara yang diperoleh, diperkirakan jumlah satu kali konsumsi dari ikan Wader berkisar 100 gram sampai dengan 250 gram, ikan Nila 250 gram sampai 500 gram, ikan Sapu-sapu 100 gram hingga 250 gram, ikan Gabus 100 gram sampai 1000 gram, ikan Red Devil kurang dari 100 gram karena memang ikan ini sebagian besar dipancing untuk dipelihara, ikan Lele kurang dari 100 gram karena sampel yang didapatkan juga berukuran kecil, dan ikan Cere tidak dikonsumsi masyarakat di sekitar Sungai Code. Seberapa banyak jumlah konsumsi dari ikan tersebut dipengaruhi oleh faktor jenis ikan dan berat ikan. Jenis dan berat ikan akan berbeda-beda sesuai dengan kondisi wilayah.

Pada kondisi wilayah aliran Sungai Code di hulu, ikan yang dapat ditemukan cenderung sangat kecil dan tidak dikonsumsi masyarakat. Sementara pada bagian tengah, masyarakat banyak yang mengonsumsi ikan hasil pancingan dan sebagian dipelihara karena ikan di wilayah ini memiliki ukuran dan berat ikan yang lumayan besar, serta ikan yang ditemukan dibagian hilir juga berukuran sedang hingga besar. Mekanisme logam berat adalah organisme kecil akan dimangsa oleh ikan-ikan kecil yang kemudian dimangsa oleh ikan yang lebih besar

dan dikonsumsi oleh manusia. Proses ini berlangsung secara berkelanjutan, maka mengalami akumulasi jumlah logam dalam tubuh manusia. Logam berat dari makanan dan sedimen oleh biota tergantung pada strategi mendapatkan makanan (Handayani, 2015). Oleh karena itu, semakin tinggi jumlah konsumsi masyarakat, maka berpotensi memperbesar *intake* logam berat yang masuk ke tubuh manusia melalui media ikan. Frekuensi konsumsi ikan juga ditentukan oleh seberapa sering masyarakat memancing di Sungai Code. Pada daerah hulu dan hilir, masyarakat yang ditemukan memancing di Sungai Code tergolong sedikit. Pada bagian tengah Sungai Code, sangat banyak ditemukan masyarakat yang memancing terutama pada sore menuju malam hari. Untuk data hasil wawancara masyarakat selengkapnya dapat ditemukan di Lampiran 22.

4.3.2 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya adalah langkah awal dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang dilakukan untuk mengetahui penyebab risiko kesehatan dari agen yang berisiko. Sehingga pada identifikasi masalah juga ditambahkan potensi dampak-dampak gangguan kesehatan (Direktorat Jenderal PP, 2012). Langkah ini harus menjawab masalah agen risiko spesifik apa yang berbahaya, di media lingkungan yang mana agen risiko eksisting, seberapa besar kandungan atau konsentrasi agen risiko di media lingkungan, gejala kesehatan apa yang potensial (Direktorat Jenderal PP, 2012). Tabel identifikasi bahaya tersedia di bawah ini.

Tabel 7. Identifikasi Bahaya

Sumber	Media Lingkungan Potensial	Agen Risiko	Konsentrasi terukur (mg/kg bb)		
			Minimum	Maksimum	Rata-rata
Pencemaran logam berat di Sungai Code	Ikan Wader	Pb	0.176	0.558	0.330
		Cd	0.010	0.071	0.033
		Cu	0.127	0.441	0.268
		Cr	0.056	1.569	0.551
		Mn	0.115	0.606	0.303
		Fe	**3.385**	**16.232**	**8.391**
	Ikan Nila	Pb	0.180	0.323	0.226
		Cd	0.011	0.028	0.018

Sumber	Media Lingkungan Potensial	Agen Risiko	Konsentrasi terukur (mg/kg bb)		
			Minimum	Maksimum	Rata-rata
		Cu	0.069	0.188	0.124
		Cr	0.095	0.123	0.103
		Mn	0.149	0.378	0.230
		Fe	**1.752**	**3.612**	**2.442**
	Ikan Sapu-sapu	Pb	0.140	0.234	0.180
		Cd	0.002	0.031	0.031
		Cu	0.036	0.113	0.113
		Cr	0.050	0.117	0.117
		Mn	0.032	0.340	0.340
		Fe	**3.941**	**6.745**	**6.745**
	Ikan Gabus	Pb	0.153	0.234	0.180
		Cd	0.008	0.023	0.017
		Cu	0.013	0.094	0.056
		Cr	0.101	0.327	0.177
		Mn	0.402	0.838	0.618
		Fe	**2.974**	**5.070**	**3.830**
	Ikan Red Devil*	Pb		0.152	
		Cd		0.020	
		Cu		0.020	
		Cr		0.129	
		Mn		0.146	
		Fe		**1.397**	
	Ikan Nilem*	Pb		0.269	
		Cd		0.012	
		Cu		0.105	
		Cr		0.100	
		Mn		0.555	
		Fe		**2.377**	
	Ikan Lele*	Pb		0.099	
		Cd		0.001	
		Cu		0.248	
		Cr		0.119	
		Mn		0.494	
		Fe		**7.657**	

**keterangan: sampel tunggal, konsentrasi hanya satu bukan maksimum, minimum, rata-rata*

Berdasarkan tabel 8, terjadi hubungan antara sumber dan media lingkungan potensial dengan agen risiko. Agen risiko kemudian memiliki konsentrasi zat

terukur yang dapat berpotensi bahaya jika memasuki tubuh manusia yang mengonsumsi media lingkungan potensial dan dapat menimbulkan gejala kesehatan potensial.

Agen risiko besi (Fe) pada semua media lingkungan potensial memiliki konsentrasi zat terukur paling besar diantara agen-agen risiko yang lain. Meskipun demikian, tidak semua logam berat berisiko tinggi menjadi agen yang berbahaya saat memasuki tubuh manusia. Fe dan Mn dikategorikan sebagai elemen esensial dan Cd dan Pb adalah elemen toksik. Logam esensial (Cu, Fe, dan Mn) diatur dengan hati-hati oleh mekanisme fisiologis di sebagian besar organisme dan mereka memainkan peran penting di sebagian besar aktivitas enzimatik (Rosli *et al*, 2018).

4.3.3 Analisis Dosis-Respons

Analisis dosis-respons yaitu hubungan antara jumlah total suatu agen yang diterima atau diserap oleh suatu makhluk hidup dengan perubahan yang terjadi pada makhluk hidup. Sementara dosis-respons adalah keterkaitan antara jumlah total suatu agen yang diterima atau diserap oleh makhluk hidup dan perubahan yang terjadi pada makhluk hidup tersebut. Agen merupakan zat, materi, atau makhluk dalam bentuk fisik, kimiawi, atau biologi yang kontak atau mengenai sasaran paparan. *Reference Dose* (RfD) adalah dosis atau konsentrasi referensi dari asupan pajanan harian agen risiko non karsinogenik yang diestimasi tidak menimbulkan efek yang mengganggu walaupun pajanannya terjadi sepanjang hayat (seumur hidup) dan *Slope factor* (SF) yakni dosis atau konsentrasi dari pajanan harian agen risiko karsinogenik yang diestimasi tidak menimbulkan efek yang mengganggu atau tidak menyebabkan terjadinya kanker walaupun paparannya terjadi sepanjang hayat (seumur hidup) (Direktorat Jendral PP, 2012). Tabel dibawah ini merupakan analisis dosis-respons pada agent dan sasaran penelitian.

"*Bagian ini sengaja dikosongkan."*

Tabel 8. Analisis Dosis-Respons

Agent	Dosis-Respons		Efek Kritis dan Referensi
	RfD	SF	
Timbal (Pb)	0.0035[1]	0.0085[4]	Gangguan mental dan penurunan kecerdasan (intelegent IQ), Keracunan timbal "plumbism" : hilangnya nafsu makan (anorexia), anemia (karena timbal akan mengikat sel darah merah), kehilangan berat badan, susah buang air besar (konstipasi), lesu atau lekas marah (BPOM RI, 2010)
Kadmium (Cd)	0.001[1]	15[2]	Penyakit itai-itai (menyebabkan tulang lunak dan gagal ginjal), kerusakan otak dan sistem saraf, osteoporosis (hilangnya mineral tulang) dan osteomalasia (tulang menjadi rapuh) serta gangguan ginjal yang parah (BPOM RI, 2010)
Tembaga (Cu)	0.04[3]	-	Dalam jumlah besar, tembaga dapat menyebabkan rasa tidak enak di lidah dan lebih parah dapat menyebabkan kerusakan pada hati. Memicu penyakit Wilson-Kinsky (Irianti dan Tanti T, 2017)
Kromium (Cr)	1.5[1]	0.5[2]	Tidak ada efek kritis dilaporkan pada uji hayati air minum 1 tahun dengan tikus, dan pajanan air minum penduduk Jinzhou (Direktorat Jenderal PP, 2012)

Agent	Dosis-Respons		Efek Kritis dan Referensi
	RfD	SF	
Mangan (Mn)	0.14[1]	-	Gangguan sistem saraf pusat, studi ingesti kronik pada manusia (Direktorat Jendral PP, 2012)
Besi (Fe)	0.7[3]	-	Besi baik untuk membantu mengikat Hb dalam darah

Referensi: [1]IRIS dalam (Zeng, et al, 2015) [2]CALEPA dalam (Zeng, et al, 2015) [3](Hamanescu, 2011) [4]OEHHA

Hasil konsentrasi logam berat yang diperoleh sebelumnya akan menjadi unsur penting dalam mengestimasi besar *intake* pada subbab selanjutnya. Analisis dosis-respons ini menghubungkan antara agen dengan dosis referensi (RfD) untuk non-karsinogenik dan agen dengan *Slope Factor* (SF) yang akan digunakan pada saat karakteristik risiko. RfD dan SF adalah suatu koefisien tanpa satuan yang berfungsi untuk menentukan nilai karakteristik risiko apakah tidak aman atau aman apabila media lingkungan potensial dengan agen tersebut dikonsumsi manusia dengan durasi waktu tertentu. Apabila tidak aman, maka terjadi efek kritis yang sudah dideskripsikan pada tabel diatas.

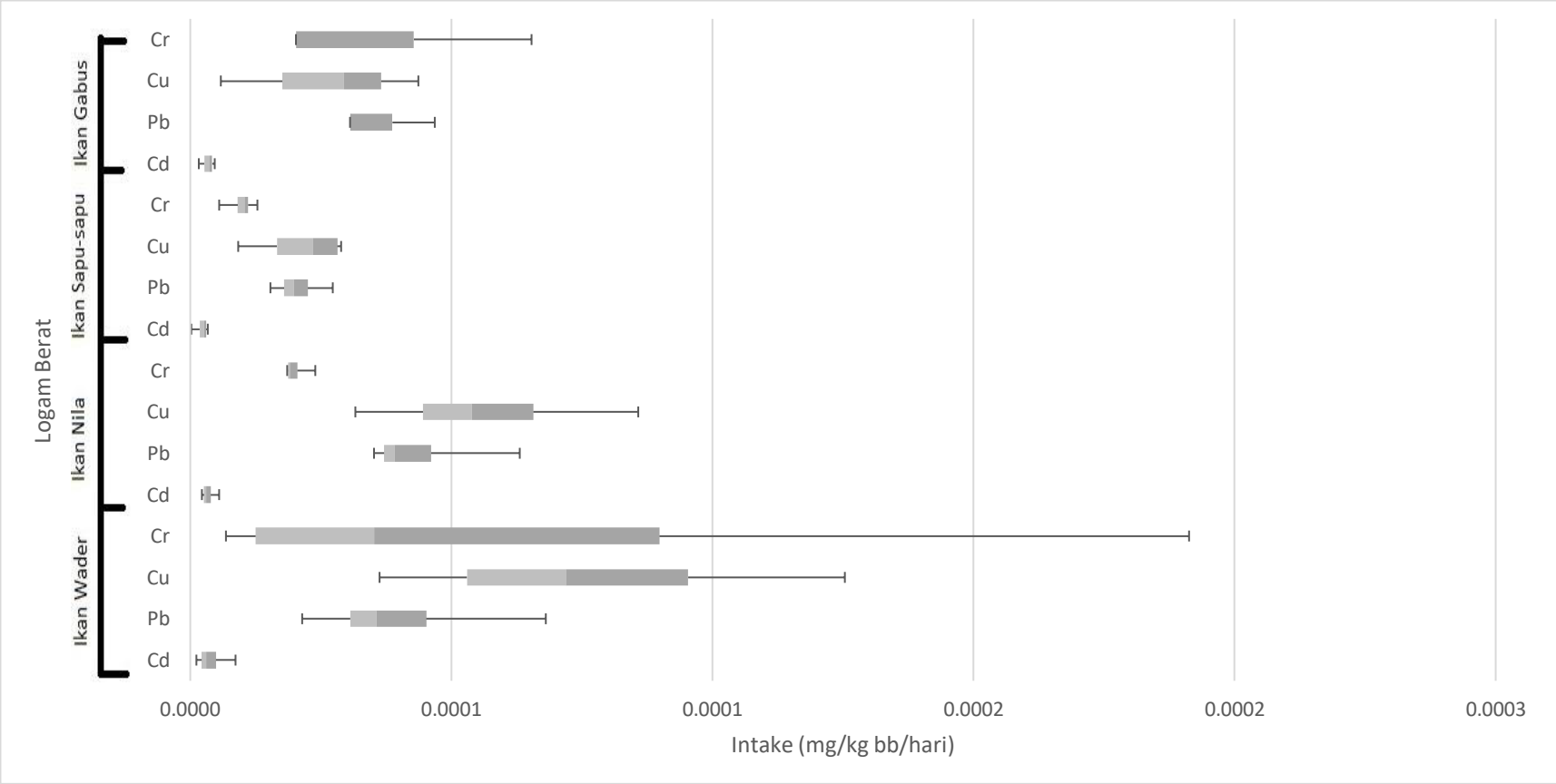
Meskipun demikian, hasil dosis referensi (RfD) yang didapatkan dari penelitian dalam referensi-referensi tercantum akan digunakan pada perhitungan besar risiko kesehatan di ikan oleh logam non-karsinogenik seperti tembaga (Cu), mangan (Mn) dan besi (Fe). Sementara hasil *Slope Factor* (SF) digunakan untuk mengukur risiko kesehatan di ikan oleh logam karsinogenik seperti timbal (Pb), kromium (Cr), dan kadmium (Cd). Penentuan karakteristik risiko di subbab selanjutnya.

4.3.4 Analisis Pajanan (Estimasi *Intake*)

Analisis pajanan adalah evaluasi pajanan agen terhadap makhluk hidup. Analisis pajanan merupakan langkah yang keempat dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) (Direktorat Jenderal PP, 2012). Analisis pajanan juga berupa estimasi *intake* pada ikan yang masuk ke dalam tubuh manusia yang mengonsumsi ikan tersebut. Ketika menghitung *intake* ikan, diperlukan juga data dari hasil wawancara seperti jumlah konsumsi, frekuensi konsumsi, durasi pajanan, berat badan, dan periode waktu rata-rata (baik untuk agen karsinogenik dan non karsinogenik). Agen karsinogenik disini yaitu kromium (Cr), kadmium (Cd), timbal (Pb). Agen non-karsinogenik adalah tembaga (Cu), besi (Fe), dan mangan (Mn). Estimasi *intake* yang didapatkan akan digunakan untuk memperkirakan karakteristik bahaya pada tahap selanjutnya dalam analisis risiko kesehatan. Analisis pajanan sangat berhubungan erat dengan konsentrasi ikan, yakni apabila

konsentrasi tinggi maka intake juga berpotensi besar. Namun, besarnya nilai *intake* ikan juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti nilai jumlah dan frekuensi konsumsi ikan tersebut. Contohnya adalah kebiasaan masyarakat dalam mengonsumsi dan memancing ikan.

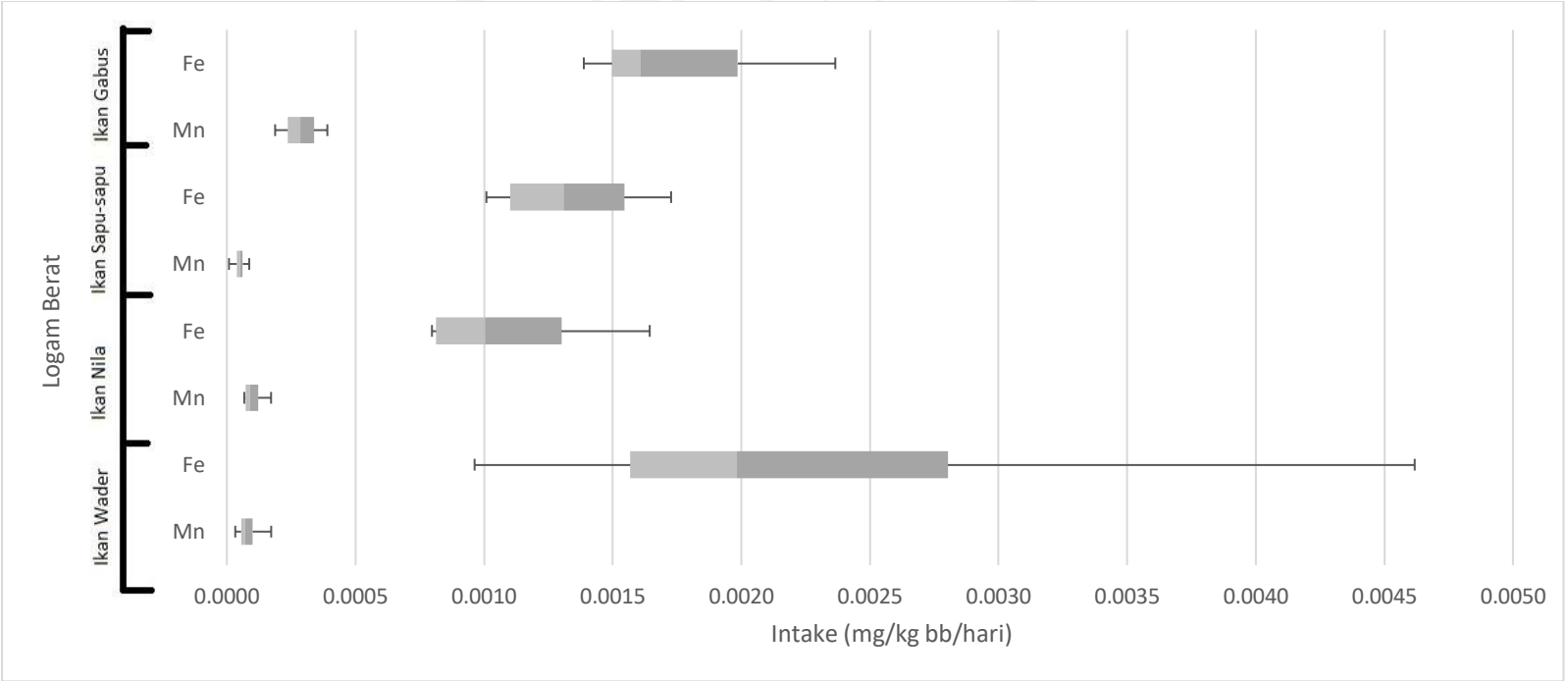
"Bagian ini sengaja dikosongkan."



Gambar 9. Diagram Estimasi Intake Pada ikan (1)

Pada gambar 9, ikan Wader memiliki estimasi *intake* yang terbesar dibandingkan dengan jenis ikan lain. Estimasi *intake* pada ikan Wader adalah *intake* logam Kadmium (Cd) berkisar 1,17 x 10^{-6}-8,66 x 10^{-6} mg/kg bb, logam Timbal (Pb) 2,14 x 10^{-5} – 6,81 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam Tembaga (Cu) 3,62 x 10^{-5} – 1,25 x 10^{-4} mg/kg bb/hari, dan logam Kromium (Cr) 6,83 x 10^{-6} – 1,91 x 10^{-4} mg/kg bb/hari. Estimasi *intake* logam berat Kromium (Cr) memiliki rentang paling besar dibandingkan logam berat lainnya, terutama pada ikan Wader. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi logam berat yang tinggi pada ikan Wader, jumlah konsumsi, dan frekuensi konsumsi ikan yang besar. Dimana kebiasaan masyarakat di Sungai Code sering mamancing dan banyak mengonsumsi ikan Wader. Sehingga menyebabkan estimasi *intake* pada ikan Wader besar. Dampak logam berat kromium (Cr) apabila dikonsumsi secara berlebihan dan dalam jangka waktu panjang adalah dapat merusak ginjal dan hati (BPOM RI, 2010). Sementara itu, ikan Sapu-sapu merupakan ikan yang paling jarang dikonsumsi oleh masyarakat yang memancing ikan di Sungai Code. Sehingga *intake* ikan Sapu-sapu paling kecil dibandingkan ikan lainnya yaitu estimasi intake Kadmium (Cd) berkisar 2,19 x 10^{-7} – 3,72 x 10^{-6} mg/kg bb/hari, logam Timbal (Pb) 1,70 x 10^{-5} – 3,03 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam Tembaga (Cu) 1,02 x 10^{-5} – 3,21 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, dan logam Kromium (Cr) 6,15 x 10^{-6} – 1,43 x 10^{-5} mg/kg bb/hari.

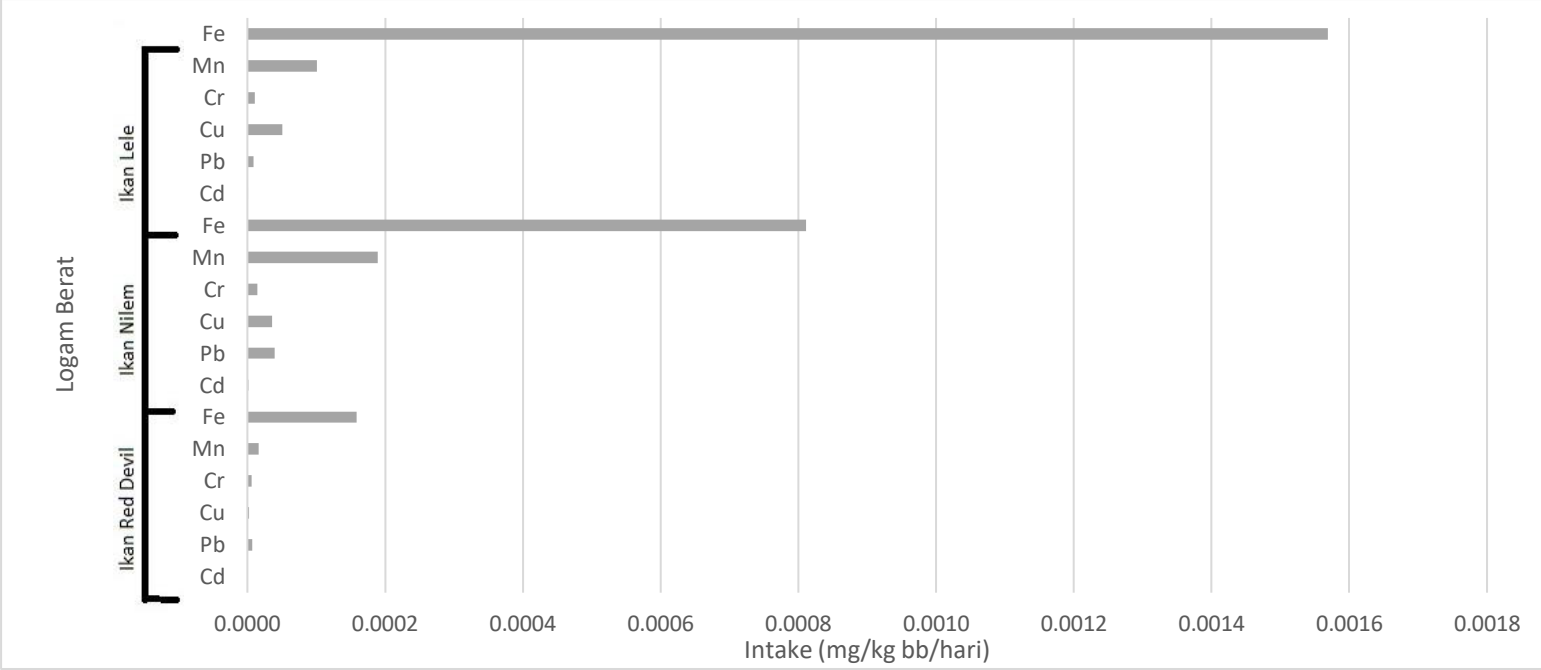
Dari semua *intake* logam berat, logam kadmium (Cd) merupakan logam berat dengan *intake* terkecil. Selain karena konsentrasi logam (Cd) juga rendah, logam ini merupakan logam non-esensial dan karsinogenik. Apabila logam kadmium (Cd) berada di tubuh manusia dalam jumlah besar dalam waktu yang lama, maka akan sangat membahayakan dan memicu penyakit Itai-Itai dan kerusakan otak serta sistem saraf (BPOM RI, 2010).



Gambar 10. Diagram Estimasi Intake Pada ikan (2)

Pada gambar 10, estimasi *intake* logam besi (Fe) merupakan yang paling besar diantara semua ikan. Hal tersebut diduga karena konsentrasi logam besi (Fe) yang tinggi pada ikan. Ikan Wader memiliki rentang estimasi *intake* besi (Fe) terbesar yaitu $4{,}98 \times 10^{-4}$ –$1{,}03 \times 10^{-3}$ mg/kg bb/hari. Pada pembahasan sebelumnya, hasil konsentrasi logam berat pada ikan Wader memiliki *range* cukup besar. Terutama pada ikan Wader yang sering dikonsumsi dan mudah dipancing oleh masyarakat. Menyebabkan estimasi intake pada ikan Wader meningkat. Logam besi (Fe) memang logam esensial yang selalu memiliki konsentrasi tinggi pada setiap ikan dalam penelitian ini. Sehingga *intake* logam besi (Fe) juga turut membesar, disamping karena faktor jumlah konsumsi dan frekuensi konsumsi. Menurut Finch dan Huebers (1982) dalam Rosli *et al* (2018), akumulasi besi (Fe) yang lebih tinggi pada organisme hidup merupakan keadaan yang normal. Namun, besi (Fe) akan menjadi racun bagi manusia jika melebihi 200 mg/kg bb. Besi (Fe) adalah mineral penting untuk setiap sel hidup dan dibutuhkan untuk sintesis mioglobin, hemoglobin, dan enzim tertentu. Kekurangan besi logam (Fe) mengakibatkan kelemahan, kerentanan dan ketidakmampuan untuk berkonsentrasi (Azaman, 2015).

Sedangkan untuk estimasi *intake* logam mangan (Mn) paling besar terdapat pada ikan Gabus berkisar $1{,}14 \times 10^{-4} – 2{,}38 \times 10^{-4}$ mg/kg bb/hari dan estimasi *intake* besi (Fe) $8{,}46 \times 10^{-4} – 1{,}44 \times 10^{-3}$ mg/kg bb/hari. Menurut Marimutu *et al* (2012), ikan Gabus mengandung 6,4 mg/kg bb logam besi (Fe) dan 0,88 mg/kg bb logam mangan (Mn). Mangan (Mn) adalah unsur toksisitas rendah yang memiliki kemampuannya dalam mencegah serangan jantung, stroke, dan serangan jantung. Kekurangan mangan (Mn) menyebabkan kelainan bawaan pada keturunan, kinerja pertumbuhan yang buruk dan efisiensi sistem reproduksi yang rendah.



Gambar 11. Diagram Estimasi Intake Pada Ikan (3)

Berdasarkan data estimasi *intake* pada gambar 11, estimasi *intake* logam Besi (Fe) merupakan yang paling besar diantara yang lain. Konsentrasi logam Besi (Fe) yang diperoleh sebelumnya juga memiliki konsentrasi tinggi. Logam Besi (Fe) merupakan logam esensial yang keberadaannya memang diperlukan oleh setiap makhluk hidup. Pada ikan Lele, memiliki rentang estimasi *intake* besi (Fe) terbesar dibandingkan jenis ikan lain, yakni adalah 2,18 x 10^{-3} mg/kg bb/hari. Kebiasaan ikan Lele yang berada di daerah dasar sungai membuat ikan ini jarang terpancing oleh masyarakat. Sehingga jumlah konsumsi (laju asupan) dan frekuensi pajanan dari ikan tersebut sangat kecil. Dengan demikian, hanya *intake* pada logam besi (Fe) saja yang besar pada ikan Lele karena dipengaruhi konsentrasi besi (Fe) yang tinggi. Sementara itu, ikan Nilem memiliki rentang estimasi *intake* yang cukup besar selain logam besi (Fe). Estimasi *intake* pada ikan Nilem antara lain logam mangan (Mn) 1,58 x 10^{-4} mg/kg bb/hari, logam kromium (Cr) 1,22 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam timbal (Pb) 1,21 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam tembaga (Cu) 2,98 x 10^{-6} mg/kg bb/hari, dan logam kadmium (Cd) 1,52 x 10^{-6} mg/kg bb/hari.

Sedangkan *intake* ikan Red Devil yang paling kecil diantara jenis ikan yang lain. Estimasi *intake* pada ikan tersebut yaitu logam besi (Fe) yakni 3,97 x 10^{-4} mg/kg bb/hari. Kemudian logam mangan (Mn) 4,15 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam kromium (Cr) 1,57 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam timbal (Pb) 1,86 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, logam tembaga (Cu) 5,78 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, dan logam kadmium (Cd) 2,44 x 10^{-6} mg/kg bb/hari. Estimasi intake ikan Red Devil menjadi yang terkecil karena sangat jarang dikonsumsi oleh masyarakat akibat sebagian besar dipancing untuk dipelihara karena ikan ini sekilas mirip dengan ikan Louhan (*A. trimaculatus*) dengan warna jingga kemerahan. Sehingga banyak masyarakat sekitar Sungai Code yang cenderung memeliharanya dibandingkan untuk konsumsi. ikan Nilem sebagian besar ditemukan di titik lokasi tengah aliran Sungai Code dan jarang ditemukan di titik yang lain. Masyarakat juga jarang mengonsumsi ikan tersebut karena sebagian besar masyarakat di titik lokasi tengah lebih memilih mengonsumsi ikan yang berukuran sedang hingga besar seperti ikan Nila.

4.3.5 Karakteristik Risiko

Karakterisasi risiko berguna untuk menentukan seberapa besar tingkat risiko pada konsentrasi yang ditentukan pada analisis yang berpotensi menyebabkan dampak kesehatan (dengan karakteristik seperti jumlah konsumsi, berat badan, frekuensi, waktu, dan durasi pajanan yang tertentu) atau tidak. Karakteristik risiko ditentukan dengan membagi nilai intake tertentu atau mengalikannya dengan intake tertentu (Direktorat Jenderal PP, 2012).

Karakteristik risiko berupa nilai Ekses Risiko Kanker (*Excess Cancer Risk*/ECR) untuk agen karsinogenik dan Tingkat Risiko (*Risk Quotient*/RQ) untuk agen non-karsinogenik. Dikatakan jika RQ < 1, aman, dan jika RQ ≥ 1, tidak aman. Sedangkan untuk ECR dikatakan aman jika ECR ≤ E^{-4}, dimana 1 orang dari 10.000 orang berisiko kanker dalam kasus tersebut.

Berdasarkan hasil ECR yang diperoleh, 2,22% dari 100% ikan melebihi ketentuan ECR. Ikan tersebut adalah ikan Wader, nilai ECR kadmium (Cd) pada *intake* maksimum melebihi ketentuan ECR ≤ E^{-4} (0,0001) maka tidak aman. Pada kasus ECR kadmium (Cd) *intake* maksimum dapat interpretasikan jika terdapat 1,30 orang yang berisiko terkena kanker pada 10.000 orang. Selain nilai ECR kadmium (Cd) pada *intake* maksimum, semua sampel mempunyai nilai aman karena syarat ECR ≤ E^{-4} untuk logam berat karsinogenik dan RQ < 1 untuk logam berat non-karsinogenik terpenuhi. Akibat ada nilai yang tidak aman, maka perlu dilakukan pengelolaan risiko yaitu dengan menentukan batas aman. Menggunakan rumus (6) pada BAB III, maka didapatkan konsentrasi aman *intake* maksimum kadmium (Cd) sebesar 0,054 mg/kg bb dan jumlah konsumsi (laju asupan) aman sebesar 0,096 g/hari.

Untuk ikan Nila, ikan Sapu-sapu, ikan Gabus, ikan Red Devil, ikan Nilem, dan ikan Lele semuanya masuk kategori aman karena tidak ada yang melebihi nilai ketentuan ECR ≤ E^{-4} maupun nilai RQ ≥ 1 (Direktorat Jenderal PP, 2012). Selain menggunakan perhitungan konsentrasi aman dan jumlah konsumsi (laju asupan) aman, dapat menggunakan pengurangan frekuensi konsumsi dan membatasi jumlah konsumsi ikan oleh masyarakat. Misalnya dengan mengurangi kegiatan konsumsi

ikan yang biasanya rutin dilakukan hingga menjadi lebih sedikit dari biasanya dan mengurangi jumlah konsumsi menjadi lebih sedikit. Untuk data hasil nilai ECR dan RQ lebih lengkap terangkum dalam Lampiran 26.

Pengelolaan atau manajemen risiko tidak aman yang dapat dilakukan lagi adalah dengan pendekatan sosial-ekonomis. Misalnya diselenggarakan sosialisasi penggunaan kembali, pengurangan penggunaan, daur ulang (3R) sampah dan memberdayakan orang-orang yang berisiko (Direktorat Jenderal PP, 2012). Hal ini agar masyarakat tidak membuang sampah dan limbah langsung ke aliran sungai sehingga mengurangi potensi pencemaran logam berat di Sungai Code dan mengurangi akumulasi logam berat di ikan. Adapun pendekatan institusional antara lain : mendukung pengawasan yang dilaksanakan oleh pemerintah, menyampaikan laporan kepada instansi yang berwenang, dan pembuatan regulasi (Direktorat Jenderal PP, 2012).

BAB V
SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan rumusan masalah, hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan :

1. Urutan *range* terbesar dalam konsentrasi logam berat pada ikan tersebut adalah logam Fe > Cr > Mn > Pb > Cu > Cd. Kandungan logam berat timbal (Pb), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), kromium (Cr), kadmium (Cd) pada ikan di Sungai Code sangat beragam. Kandungan logam berat yang terukur pada semua jenis ikan antara lain konsentrasi logam timbal (Pb) berkisar dari 0,099-0,558 mg/kg bb, konsentrasi logam besi (Fe) 0,648-16,231 mg/kg bb, konsentrasi logam mangan (Mn) 0,017-0,837 mg/kg bb, konsentrasi logam tembaga (Cu) 001-0,478 mg/kg bb, konsentrasi logam kromium (Cr) 0,050-1,568 mg/kg bb, dan konsentrasi logam kadmium (Cd) 0,001-0,071 mg/kg bb. Hanya logam berat kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) yang tidak melebihi ambang batas maksimum menurut ketentuan yang berlaku.

2. Estimasi intake pada ikan yang diperoleh yaitu logam kadmium (Cd) 9,04 x 10^{-8} – 8,66 x 10^{-6} mg/kg bb/hari, tembaga (Cu) 3,57 x 10^{-6} – 1,25 x 10^{-4} mg/kg bb/hari, kromium (Cr) 6,15 x 10^{-6} – 1,91 x 10^{-4} mg/kg bb/hari, timbal (Pb) 1,21-6,81 x 10^{-5} mg/kg bb/hari, mangan (Mn) 3,27 x 10^{-5} – 2,38 x 10^{-4} mg/kg bb/hari, dan besi (Fe) 3,97 x 10^{-4} – 4,62 x 10^{-3} mg/kg bb/hari. Analisis risiko kesehatan yang diperoleh cenderung memiliki nilai aman. Nilai Tingkat Risiko (*Risk Quotient*/RQ) pada logam non-karsinogenik di semua jenis ikan tidak ada yang melebih RQ ≥ 1. Meskipun logam yang termasuk karsinogenik seperti logam kadmium (Cd) memiliki satu potensi risiko kesehatan pada jenis ikan Wader dalam *intake* maksimum yang memiliki nilai ECR 1,3 x 10^{-4} membuat nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) ≥ E^{-4}, sehingga tidak aman.

5.2 Saran

1. Pengambilan sampel ikan, preparasi sampel hingga pengujian sampel ikan dalam penelitian harus dilakukan lebih teliti dan efektif dengan mengacu standar operasional yang sudah berlaku. Sehingga data yang didapatkan akan lebih akurat, lengkap, dan lebih baik.
2. Penelitian ini hanya sebagai gambaran awal sehingga penelitian lanjutan sangat direkomendasikan agar kajian tentang analisis risiko kesehatan lingkungan di Sungai Code lebih mendalam dan dapat berguna bagi masyarakat umum maupun instansi dan akademik. Terutama tentang pengelolaan risiko pada nilai tidak aman didalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.
3. Pengelolaan risiko dapat dijalankan mulai dengan usaha penyuluhan tentang hidup sehat dan pencemaran lingkungan terutama di Sungai Code sampai dengan pengelolaan risiko lebih lanjut seperti pembuatan regulasi. Sehingga dapat mengurangi potensi cemaran dengan berkurangnya aktivitas antropogenik di lingkungan Sungai Code dan risiko kesehatan dapat lebih diperhatikan oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, Fariz Januar. (2020). **Analisis Metal Pollution Index (MPI) Berdasarkan Kandungan Logam di Sungai Code Yogyakarta**. *Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan UII.*

Abriana, Andi. (2017). **Teknologi Pengolahan dan Pengawetan Ikan.** Makassar: CV Sah Media.

Agency for Toxic Substance and Disease Registry (ATSDR). (2008). **Toxicological Profile for Chromium.** Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services.

Ali, Hazrat, Ezzat, Khan. (2018). **Assessment of potentially toxic heavy metals and health risk in water, sediments, and different fish species of River Kabul, Pakistan**. *Paper Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal.* **Vol. 24**. No. 8. 1-19.

Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019**). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation**. *Journal of chemistry, 2019.*

Anjani, Mayu Dwi. (2018)**. Analisis Water Quality Index Kandungan Logam Berat di Sepanjang Sungai Code, Yogyakarta.** *Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan UII.*

Aslam, S., & Yousafzai, A. M. (2017). **Chromium toxicity in fish: A review article**. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. **Vol. 5**. No.3. 1483-1488.

Aslin, La Ode. (2012). **Depurasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada ikan Nila (Oreochromis niloticus) Dengan Menggunakan Salinitas Berbeda.** Bogor : Sekolah Pasca Sarjana IPB.

Aswood, M. S. (2017). **Determination of Heavy Metals in Fertilizer Samples by X-ray Fluorescence Techniques.** *Journal of University of Babylon for Pure and Applied Sciences.* **Vol. 25**. No. 5. 1778-1785.

Azaman, Fazureen, Hafizan Juahir, Kamaruzzaman Yunus, Azman Azid, Mohd Khairul Amri Kamarudin, Mohd Ekhwan Toriman, Ahmad Dasuki Mustafa, Mohammad Azizi Amran, Che Noraini Che Hasnam, Ahmad Shakir Mohd Saudi. (2015). **Heavy Metal in Fish: Analysis And Human Health-A Review**. *Jurnal Teknologi (Science & Engineering).* **Vol. 77**. No.1. 1-9.

Badan Standar Nasional (BSN). (2009). **SNI 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan.** Jakarta: Badan Standar Nasional.

Badan Standar Nasional (BSN). (2011). **SNI 2354.5:2011 tentang Penentuan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Produk Perikanan.** Jakarta: Badan Standar Nasional.

Basri, Syahrul, Emmi Bujawati, Munawir Amansyah, Habibi, Samsiana. (2014). **Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**. *Jurnal Kesehatan UIN Alaudin Makassar.* **Vol. 7.** No. 2. 1-16.

Bintang, Maria. (2010). **Biokimia Teknik Penelitian.** Jakarta: Penerbit Erlangga

BPOM RI. (2010). **Mengenal Logam Beracun**. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya.

Cahyani, N, Batu DTFL, Sulistiono. (2016)**. Kandungan logam berat Pb, Hg, Cd, dan Cu pada daging ikan rejung (Sillago sihama) di estuari sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah.** *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. **Vol. 19.** No. 3. 1-10.

Darmono. (2008). **Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup.** Jakarta: Universitas Indonesia Press.

Direktorat Jendral PP dan PL. (2012). **Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)**. Jakarta: Kementrian Kesehatan.

Djafri, Defriman. (2014). **Prinsip dan Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.** *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*. **Vol. 8.** No. 2. 1-5.

Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., Popoola, O. E., dan Msagati, T. A. M. 2016. **Assessment of Trace Metals Contamination of Surface Water and Sediment : A Case Study of Mvudi River, South Africa.** *Jurnal Sustainability 2016.* **Vol. 8.** No. 2. 135.

Fadillah, Sucia, Rinidar, T. Armansyah T.R. (2017). **Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) Pada Daging ikan Cendro Tylosurus crocodilus) di Pesisir Krueng Raya Kabupaten Aceh Besar.** *Jurnal IMVET.* **Vol. 3.** No. 1. 391-397.

Fahimah, N., & Oginawati, K. (2020). **Fate and spatial distribution of Pb, Cd, Cu and Zn in the water column and in the surface sediment of Indonesian Estuary (Citarum River Estuary)**. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 148, p. 07007). EDP Sciences.

Hamanescu, Monica, Liana Maria Alda, Despina Maria Bordean, Ioan Gogoasa and Iosif Gergen. (2016). **Heavy Metals Health Risk Assessment for Population Via Consumption Of Vegetables Grown In Old Mining area; A Case Study: Banat County, Romania.** *Jurnal Chemistry Central.* **Vol. 5.** No. 64. 1-10.

Hamilton, S. J., Mehrle, P. M., & Jones, J. R. (1987). **Evaluation of metallothionein measurement as a biological indicator of stress from cadmium in brook trout.** *Transactions of the American Fisheries Society*. **Vol 116**. No. 4. 551-560.

Hananingtyas, Izza. (2017)**. Studi Pencemaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada ikan Tongkol (Euthynnus sp.) di Pantai Utara Jawa.** *Journal of Tropical Biology (BIOTROPIC)*. **Vol.1.** No. 2. 1-10.

Handayani, Ririn Intan. (2015). **Akumulasi Logam Berat Kromium (Cr) pada Daging ikan Nila Merah (Oreochromis sp.) Dalam Karamba Jaring Apung (KJA) di Sungai Winongo Yogyakarta.** *Tugas Akhir Jurusan Biologi Universitas Negeri Semarang.*

Hasti, Ahfi Kurnia. (2020). **Analisis Potential Ecological Risk (PER) Berdasarkan Kandungan Logam di Sungai Code Yogyakarta**. *Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan UII.*

Irianti, Tanti T. (2017). **Logam Berat & Kesehatan**. Yogyakarta : Fakultas Farmasi UGM.

Islam, Saiful, Ram Proshad, Mohammad Asadul Haque, Fazlul Hoque, Shahin, Hossin, Sarker. (2018). **Assessment of heavy metals in foods around the industrial areas: Health hazard inference in Bangladesh.** *Jurnal Geocarto International.* **Vol. 35.** No. 3. No. 280-295.

Khopkar, S.M. (1990). **Konsep Dasar Kimia Analitik.** Jakarta: Universitas Indonesia Press.

Kristianingrum, Susila. (2012). **Kajian Berbagai Proses Destruksi dan Efeknya**. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA. Yogyakarta: Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta.

Mareta, D.T. dan Sofia N. A. (2011). **Pengemasan Produk Sayuran dengan Bahan Kemas Plastik pada Penyimpanan Suhu Ruang dan Suhu Dingin.** *Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian.* **Vol. 7.** No. 1. 1-15.

Marimutu, K, M. Thailaga, S Harthiresan, R Xavier. R.H.M.H Was. (2012). **Effect of different cooking methods on proximate and mineral composition of striped snakehead fish (Channa striatus).** Block. J Food Sci Technol. **Vol 3**. No 49. 373-377.

Marwah, Rieza Ayu, Supriharyono, Haeruddin. (2015). **Analisis Konsentrasi Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Pada Air dan ikan dari Perairan Sungai Wakak Kendal.** *Diponegoro Journal Of Maquares.* **Vol. 4.** No. 3. 1-5.

Mensoor, Montazer, Ali Said. (2018)**. Determination of Heavy Metals in Freshwater Fishes of the Tigris River in Baghdad.** *Full Paper Fishes.* 13 Juni 2018. 1-6.

Monikh FA, Safahieh A, Savari A, Ronagh MT, Doraghi A. (2013). **The relationship between heavy metal (Cd, Co, Cu, Ni and Pb) levels and the size of benthic, benthopelagic and pelagic fish species, Persian Gulf. Bull Environ Contam Toxicol.** 90. 691–696

Nacke, H., Gonçalves, A. C., Schwantes, D., Nava, I. A., Strey, L., & Coelho, G. F. (2013). **Availability of Heavy Metals (Cd, Pb, and Cr) in Agriculture**

From Commercial Fertilizers. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. **Vol. 64**. No.4. 537-544.

Nurkhasanah, Silviatun. (2015). **Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air, Sedimen, dan ikan Nila (Oreochromis niloticus) serta Karakteristik Biometrik dan Kondisi Histologisnya di Sungai Cimanuk Lama, Kabupaten Indramayu.** *Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.*

OEHHA. (2020). **Lead and Lead Compounds.** https://oehha.ca.gov/. Diakses 11 Agustus 2020.

Palar, H. (2012). **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat.** Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.

Ploetz DM, Fitts BE, Rice TM. (2007). **Differential accumulation of heavy metals in muscle and liver of a marine fish, (king mackerel, Scomberomorus cavalla Cuvier) from the Northern Gulf of Mexico, USA.** *Bull Environ Contam Toxicol.* 78. 134–137.

Popek, W., Rosciszewska, M., Biorowiec, F., & Drag-Kozak, E. (2003). **Influence of Zinc and Copper on Development and Maturation of Gold Fish Ovaries.** *Annals of Animal Science 17.* 683-687.

Prastyo Y, Batu, Sulistiono. (2017). **Kandungan Logam Berat Cu dan Cd Pada ikan Belanak di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa tengah**. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. **Vol. 20.** No. 1. 18-27.

Rahman, A. (2007)**. Analisis Risiko Secara Kuantitatif, Makalah Seminar**. Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.

Rajeshkumar, S., & Li X. (2018). **Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish Species from The Meiliang Bay, Taihu Lake, China.** *Toxicology Reports 5*. 288-295.

Reverter, Miriam, Nathalie Tapissier-Bontemps, David Lecchini, Bernard Banaigs, Pierre Sasal. (2018). **Biological And Ecological Roles of External Fish Mucus: A Review.** *Full Paper Fishes.* **Vol. 3.** No. 4. 41.

Rosli, M.N.R., S.B. Samat, M.S. Yasir, M.F.M Yusof. (2018). **Analysis of Heavy Metal Accumulation in Fish at Terengganu Coastal Area, Malaysia.** *Jurnal Sains Malaysiana*. **Vol. 6**. No. 47. 1277-1283.

Safitri, Baiq Rina Amalia. (2019). **Analisis Kandungan Mineral Logam Mangan (Mn) di Kawasan Pertambangan Desa Bangkang**. *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram.* **Vol. 6**. No. 1. 1-7.

Svobodová, Z. (1993). **Water quality and fish health (No. 54)**. *Food & Agriculture Org.*.

Torowati, Asminar, Rahmiati. (2008). **Analisis Unsur Pb, Ni Dan Cu Dalam Larutan Uranium Hasil Stripping Efluen Uranium Bidang Bahan Bakar Nuklir.** *Jurnal Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN*. **Vol. 1**. No. 2. 1-6.

Trijoko, T., Yudha, D. S., Eprilurahman, R. (2016). **Keanekaragaman Jenis Ikan di Sepanjang Sungai Boyong–Code Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.** *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. **Vol. 1**. No.1. 21-29.

Velma, Venkatramreddy & Vutukuru, S.S. & Tchounwou, Paul. (2009). **Ecotoxicology of Hexavalent Chromium in Freshwater Fish: A Critical Review.** Reviews on environmental health. **Vol. 2**. No 24. 129-45.

WHO. (2004). **Manganese and Its Compounds: Environmental Aspects**. Geneva.

Widodo, Brontowiyono, Kasam, Ribut L, Ike A. (2013). **Strategi Penurunan Pencemaran Limbah Domestik di Sungai Code DIY**. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. **Vol. 5.** No. 1. 1-12.

Yu, M. H., Tsunoda, H., & Tsunoda, M. (2011). **Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants.** CRC press.

Yulaipi, Sumah, Aunorohim. (2013). **Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).** *Jurnal Sains dan Seni Fakultas MIPA, ITS.* **Vol. 2.** No. 2. 1-5.

Zeng, Fanfu, Wei Wei, Mansha Li, Ruixue Huang, Fei Yang, Yanying Duan. (2015). **Heavy Metal Contamination in Rice Producing Soils of Hunan Province, China and Potential Health Risks**. *Jurnal Enviromental Research and Potential Health Risks*. **Vol.1**. No. 12. 1-11.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Sampel S1 (Ikan Cere)



Lampiran 2 : Sampel S2-A (Ikan Wader)



Lampiran 3 : Sampel S2-B (Ikan Lele)



Lampiran 4 : Sampel S2-C (Ikan Gabus)



Lampiran 5 : Sampel S3 (Ikan Wader)



Lampiran 6 : Sampel S3-A (Ikan Wader)



Lampiran 7 : Sampel S3-B (Ikan Nila)



Lampiran 8 : Sampel S4-A (Ikan Wader)



Lampiran 9 : Sampel S4-B (Ikan Sapu-sapu)



Lampiran 10 : Sampel S4-C (Ikan Gabus)



Lampiran 11 : Sampel S5-A (Ikan *Red Devil*)



Lampiran 12 : Sampel S5-B (Ikan Sapu-sapu)



Lampiran 13 : Sampel S5-C (Ikan Gabus)



Lampiran 14 : Sampel S5-D (Ikan Nila)



Lampiran 15 : Sampel S5-E (Ikan Red Devil)



Lampiran 16 : Sampel S6-A (Ikan Nila)



Lampiran 17 : Sampel S6-B (Ikan Nilem)



Lampiran 18 : Sampel S6-C (Ikan Sapu-sapu)



Lampiran 19 : Sampel S7-A (Ikan Nila)



Lampiran 20 ; Sampel S7-B (Ikan Wader)



Lampiran 21 : Sampel S7-C (Ikan Sapu-sapu)



Lampiran 22 : Hasil Wawancara Masyarakat

No	Kode Sampel	Jenis Sampel	Cara mengambil ikan	Tujuan	Jumlah dikonsumsi		Frekuensi (perminggu)	Cara Pengolahan
					(g)	(kg)		
1	S1	Ikan Cere	Dijaring	-	-	-	-	-
2	S2-A	Ikan Wader	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	1	Goreng
3	S2-B	Ikan Lele	Dipancing	Dikonsumsi	<100	0,09	1	Goreng
4	S2-C	Ikan Gabus	Dipancing	Dikonsumsi	<100	0,09	1	Goreng
5	S3	Ikan Wader	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	3	Goreng
6	S3-A	Ikan Wader	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	3	Goreng
7	S3-B	Ikan Nila	Dipancing	Dikonsumsi	250-500	0,200	3	Goreng
8	S4-A	Ikan Wader	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	3	Goreng
9	S4-B	Ikan Sapu-Sapu	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	3	Goreng
10	S4-C	Ikan Gabus	Dipancing	Dikonsumsi	250-1000	0,375	3	Goreng
11	S5-A	Ikan Red Devil	Dipancing	Dipelihara	<100	0,050	0,25	Goreng
12	S5-B	Ikan Sapu-Sapu	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	1	Goreng
13	S5-C	Ikan Gabus	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,150	3	Goreng
14	S5-D	Ikan Nila	Dipancing	Dikonsumsi	250-500	0,150	3	Goreng
15	S5-E	Ikan Red Devil	Dipancing	Dipelihara	<100	0,050	0,25	Goreng

16	S6-A	Ikan Nila	Dipancing	Dikonsumsi	250-500	0,250	3	Goreng
17	S6-B	Ikan Nilem	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,150	2	Goreng
18	S6-C	Ikan Sapu-sapu	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,100	0,25	Goreng
19	S7-A	Ikan Nila	Dipancing	Dikonsumsi	250-500	0,200	2	Goreng
20	S7-B	Ikan Wader	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,125	2	Goreng
21	S7-C	Ikan Sapu-Sapu	Dipancing	Dikonsumsi	100-250	0,100	0,25	Goreng

Lampiran 23 : Data Konsentrasi Logam Berat

Konsentrasi Kadmium (Cd) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
1								0,03556	0,5
2	0,07104			0,01866			0,00074		0,5
3	0,02053	0,01140							0,5
4	0,00961		0,02110	0,00815					0,5
5		0,01426	0,02687	0,02340	0,02004				0,5
6		0,01724	0,03050			0,01247			0,5
7	0,03010	0,02832	0,00180						0,5
min	0,00961	0,01140	0,00180	0,00815	0,02004	0,01247	0,00074	0,03556	0,5
q1	0,01780	0,01355	0,01628	0,01340					
med	0,02531	0,01575	0,02399	0,01866					
q3	0,04033	0,02001	0,02778	0,02103					
max	0,07104	0,02832	0,03050	0,02340	0,02004	0,01247	0,00074	0,03556	

Konsentrasi Timbal (Pb) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
1								0,26537	0,4
2	0,55840			0,15297			0,09919		0,4
3	0,30795	0,18035							0,4
4	0,17570		0,24863	0,15304					0,4
5		0,20734	0,17176	0,23415	0,15234				0,4
6		0,3234	0,13982			0,26942			0,4
7	0,27648	0,19353	0,19057						0,4
min	0,17570	0,18035	0,13982	0,15297	0,15234	0,26942	0,09919	0,26537	0,4
q1	0,25129	0,19024	0,16377	0,15301					
med	0,29222	0,20044	0,18116	0,15304					
q3	0,37057	0,23636	0,20509	0,19359					
max	0,5584	0,3234	0,24863	0,23415	0,15234	0,26942	0,09919	0,26537	

Konsentrasi Tembaga (Cu) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
1								0,47801	1
2	0,44061			0,06305			0,2475		1
3	0,12740	0,12959							1
4	0,30000		0,10902	0,01253					1
5		0,06945	0,03583	0,09361	0,02031				1

Konsentrasi Tembaga (Cu) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
6		0,18846	0,07443			0,10478			1
7	0,20579	0,10739	0,11281						1
min	0,12740	0,06945	0,03583	0,01253	0,02031	0,10478	0,2475	0,47801	1
q1	0,18619	0,0979	0,06478	0,03779					
med	0,25289	0,11849	0,09172	0,06305					
q3	0,33515	0,14431	0,10997	0,07833					
max	0,44061	0,18846	0,11281	0,09361	0,02031	0,10478	0,2475	0,47801	

Konsentrasi Kromium (Cr) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
1								0,46286	1
2	1,56869			0,32682			0,11856		1
3	0,45957	0,096							1
4	0,11823		0,09378	0,10151					1
5		0,09921	0,09555	0,1012	0,12894				1
6		0,09512	0,11713			0,09979			1
7	0,05600	0,12273	0,05040						1
min	0,05600	0,09512	0,05040	0,1012	0,12894	0,09979	0,11856	0,46286	1
q1	0,10267	0,09578	0,08294	0,10136					
med	0,28890	0,0976	0,09467	0,10151					
q3	0,73685	0,10509	0,10095	0,21417					
max	1,56869	0,12273	0,11713	0,32682	0,12894	0,09979	0,11856	0,46286	

Konsentrasi Mangan (Mn) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
1								0,01749	0,2
2	0,11482			0,83764			0,49352		0,2
3	0,60603	0,23039							0,2
4	0,22168		0,33996	0,4023					0,2
5		0,16245	0,18872	0,61352	0,14596				0,2
6		0,14863	0,20863			0,55506			0,2
7	0,26878	0,37762	0,03204						0,2
min	0,11482	0,14863	0,03204	0,4023	0,14596	0,55506	0,49352	0,01749	0,2
q1	0,19496	0,15900	0,14955	0,50791					
med	0,24523	0,19642	0,19868	0,61352					
q3	0,35309	0,26720	0,24147	0,72558					
max	0,60603	0,37762	0,33996	0,83764	0,14596	0,55506	0,49352	0,01749	

Konsentrasi Besi (Fe) (mg/kg bb)									
Lokasi	Wader	Nila	Sapu-sapu	Gabus	Red Devil	Nilem	Lele	Cere	BM
1								15,1142	1
2	16,2318			5,06982			7,65743		1
3	7,72618	1,75156							1
4	3,38514		6,74486	3,44524					1
5		1,80124	4,42338	2,97437	1,39704				1
6		2,60527	3,94075			2,37704			1
7	6,22230	3,6117	5,79765						1
min	3,38514	1,75156	3,94075	2,97437	1,39704	2,37704	7,65743	15,1142	
q1	5,51301	1,78882	4,30273	3,20981					
med	6,97424	2,20326	5,11051	3,44524					
q3	9,85259	2,85688	6,03445	4,25753					
max	16,2318	3,6117	6,74486	5,06982	1,39704	2,37704	7,65743	15,1142	

Lampiran 24 : Konsentrasi ikan Menurut Zona

Logam	**Konsentrasi (mg/kg bb)**	**Zona**		
		A	**B**	**C**
Cd	minimum	0,00074	0,00815	0,0018
	rata-rata	0,02549	0,01765	0,0155
	maksimum	0,07104	0,0305	0,0301
Pb	minimum	0,09919	0,13753	0,19057
	rata-rata	0,24642	0,19712	0,21279
	maksimum	0,55840	0,32340	0,27648
Cu	minimum	0,03164	0,00102	0,10739
	rata-rata	0,20565	0,08581	0,13334
	maksimum	0,47801	0,30000	0,20579
Cr	minimum	0,08694	0,08150	0,05040
	rata-rata	0,41076	0,10507	0,06988
	maksimum	1,56869	0,17638	0,12273
Mn	minimum	0,01749	0,07799	0,03204
	rata-rata	0,36542	0,26757	0,17762
	maksimum	0,83764	0,61352	0,37762
Fe	minimum	1,75156	0,64812	3,61170
	rata-rata	7,87859	2,92829	4,81083
	maksimum	16,2318	6,74486	6,22230

Lampiran 25 : Data Analisis Pajanan (Estimasi Intake)

Estimasi Intake ikan Wader (Barbodes binotatus)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
1	Ikan Wader (Barbodes binotatus)	Intake Min	0,009606	0,1757	0,127397	0,055996	0,114817	3,385141
		Intake rata-rata	0,032819	0,329634	0,268449	0,550620	0,302825	8,391362
		Intake Maksimum	0,071043	0,558398	0,440610	1,568687	0,606025	16,23182

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,125	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Wader (Barbodes binotatus)	Intake Min	1,17E-06	2,14E-05	3,62E-05	6,83E-06	3,27E-05	9,63E-04
	Intake rata-rata	4,00E-06	4,02E-05	7,64E-05	6,71E-05	8,62E-05	2,39E-03
	Intake Maksimum	8,66E-06	6,81E-05	1,25E-04	1,91E-04	1,72E-04	4,62E-03

Estimasi Intake ikan Nila (Oreochromis niloticus)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
2	Ikan Nila (Oreochromis niloticus)	Intake Min	0,011399	0,180352	0,069445	0,095122	0,148628	1,751562
		Intake rata-rata	0,017806	0,226157	0,123721	0,103263	0,229772	2,442442
		Intake Maksimum	0,028321	0,323403	0,188461	0,122726	0,377620	3,611696

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,2	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Nila (Oreochromis niloticus)	Intake Min	1,39E-06	2,20E-05	1,98E-05	1,16E-05	4,23E-05	4,98E-04
	Intake rata-rata	2,17E-06	2,76E-05	3,52E-05	1,26E-05	6,54E-05	6,95E-04
	Intake Maksimum	3,45E-06	3,94E-05	5,36E-05	1,50E-05	1,07E-04	1,03E-03

Estimasi Intake ikan Sapu-sapu (Hypostosmus hyposarcus)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
3	Ikan Sapu-sapu (Hypostosmus hyposarcus)	Intake Min	0,001800	0,139822	0,035832	0,050403	0,402300	3,940755
		Intake rata-rata	0,030502	0,24863	0,112806	0,117128	0,617818	6,744857
		Intake Maksimum	0,030502	0,24863	0,112806	0,117128	0,837635	6,744857

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata (hari)	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,1125	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Sapu-sapu (Hypostosmus hyposarcus)	Intake Min	2,19E-07	1,70E-05	1,02E-05	6,15E-06	1,14E-04	1,12E-03
	Intake rata-rata	3,72E-06	3,03E-05	3,21E-05	1,43E-05	1,76E-04	1,92E-03
	Intake Maksimum	3,72E-06	3,03E-05	3,21E-05	1,43E-05	2,38E-04	1,92E-03

Estimasi Intake ikan Gabus (Channa striatta)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
4	Ikan Gabus (Channa striatta)	Intake Min	0,008146	0,152975	0,012533	0,101199	0,402300	2,974370
		Intake rata-rata	0,016735	0,180054	0,056397	0,176511	0,617818	3,829810
		Intake Maksimum	0,023402	0,234150	0,093609	0,326819	0,837635	5,069818

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,205	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Gabus (Channa striatta)	Intake Min	9,93E-07	1,87E-05	3,57E-06	1,23E-05	1,14E-04	8,46E-04
	Intake rata-rata	2,04E-06	2,20E-05	1,60E-05	2,15E-05	1,76E-04	1,09E-03
	Intake Maksimum	2,85E-06	2,86E-05	2,66E-05	3,99E-05	2,38E-04	1,44E-03

Estimasi Intake ikan Red Devil (Amphilopus labiatus)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
5	Ikan Red Devil (Amphilopus labiatus)	Intake Min	0,020041	0,152335	0,020307	0,128939	0,145963	1,397037
		Intake rata-rata	0,020041	0,152335	0,020307	0,128939	0,145963	1,397037
		Intake Maksimum	0,020041	0,152335	0,020307	0,128939	0,145963	1,397037

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,05	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Red Devil (Amphilopus labiatus)	Intake Min	2,44E-06	1,86E-05	5,78E-06	1,57E-05	4,15E-05	3,97E-04
	Intake rata-rata	2,44E-06	1,86E-05	5,78E-06	1,57E-05	4,15E-05	3,97E-04
	Intake Maksimum	2,44E-06	1,86E-05	5,78E-06	1,57E-05	4,15E-05	3,97E-04

Estimasi Intake ikan Nilem (Osteochilus vittatus)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
6	Ikan Nilem (Osteochilus vittatus)	Intake Min	0,012473	0,099193	0,104776	0,099787	0,555063	2,377042
		Intake rata-rata	0,012473	0,099193	0,104776	0,099787	0,555063	2,377042
		Intake Maksimum	0,012473	0,099193	0,104776	0,099787	0,555063	2,377042

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,15	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Nilem (Osteochilus vittatus)	Intake Min	1,52E-06	1,21E-05	2,98E-05	1,22E-05	1,58E-04	6,76E-04
	Intake rata-rata	1,52E-06	1,21E-05	2,98E-05	1,22E-05	1,58E-04	6,76E-04
	Intake Maksimum	1,52E-06	1,21E-05	2,98E-05	1,22E-05	1,58E-04	6,76E-04

Estimasi Intake ikan Lele (Clarias betrachus)

No,	Jenis Sampel	Keterangan	Konsentrasi Logam (mg/kg bb)					
			Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
7	Ikan Lele (Clarias betrachus)	Intake Min	0,000741	0,265367	0,247502	0,118564	0,493521	7,657434
		Intake rata-rata	0,000741	0,265367	0,247502	0,118564	0,493521	7,657434
		Intake Maksimum	0,000741	0,265367	0,247502	0,118564	0,493521	7,657434

Laju Asupan	Durasi Pajanan	Frekuensi	Berat Badan	Periode Waktu Rata-rata	
(kg/hari)	(tahun)	(hari/tahun)	(kg)	nonkarsinogenik	karsinogenik
0,09	30	54	65	10950	25550

Jenis Sampel	Keterangan	Intake (mg/kg bb/hari)					
		Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Fe
Ikan Lele (Clarias betrachus)	Intake Min	9,04E-08	3,24E-05	7,04E-05	1,45E-05	1,40E-04	2,18E-03
	Intake rata-rata	9,04E-08	3,24E-05	7,04E-05	1,45E-05	1,40E-04	2,18E-03
	Intake Maksimum	9,04E-08	3,24E-05	7,04E-05	1,45E-05	1,40E-04	2,18E-03

Lampiran 26 : Data Karakteristik Risiko

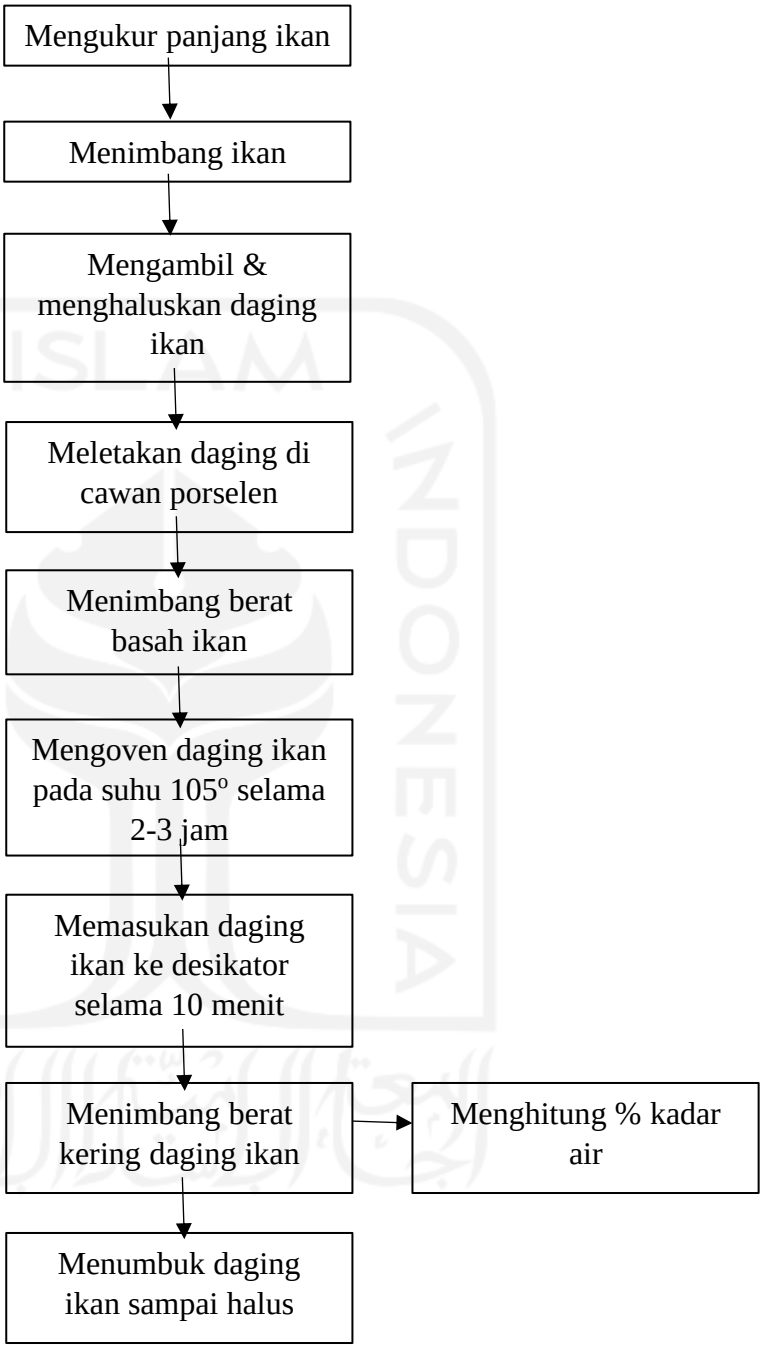
No,	Jenis Sampel	Keterangan	Karakteristik Risiko					
			ECR Cd	ECR Pb	ECR Cr	RQ Cu	RQ Mn	RQ Fe
1	Ikan Wader (*Barbodes binotatus*)	Intake Min	1,76E-05	1,82E-07	3,41E-06	9,06E-04	2,33E-04	1,76E-05
		Intake rata-rata	6,00E-05	3,42E-07	3,36E-05	1,91E-03	6,15E-04	6,00E-05
		Intake Maksimum	1,30E-04	5,79E-07	9,56E-05	3,13E-03	1,72E-04	1,30E-04
2	Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)	Intake Min	2,08E-05	1,87E-07	5,80E-06	4,94E-04	3,02E-04	2,08E-05
		Intake rata-rata	3,26E-05	2,34E-07	6,30E-06	8,80E-04	4,67E-04	3,26E-05
		Intake Maksimum	5,18E-05	3,35E-07	7,48E-06	1,34E-03	7,67E-04	5,18E-05
3	Ikan Sapu-sapu (*Hypostosmus hyposarcus*)	Intake Min	3,29E-06	1,45E-07	3,07E-06	2,55E-04	8,18E-04	3,29E-06
		Intake rata-rata	5,58E-05	2,58E-07	7,14E-06	8,02E-04	1,26E-03	5,58E-05
		Intake Maksimum	5,58E-05	2,58E-07	7,14E-06	8,02E-04	1,70E-03	5,58E-05
4	Ikan Gabus (*Channa striatta*)	Intake Min	1,49E-05	1,59E-07	6,17E-06	8,91E-05	8,18E-04	1,49E-05
		Intake rata-rata	3,06E-05	1,87E-07	1,08E-05	4,01E-04	1,26E-03	3,06E-05
		Intake Maksimum	4,28E-05	2,43E-07	1,99E-05	6,66E-04	1,70E-03	4,28E-05
5	Ikan Red Devil (*Amphilopus labiatus*)	Intake	3,67E-05	1,58E-07	7,86E-06	1,44E-04	2,97E-04	5,68E-04
	Ikan Nilem (*Osteochilus vittatus*)		2,28E-05	1,03E-07	6,08E-06	7,45E-04	1,13E-03	9,66E-04
	Ikan Lele (*Clarias betrachus*)		1,36E-06	2,75E-07	7,23E-06	1,76E-03	1,00E-03	3,11E-03

**Kolom yang berwarna adalah nilai yang tidak aman*

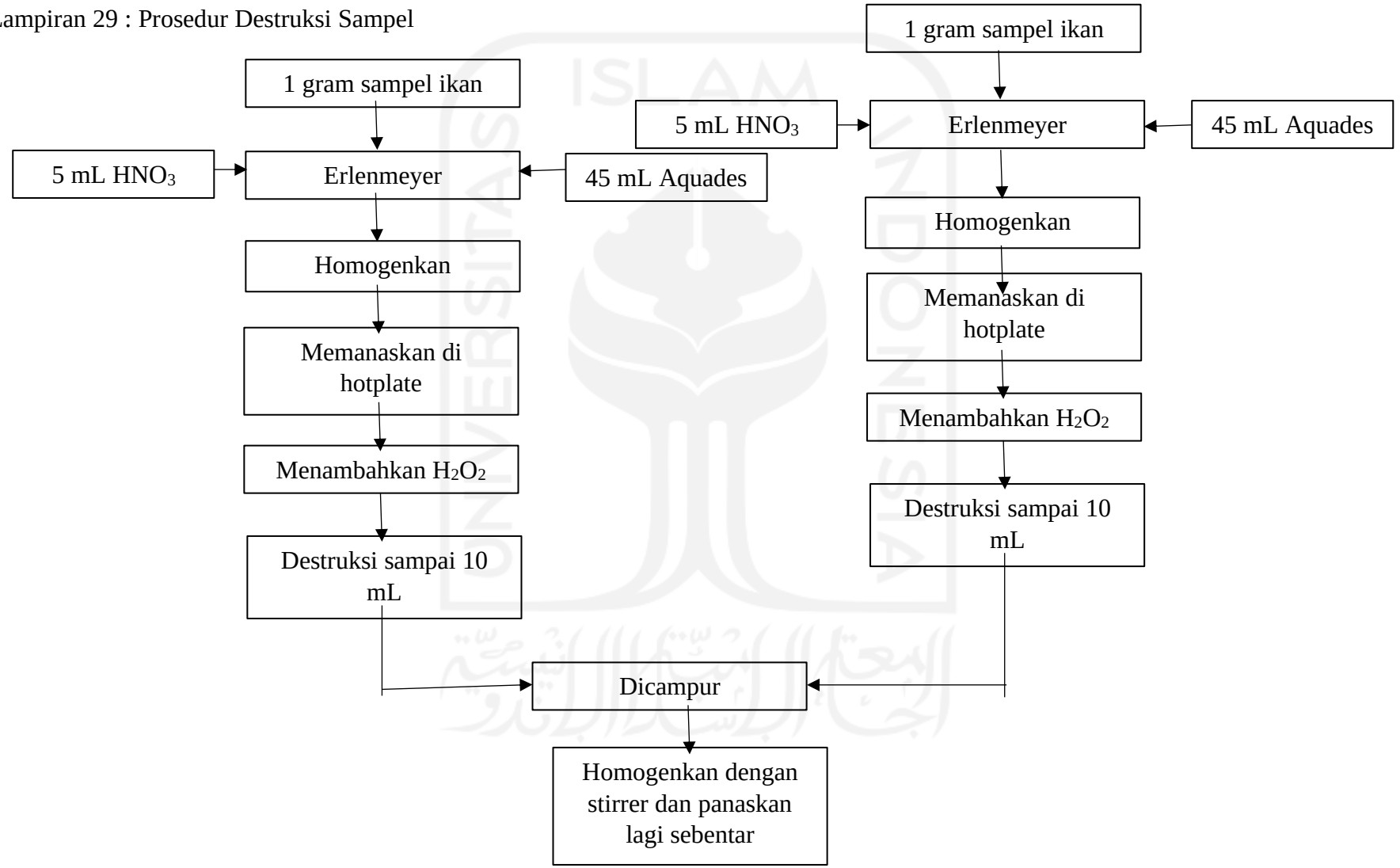
Lampiran 27 : Data Kadar Air ikan

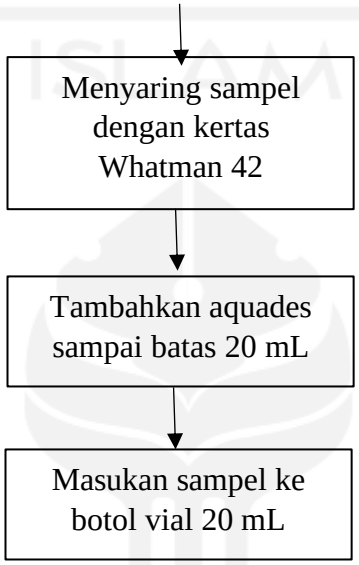
No	Kode Sampel	Jenis Sampel	Kadar Air (%)
1	S1	Ikan Cere	58,29414
2	S2-A	Ikan Wader	71,76062
3	S2-B	Ikan Lele	74,10229
4	S2-C	Ikan Gabus	64,33452
5	S3-A	Ikan Wader	72,45342
6	S3	Ikan Wader	71,90486
7	S3-B	Ikan Nila	59,99731
8	S4-A	Ikan Wader	73,89203
9	S4-B	Ikan Sapu-Sapu	58,61423
10	S4-C	Ikan Gabus	62,66357
11	S5-A	Ikan Red Devil	50,93686
12	S5-B	Ikan Sapu-Sapu	59,72058
13	S5-C	Ikan Gabus	63,24947
14	S5-D	Ikan Nila	62,00472
15	S5-E	Ikan Red Devil	59,99311
16	S6-A	Ikan Nila	59,45129
17	S6-B	Ikan Nilem	62,36663
18	S6-C	Ikan Sapu-sapu	61,00428
19	S7-A	Ikan Nila	59,00307
20	S7-B	Ikan Wader	69,99529
21	S7-C	Ikan Sapu-Sapu	60,00337

Lampiran 28 : Prosedur Preparasi Sampel

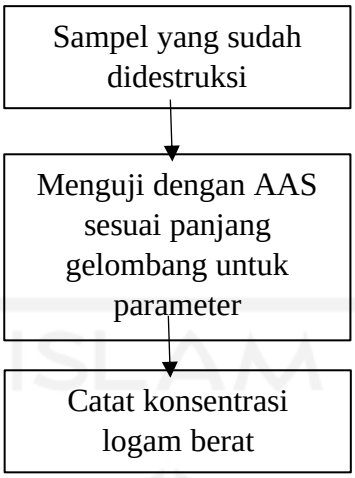


Lampiran 29 : Prosedur Destruksi Sampel




Menyaring sampel dengan kertas Whatman 42
Tambahkan aquades sampai batas 20 mL
Masukan sampel ke botol vial 20 mL

Lampiran 30 : Prosedur Pengujian Logam Berat



Contoh perhitungan :

1. Perhitungan konsentrasi logam berat (pada sampel Ikan Cere/S1)

   $C = \frac{(Ci-Cb)x\ Fc\ x\ Vt}{W\ x\ Fp}$ x kadar air

   $C = \frac{(0{,}059 - 0{,}028)\frac{mg}{L} x\ 1\ x\ 0{,}02\ L}{0.002\ kg\ x\ 5}\ x\ 58{,}29\%$

   $C = 0{,}036\ mg/kg$

2. Perhitungan analisis pajanan (intake) maksimum pada ikan Wader (*Barbodes binotatus*)

   $I = \frac{C\ x\ R\ x\ fE\ x\ Dt}{Wb\ x\ t\ avg}$

   $I = \frac{0.071\frac{mg}{kg} x\ 0.125\frac{kg}{hari}\ x\ 54\frac{hari}{tahun}\ x\ 30\ tahun}{65\ kg\ x\ 25550\ hari}$

   $I = 0{,}00000866$ mg/kg bb/hari

3. Perhitungan karakteristik risiko (RQ Fe dan ECR Cd pada intake maksimum ikan Wader (*Barbodes binotatus*))

   $RQ = \frac{Intake\ (\frac{\frac{mg}{kg}}{hari})}{RfD\ atau\ RfC}$

   $RQ = \frac{16{,}231\frac{mg}{kg}/hari}{0.7}$

   $RQ = 0{,}0066$ mg/kg bb/hari

   ECR = Intake (*mg/kg bb/hari*) x SF

ECR = 0,00000866 mg/kg bb/hari x 15

ECR = 0.0013 mg/kg bb/hari

4. Penentuan konsentrasi aman agen karsinogenik

$$C(a) = \frac{\left(\frac{0,0001}{SF}\right) x\ Wb\ x\ 70\ x\ 365}{R\ x\ fE\ x\ Dt}$$

$$C(a) = \frac{\left(\frac{0,0001}{15}\right) x\ 65\ x\ 70\ x\ 365}{0.125\ x\ 54\ x\ 30}$$

$$C(a) = 0,054$$

5. Penentuan laju konsumsi aman agen karsinogenik dalam rumus (8).

$$R(a) = \frac{\left(\frac{0,0001}{SF}\right) x\ Wb\ x\ 70\ x\ 365}{C\ x\ fE\ x\ Dt}$$

$$R(a) = \frac{\left(\frac{0,0001}{15}\right) x\ 65\ x\ 70\ x\ 365}{0.071\ x\ 54\ x\ 30}$$

$$R(a) = 0,096$$