

TUGAS AKHIR

ANALISIS *HEAVY METAL POLLUTION INDEX* (HMPI) PADA AIR PERMUKAAN DI SUNGAI WINONGO, YOGYAKARTA

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



DIAH RETNO JAYANTRI

17513086

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

20121

TUGAS AKHIR

ANALISIS *HEAVY METAL POLLUTION INDEX* (HMPI) PADA AIR PERMUKAAN DI SUNGAI WINONGO, YOGYAKARTA

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



DIAH RETNO JAYANTRI
17513086

Disetujui,

Pembimbing 1

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

NIK. 155131313

Tanggal: 11 Agustus 2021

Pembimbing 2

Nelly Marlina S.T., M.T

NIK. 125130401

Tanggal: 11 Agustus 2021

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswono S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal: 13 Agustus 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS HEAVY METAL POLLUTION INDEX (HMPI) PADA AIR
PERMUKAAN DI SUNGAI WINONGO, YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

**Hari: Rabu
Tanggal: 11 Agustus 2021**

Disusun Oleh:

**DIAH RETNO JAYANTRI
17513086**

Tim Penguji:

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

()

Nelly Marlina S.T., M.T

()

Annisa Nurlathifah S.Si., M.Biotech., Ph.D.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 15 Juni 2021
Yang membuat pernyataan,



Diah Retno Jayantri
NIM. 17513086

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas ridho, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhsir ini. Tugas Akhir yang telah dilaksanakan sejak bulan desember 2020 ini berjudul “Analisis Heavy Metal Pollution Index Pada Air Permukaan Di Sepanjang Sungai Winongo, Yogyakarta” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tugas akhir ini tentunya mengalami banyak hambatan serta rintangan yang dihadapi, namun semuanya dapat terlewati karena bimbingan dan bantuan dari banyak pihak baik secara moral maupun spiritual. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D selaku Kepala Prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Dr. Suphia Rahmawati S.T., M.T, Nelly Marlina S.T., M.T, dan Any Juliani, ST., M.Sc. (Res.Eng.) selaku dosen yang selalu memberikan bantuan masukan dan arahan dalam menyusun Tugas Akhir ini.
4. Kedua orang tua Bapak Eko Prasetyo dan Ibu Mega wati serta kakak Dwiyantoro Armada Putra yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan selama pembuatan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh jajaran dosen, laboran, dan staf program studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah mendukung jalannya penelitian ini
6. Teman-teman satu tim yaitu Witiany, Citra, Khoirul, dan Rama yang sudah mau bekerja sama, membantu, dan memberikan dukungan satu sama lain.
7. Sahabat-sahabat saya Putri, Nahda, Alifia, Tania, Ruchi, Rezia, Ari, Faizal, Irvons, dan Axel yang bersedia meluangkan waktunya untuk mendengar keluh kesah, menghibur, dan membantu memberikan saran masukan

ataupun solusi selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini sejak sampling sampai mendekati sidang akhir.

8. Teman-teman angkatan 2017 terimakasih untuk bantuan dan support sejak maba, semoga selalu berkomunikasi.
9. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih sudah memberikan semangat dan segala bentuk masukan.

Yogyakarta, 14 Juni 2021

Diah Retno Jayantri



ABSTRACT

Pollution of surface water by heavy metals, especially in rivers, is still a serious problem. The Winongo River crosses Sleman Regency, Yogyakarta City and Bantul Regency which has the potential to experience pollution from domestic, industrial, and agricultural wastes which may contain heavy metals and are certainly harmful to organism. The purpose of this study was to determine the concentration of heavy metals Copper (Cu), Chromium (Cr), Lead (Pb), Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Aluminium (Al), Iron (Fe), Manganese (Mn) and determine the status of heavy metal pollution based on the Heavy Metal Pollution Index (HMPI) along the Winongo River, Yogyakarta. The Heavy Metal Pollution Index (HMPI) method is used to identify and measure water quality trends to evaluate the overall level of water pollution in terms of heavy metals in water samples. Sampling in this study was carried out at 12 (twelve) points where Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) was used to test heavy metal parameters. The results of the concentration of heavy metals Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Al in this study were 0.00147-0.05 mg/L, 0.004-0.01 mg/L, Cr metal was below the detection limit 0.016 g/L, 0.00018-0.003 mg/L, 0.05-0.07 mg/L, 0.05-0.07 mg/L, 0.0004-0.022 mg/L, and 0.49-2,01 mg/L. Meanwhile, the results of the HMPI analysis showed that the water sampling in February in the Winongo River was contaminated with heavy metals by exceeding the critical limit value > 100.

Keywords: *Water, Heavy Metals, HMPI, Winongo River*

ABSTRAK

Pencemaran air permukaan oleh logam berat khususnya di sungai masih menjadi permasalahan yang serius. Sungai Winongo melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul dimana memiliki potensi mengalami pencemaran berasal dari limbah domestik, industri, dan pertanian yang mungkin mengandung logam berat dan tentunya berbahaya bagi makhluk hidup. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi logam berat Tembaga (Cu), Kromium (Cr), Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kadmium (Cd), ALuminium (Al), Besi (Fe), Mangan (Mn) serta menentukan status pencemaran logam berat berdasarkan *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI) di sepanjang Sungai Winongo, Yogyakarta. Metode *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI) digunakan dalam hal mengidentifikasi dan mengukur tren kualitas air untuk mengevaluasi tingkat pencemaran air secara keseluruhan dalam hal logam berat dalam sampel air. Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan pada 12 (duabelas) titik dimana menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS) untuk menguji parameter logam berat. Hasil konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Al pada penelitian ini secara berturut-turut yaitu 0,00147-0,05 mg/L, 0,004-0,01 mg/L, logam Cr berada dibawah limit deteksi $\leq 0,016 \mu\text{g/l}$, 0,00018-0,003 mg/L, 0,037-0,07 mg/L, 0,05-0,07 mg/L, 0,0004-0,022 mg/L, dan 0,49-2,01 mg/L. Sedangkan hasil dari analisis HMPI memperlihatkan bahwa sampling air pada bulan Februari di Sungai Winongo telah tercemar logam berat dengan melewati nilai batas kritis > 100 .

Kata Kunci: Air, Logam Berat, HMPI, Sungai Winongo

DAFTAR ISI

ABSTRACT	6
ABSTRAK	7
DAFTAR ISI	8
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR GAMBAR	13
DAFTAR LAMPIRAN	15
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	16
BAB I	18
PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang	18
1.2 Rumusan Masalah	20
1.3 Tujuan Penelitian	20
1.4 Manfaat Penelitian	20
1.5 Ruang Lingkup	21
BAB II	22
TINJAUAN PUSTAKA	22
2.1 Logam Berat	22
2.1.1 Besi (Fe)	23
2.1.2 Timbal (Pb)	23
2.1.3 Kadmium (Cd)	24
2.1.4 Nikel (Ni)	24
2.1.5 Mangan (Mn)	25
2.1.6 Tembaga (Cu)	25
2.1.7 Aluminium (Al)	26
2.1.8 Kromium (Cr)	27
2.2 Pencemaran Air	27
2.3 Pencemaran Logam Berat	28
2.4 Sungai Winongo	29
2.5 Parameter Fisika dan Kimia	30
2.5.1 Suhu	30
2.5.2 TDS	30
2.5.3 Konduktivitas	31

2.5.4	pH	32
2.5.5	ORP (<i>Oxidation Reduction Potential</i>).....	32
2.5.6	COD (Chemical Oxygen Demand).....	33
2.5.7	BOD (Biochemical Oxygen Demand)	34
2.6	Analisis Logam Berat.....	35
2.6.1	Destruksi.....	35
2.6.2	Spektrophotometer Serapan Atom (SSA)	36
2.7	Heavy Metal Pollution Index	37
2.8	Baku Mutu Kualitas Air Sungai	38
2.9	Penelitian Terdahulu	39
BAB III.....		41
METODE PENELITIAN.....		41
3.1	Tahapan Penelitian	41
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian	42
3.3	Jenis dan Variabel Penelitian	43
3.4	Alat dan Bahan	44
3.4.1	Alat	44
3.4.2	Bahan.....	44
3.5	Pengumpulan Data	44
3.6	Prosedur Kerja	45
3.6.1	Tahap Persiapan	45
3.6.2	Tahap Pengambilan Sampel	45
3.6.3	Destruksi Sampel.....	46
3.6.4	Pengujian Sampel.....	46
3.7	Analisis Data	47
BAB IV		49
HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Deskripsi Daerah Penelitian	49
4.1.1	Jembatan Jambon	49
4.1.2	Panggung.....	50
4.1.3	Jembatan Jatimulyo	50
4.1.4	Bumijo	51
4.1.5	Kyai Mojo.....	52
4.1.6	Jembatan Merah	52

4.1.7	Ngampilan	53
4.1.8	Gedongkiwo.....	53
4.1.9	Mantrijeron.....	54
4.1.10	Tirtonirmolo.....	55
4.1.11	Jogonalan.....	56
4.1.12	Jembatan Winongo	56
4.2	Analisis Parameter Kimia dan Fisika.....	57
4.2.1	Suhu	57
4.2.2	TDS (<i>Total Dissolve Solid</i>).....	60
4.2.3	Konduktivitas	62
4.2.4	pH (Derajat Keasaman)	63
4.2.5	ORP (<i>Oxidation Reduction Potential</i>).....	65
4.2.6	COD (Chemical Oxygen Demand).....	67
4.2.7	BOD (Biochemical Oxygen Demand)	69
4.3	Analisis Logam Berat.....	71
4.3.1	Besi (Fe)	71
4.3.2	Mangan (Mn).....	74
4.3.3	Timbal (Pb)	76
4.3.4	Kadmium (Cd)	78
4.3.5	Tembaga (Cu).....	80
4.3.6	Nikel (Ni)	82
4.3.7	Aluminium (Al)	84
4.3.8	Kromium (Cr)	86
4.4	Analisis <i>Heavy Metal Pollution Index</i>	87
BAB V	.....	93
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	.....	95
LAMPIRAN	.....	102
LAMPIRAN A	.....	103
LAMPIRAN B	.....	108
LAMPIRAN C	.....	110
LAMPIRAN D	.....	134



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021	35
Tabel 3.1 Lokasi sampling beserta titik koordinat.....	39
Tabel 3.2 Parameter, metode atau alat yang digunakan untuk analisa kualitas air Sungai Winongo	42
Tabel 3.3 Nilai HPI untuk evaluasi pencemaran logam berat	45
Tabel 4.1 Konsentrasi Total Logam (ppb) Di Sungai Winongo Sampling 1 ...	86
Tabel 4.2 Konsentrasi Total Logam (ppb) Di Sungai Winongo Sampling 2 ...	87
Tabel 4.3 Konsentrasi Total Logam (ppb) Di Sungai Winongo Sampling 3 ...	87
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan HMPI Sampling 1	88
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan HMPI Sampling 2	89
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan HMPI Sampling 2	89
Tabel 4.7 Hasil HMPI Sungai Code	91
Tabel 4.8 Persentase Tutupan Lahan <i>Buildin</i>	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi sungai menurut range ORP (mV)	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	38
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	40
Gambar 4.1 Lokasi sampling titik 1.....	46
Gambar 4.2 Lokasi sampling titik 2.....	47
Gambar 4.3 Lokasi sampling titik 3.....	48
Gambar 4.4 Lokasi sampling titik 4.....	49
Gambar 4.5 Lokasi sampling titik 5.....	49
Gambar 4.6 Lokasi sampling titik 6.....	50
Gambar 4.7 Lokasi sampling titik 7.....	51
Gambar 4.8 Lokasi sampling titik 8.....	51
Gambar 4.9 Lokasi sampling titik 9.....	52
Gambar 4.10 Lokasi sampling titik 10.....	53
Gambar 4.11 Lokasi sampling titik 11.....	54
Gambar 4.12 Lokasi sampling titik 12.....	54
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Suhu Sungai Winongo	55
Gambar 4.14 Diagram boxplot Suhu Sungai Winongo	56
Gambar 4.15 Hasil Pengukuran TDS Sungai Winongo.....	57
Gambar 4.16 Diagram boxplot TDS Sungai Winongo.....	58
Gambar 4.17 Hasil Pengukuran Konduktivitas Sungai Winongo	59
Gambar 4.18 Diagram boxplot Konduktivitas Sungai Winongo	60
Gambar 4.19 Hasil Pengukuran pH Sungai Winongo	61
Gambar 4.20 Diagram pH Suhu Sungai Winongo	62
Gambar 4.21 Hasil Pengukuran ORP Sungai Winongo	63
Gambar 4.22 Diagram boxplot ORP Sungai Winongo.....	64
Gambar 4. Hasil Pengukuran COD Sungai Winongo.....	65
Gambar 4.24 Diagram boxplot COD Sungai Winongo	66
Gambar 4.25 Hasil Pengukuran BOD Sungai Winongo.....	67

Gambar 4.26 Diagram boxplot BOD Sungai Winongo	68
Gambar 4.27 Hasil Pengukuran Besi (Fe) Sungai Winongo.....	69
Gambar 4.28 Diagram boxplot Besi (Fe) Sungai Winongo	70
Gambar 4.29 Hasil Pengukuran Mangan (Mn) Sungai Winongo	71
Gambar 4.30 Diagram boxplot Mangan (Mn) Sungai Winongo.....	72
Gambar 4.31 Hasil Pengukuran Timbal (Pb) Sungai Winongo	73
Gambar 4.32 Diagram boxplot Timbal (Pb) Sungai Winongo.....	74
Gambar 4.33 Hasil Pengukuran Kadmium (Cd) Sungai Winongo.....	76
Gambar 4.34 Diagram boxplot Kadmium (Cd) Sungai Winongo	76
Gambar 4.35 Hasil Pengukuran Tembaga Sungai Winongo	78
Gambar 4.36 Diagram boxplot Tembaga Sungai Winongo.....	79
Gambar 4.37 Hasil Pengukuran Nikel Sungai Winongo	80
Gambar 4.38 Diagram boxplot Nikel Sungai Winongo.....	81
Gambar 4.39 Hasil Pengukuran Aluminium Sungai Winongo	83
Gambar 4.40 Grafik <i>Heavy Metal Pollution Index</i> Tiap Titik	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.....	103
Lampiran B.....	108
Lampiran C.....	110
Lampiran D.....	134
Lampiran E.....	137



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AAS = Absorption Atomic Spectrometry

Al = Aluminium

As = Arsen

Au = Emas

BAB = Buang air besar

Ba = Barium

BOD = Biological Oxygen Demand

Ca = Kalsium

Cd = Kadmium

Cr = Kromium

Co = Kobalt

COD = Chemical Oxygen Demand

Cu = Tembaga

DAS = Daerah aliran sungai

DHL = Daya hantar listrik

DO = Dissolved Oxygen

Fe = Besi

Hg = Raksa

HMPI = Heavy Metal Pollution Index

km = Kilometer

Li = Litium

LoD = Limit deteksi

MCK = Mandi, Cuci, Kakus

Mn = Mangan

Mg = Magnesium

mg/L = Miligram per liter

mg/Kg = Miligram per kilogram

Na = Natrium

Ni	=	Nikel
nm	=	Nanometer
ORP	=	Oxidation Reduction Potential
Pb	=	Timbal
Ph	=	Derajat keasaman
Ppb	=	Parts per billion
Rb	=	Rubidium
Sb	=	Stibium
Si	=	Silicon
Sr	=	Stronsium
TDS	=	Total Dissolve Solid
Te	=	Telurium
Ti	=	Titanium
U	=	Uranium
Zn	=	Seng
μm	=	Mikrometer
$^{\circ}\text{C}$	=	Derajat selsius
<	=	Kurang dari
C-H	=	Karbon berikatan dengan hidrogen



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai ialah aliran air alami yang memiliki aliran berawal dari pegunungan menuju lautan atau dari sumber (hulu) ke muara (hilir). Sungai berperan strategis pada bidang ekonomi terutama bagi masyarakat dan pembangunan atau asifikasi daerah adalah sebagai mata air awal untuk air minum, sarana budidaya perikanan, sumber air irigasi pertanian, dan juga dapat difungsikan sebagai pembangkit listrik daerah. Sungai sebagai ekosistem dengan perairan terbuka mendapatkan input dari hulu hingga muara berbentuk limbah buangan industri dan limbah rumah tangga. Hal tersebut bisa menyebabkan kualitas sungai menjadi turun, berpengaruh terhadap kehidupan akuatik, serta dapat merugikan kehidupan manusia (Shoolikhah *et al.*, 2014).

Sungai Winongo di Yogyakarta telah menjadi salah satu sungai yang memiliki pengaruh dan berperan penting untuk masyarakat. Sungai Winongo melewati Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, sampai Kabupaten Bantul dengan keunikan penggunaan lahan yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi kualitasnya. Sungai Winongo juga telah menjadi salah satu dari tiga sungai yang dimana merupakan saluran drainase utama untuk seluruh wilayah Kota Yogyakarta.

Menurut Yogafanny (2015) terdapat beberapa industri di area sekeliling Sungai Winongo yang belum melaksanakan pengolahan terhadap limbah yang dihasilkan dan membuangnya langsung ke badan sungai. Selain itu, kebiasaan warga sekitar Sungai Winongo yang melakukan BAB di sungai, sistem sanitasi yang buruk, kotoran ternak dan tumpukan sampah yang dibiarkan pada pinggir sungai mempunyai dampak langsung terhadap kualitas air sungai. Apabila terdapat limbah industri yang tidak di olah sebelum dibuang dan langsung membuangnya ke sungai dapat memicu terjadinya penurunan kualitas air sungai (Adack, 2013).

Dalam beberapa tahun terakhir, pencemaran logam di ekosistem perairan telah menarik perhatian global karena toksisitas dan kelimpahannya pada

lingkungan. Sejumlah besar bahan kimia berbahaya terutama logam berat telah dilepaskan ke sungai di seluruh dunia karena pertumbuhan populasi global yang cepat dan aktivitas domestik yang intensif, serta perluasan produksi industri dan pertanian. Sungai di perkotaan juga telah dikaitkan dengan permasalahan dan menjadi perbincangan terkait kualitas air dikarenakan praktik pembuangan limbah domestik rumah tangga dan industri yang belum diolah dan langsung dibuang ke badan air menyebabkan kandungan logam pada air sungai mengalami peningkatan (Islam *et al.*, 2015).

Logam berat yang tercemar pada badan sungai sudah menjadi permasalahan utama. Pada akhirnya logam berat akan berdifusi dan terakumulasi di dalam tanah, air permukaan, dan air tanah. Hal tersebut dapat memberikan dampak buruk untuk kesehatan manusia dan organisme hidup (Boateng *et al.*, 2015). Salah satu indeks pencemaran yang membantu dalam melihat kadar kualitas air sungai yaitu *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI). Studi spasial logam berat yang diolah menggunakan HMPI dapat membantu dalam mengidentifikasi dan mengukur tren kualitas air (Reza and Singh, 2010). Hasil dari HMPI dapat memberikan informasi dan penilaian yang selanjutnya akan diberikan kepada manajemen sumberdaya dan badan pengatur untuk mengevaluasi serta membuat keputusan.

Berdasarkan permasalahan diatas dan mengingat pentingnya peran Sungai Winongo, maka diperlukan pemantauan terhadap kualitas air sehubungan dengan pencemaran logam berat menggunakan *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI). Di samping itu, penelitian terkait kualitas air Sungai Winongo terutama yang terkait logam berat masih sangat terbatas. Penelitian ini dilakukan untuk melengkapi kekurangan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Apabila dilihat dari latar belakang yang telah dibahas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar konsentrasi logam berat Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, Mn yang terdapat dalam badan air Sungai Winongo, Yogyakarta?
2. Bagaimana status pencemaran logam berat dalam air Sungai Winongo berdasarkan *heavy metal pollution index*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui konsentrasi logam berat Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, Mn pada perairan Sungai Winongo di Yogyakarta.
2. Menentukan status pencemaran logam berat di Sungai Winongo berdasarkan *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI).

1.4 Manfaat Penelitian

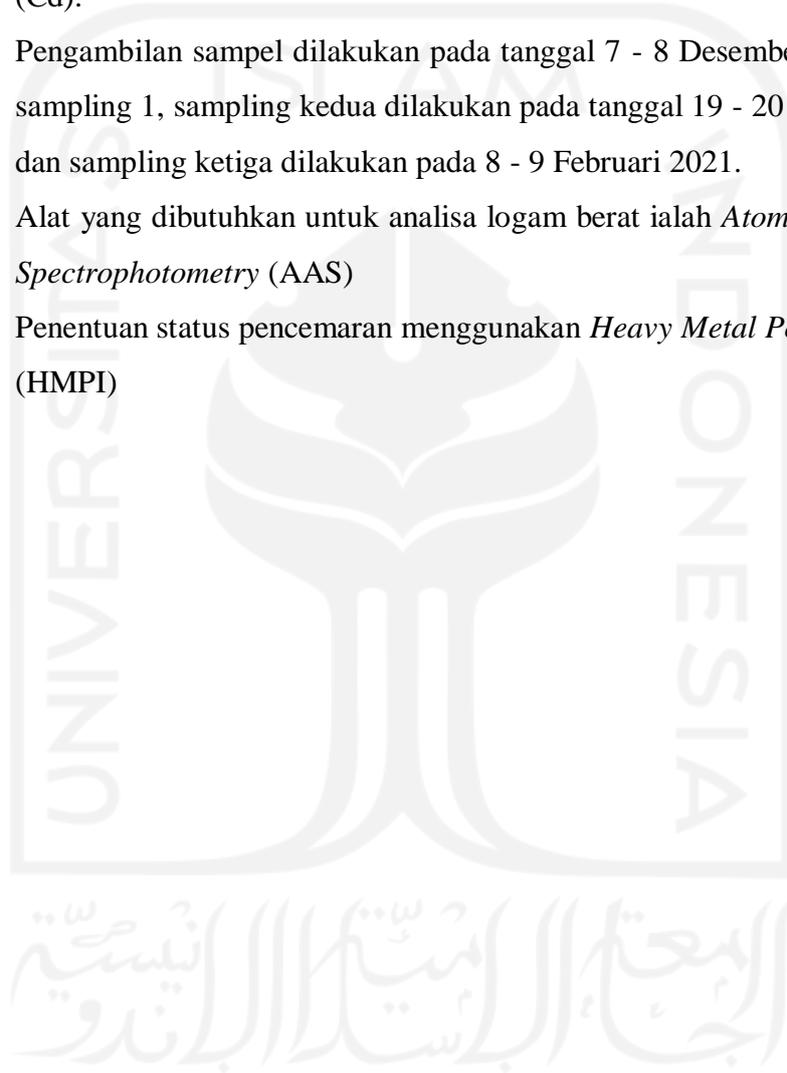
Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis
Adanya penelitian ini menjadi upaya dan kesempatan guna bertambahnya pengetahuan serta pengalaman dalam melakukan aktivitas penelitian terkait logam berat di Sungai Winongo
2. Bagi Masyarakat
Memberikan informasi dan pengetahuan terkini tentang konsentrasi logam berat (Pb, Fe, Cu, Cr, Mn, Ni, Al, Cd) yang ada di Sungai Winongo guna meningkatkan pemahaman masyarakat dalam hal menjaga kualitas air sungai.
3. Bagi Pemerintah
Hasil penelitian dapat menjadi acuan dan bahan pertimbangan atau kajian lebih jauh terkait pencemaran logam berat dalam sungai terkhususkan Sungai Winongo.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian meliputi:

1. Lokasi penelitian dilaksanakan pada Sungai Winongo sebanyak 12 (Duabelas) titik
2. Logam berat yang di teliti adalah Timbal (Pb), Besi (Fe), Tembaga (Cu), Kromium (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Alumunium (Al), dan Kadmium (Cd).
3. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 7 - 8 Desember 2020 untuk sampling 1, sampling kedua dilakukan pada tanggal 19 - 20 Januari 2021, dan sampling ketiga dilakukan pada 8 - 9 Februari 2021.
4. Alat yang dibutuhkan untuk analisa logam berat ialah *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS)
5. Penentuan status pencemaran menggunakan *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat adalah golongan atau kelompok logam yang memiliki kriteria sama dengan logam lainnya. Perbedaannya terdapat pada efek yang diperoleh ketika logam berat ini bergabung dan/ atau memasuki tubuh makhluk hidup. Mendekati 75% unsur yang ada pada tabel periodik adalah logam. Hampir di setiap golongan dalam tabel periodik unsur terdapat unsur logam, kecuali pada golongan VII-A dan golongan VIIIA. Unsur-unsur logam tersebut akan diklasifikasikan ke dalam golongan yang sesuai dengan karakteristiknya masing-masing (Palar, 2008).

Logam berat dikatakan berbahaya karena memiliki sifat sulit di degradasi dan akan terakumulasi di lingkungan, dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi, serta mudah terakumulasi pada sedimen (Sutamihardjo, 2006). Logam berat akan terakumulasi melewati rantai makanan. Semakin tinggi level suatu organisme yang menempati rantai makanan tersebut, maka akumulasi logam berat di dalam tubuh akan semakin meningkat. Oleh karena itu, manusia sebagai konsumen terbesar atau paling tinggi akan mendapat bioakumulasi logam berat dalam jumlah besar di dalam tubuhnya (BLH Jateng, 2010). Jika logam berat secara berlebihan tertumpuk di dalam tubuh, maka akan dikatakan berbahaya bagi kesehatan. Akumulasi logam berat dapat menyebabkan konsentrasi yang tinggi di dalam tubuh (Ridhowati, 2013).

Khasanah (2009) dalam Tahril (2012) menyatakan apabila dari segi tingkat toksisitasnya, logam berat dapat dibedakan dalam dua kelompok. Pertama adalah jenis logam berat esensial, dimana organisme hidup sangat membutuhkan logam berat dalam jumlah tertentu untuk menjaga metabolisme tubuh. Namun apabila jumlah logam berat berlebih dapat menyebabkan efek toksik, dalam jenis ini contohnya logam Zn, Cu, Fe, Co, Mn, Se). Sedangkan logam non esensial merupakan logam yang beracun tidak mempunyai fungsi dalam tubuh seperti logam Pb, Hg, As, Cd.

2.1.1 Besi (Fe)

Besi mempunyai ciri ikon (Fe) dan merupakan logam dengan karakteristik memiliki warna putih keperakan. Besi dalam tingkatan periodik unsur berkala, tergolong logam golongan VIII dengan berat atom 55,85 g.mol⁻¹, nomor atom 26, berat jenis 7.86 g.cm⁻³ dan biasanya memiliki valensi 2 dan 3 (selain 1,4,6) (Eaton *et al.*, 2005).

Besi (Fe) adalah logam esensial pada konsentrasi rendah dan termasuk dalam golongan logam transisi, tetapi dapat memiliki sifat toksik jika berada pada kadar yang tinggi (Kacaribu, 2008). Jika air yang dikonsumsi mengandung zat besi (Fe), maka dapat menyebabkan rasa mual dan dapat merusak dinding usus bila digunakan dalam dosis besar. Konsentrasi zat besi yang melebihi 1,0 mg/L dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit, merusak pankreas, dan pada akhirnya menyebabkan diabetes (Kurniyati, 2012).

2.1.2 Timbal (Pb)

Timbal atau sering disebut dengan plumbum merupakan logam yang ada pada tabel periodik unsur kimia golongan IV-A dengan nomor atom (NA) 82 dan berat atom sebesar (BA) 207,2 berwarna biru keabu-abuan dan lunak. Timbal memiliki titik didih sebesar 1.620°C dan titik leleh yaitu 327°C. Logam timbal akan terjadi penguapan pada suhu 550 °C - 660°C dan akan mengalami pembentukan timbal (II) diudara. Adanya reaksi geologi, timbal terkonsentrasi pada endapan mineral yang diketahui dengan bentuk galena (PbS), anglesit (PbSO₄) dan minim (Pb₃O₄) (Palar, 2008).

Polusi timbal (Pb) dapat terjadi pada air, tanah, dan udara. Badan air yang terkontaminasi timbal berlebihan akan menyebabkan kematian biota air (Piranti *et al.*, 2019). Logam Pb adalah logam berat yang memiliki toksisitas tinggi dan tidak diperlukan dalam tubuh manusia, dengan demikian jika terjadi pencemaran pada makanan oleh logam Pb maka tubuh dengan cepat akan mengeluarkannya (Hardiani *et al.*, 2016).

Penyerapan timbal pada tubuh sangat lambat, sehingga terakumulasi dan menjadi dasar keracunan progresif. Keracunan timbal bisa menyebabkan tingginya kadar timbal di dalam hati, ginjal, aorta, paru-paru, tulang, pancreas, limpa, jantung, testis, dan otak (Raharjo *et al.*, 2018) .

2.1.3 Kadmium (Cd)

Logam kadmium (Cd) yang secara alami ada pada air membentuk ikatan dengan ligan anorganik maupun organik yaitu Cd^{2+} , $CdCl^+$, $Cd(OH)^+$, $CdCO_3$, $CdSO_4$, dan Cd yang bergabung dengan bahan organik (Sembel, 2010). Karakteristik logam kadmium (Cd) yaitu memiliki warna putih keperakan seperti logam aluminium, kuat terhadap korosi, dan kuat terhadap panas. Kadmium (Cd) dimanfaatkan dalam proses elektrolisis dan merupakan zat warna dalam industri cat. Selain itu cadmium juga digunakan sebagai bahan enamel dan plastik. Kadmium biasanya dapat ditemukan pada industri alloy, beberapa jenis pupuk fosfat, pemurnian Zn, dan lain-lain (Widowati *et al.*, 2008).

Logam cadmium (Cd) memiliki efek toksik yang tinggi terhadap tubuh manusia. Keracunan akut oleh cadmium dapat terlihat pada penderita yang terpapar logam tersebut setelah 4-10 jam (Widowati *et al.*, 2008). Apabila terdapat logam Cd dalam tubuh manusia dengan konsentrasi 50 mg, maka dapat menyebabkan terjadinya muntah-muntah, sel darah merah mengalami penurunan, tulang dan sumsum tulang menjadi keropos, diare, metabolisme kalsium tidak normal, kerusakan pada ginjal, tumor, hipertensi, penyakit hati, penurunan fungsi reproduksi, dan mutasi gen (Rajni *et al.*, 2010).

2.1.4 Nikel (Ni)

Warna logam nikel umumnya berwarna putih keperakan yang memiliki berat atom 58,71 g/mol dan berat jenis 8,5. Logam Ni adalah logam yang kuat terhadap korosi dan oksidasi pada temperatur yang meningkat sehingga dapat dimanfaatkan dalam memproduksi *stainless steel*. Sifat yang dimiliki logam nikel yaitu kokoh, mudah dibentuk, serta

tahan terhadap oksidasi dan tahan terhadap karat (Widowati *et al.*, 2008).

Nikel (Ni) sering kali dimanfaatkan pada industri metalurgi, industri pelapisan logam, industri kimia, pembakaran minyak dan juga pembakaran pada limbah. Nikel yang ditemukan pada perairan merupakan nikel yang berbentuk koloid. Tetapi, garam-garam pada nikel seperti nikel ammonium sulfat, nikel nitrat dan klorida memiliki sifat yang larut dan terakumulasi di dalam air (Yudo, 2018).

Nikel yang berada dalam tubuh manusia dapat menimbulkan efek buruk dengan cara langsung ataupun tidak langsung yaitu bisa menimbulkan kerusakan pada DNA (Deoxyribo Nucleic Acid) dan memicu resiko penyakit kanker meningkat, bisa menimbulkan iritasi, serta memicu terjadinya immuno-toksisitas (Azni *et al.*, 2014).

2.1.5 Mangan (Mn)

Mangan (Mn) adalah logam berwarna metal kelabu kemerahan. Salah satu logam yang sering ditemukan dalam kerak bumi bersama besi. Mangan digunakan sebagai bahan campuran besi dan baja. Senyawa mangan dioksida biasa dimanfaatkan dalam pembuatan produk baterai. Senyawa KMnO_3 digunakan sebagai alat pembersih, desinfeksi, dan pemutih. Penggunaan dalam dosis tinggi dalam tubuh manusia dapat menyebabkan kerusakan pada syaraf dan otot, serta dapat mengalami penyakit Parkinson. Seseorang yang mengalami keracunan Mn tidak dapat menyebabkan efek gejala muntah berak, seperti kebanyakan orang pada umumnya selalu berpikiran seperti itu (Yudo, 2018).

Dalam hal penyediaan air, logam Mn juga memberikan dampak buruk jika kadarnya melampaui baku mutu. Logam Mn dapat menimbulkan masalah warna yaitu air akan berubah menjadi warna ungu/hitam (Yudo, 2018).

2.1.6 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) atau nama dalam kimia cupprum adalah unsur logam yang memiliki bentuk kristal dan berwarna kemerahan. Logam tembaga di

alam biasanya diperoleh dengan wujud logam bebas, namun banyak juga diketahui dalam wujud lain yaitu senyawa padat dengan bentuk mineral. Secara umum logam Cu masuk ke dalam lingkungan melalui dua sumber yaitu secara alamiah dan non alamiah. Melalui sumber alamiah, logam Cu dapat hadir di lingkungan bersamaan dengan munculnya kejadian alam, seperti terjadinya erosi atau abrasi oleh batuan mineral dan juga bisa terbawa oleh debu atau partikulat lalu tergabung pada lapisan udara dan hujan akan membawanya turun. Sedangkan dari sumber non alamiah, logam Cu dapat masuk ke dalam lingkungan disebabkan adanya kegiatan manusia, seperti buangan industri berupa limbah (misalnya industri galangan kapal) yang dimana industri tersebut menggunakan Cu dalam proses produksinya (Yudo, 2018).

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang masuk dalam kategori beracun, meskipun demikian unsur logam ini sangat diperlukan oleh tubuh manusia dengan konsentrasi yang kecil (Yudo, 2018). Jika konsentrasi logam Cu dalam tubuh melebihi 470 mg/kg, maka dapat menyebabkan keracunan pada tubuh manusia seperti tekanan darah tinggi, demam sporadis, uremia, koma, dan penyakit pada sistem saraf otak (Rajni *et al.*, 2010).

2.1.7 Aluminium (Al)

Aluminium adalah unsur kimia yang terdapat dalam golongan IIIA pada sistem periodik unsur dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Saat udara yang bebas, aluminium dengan mudahnya teroksidasi dan membuat lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang kuat akan korosi. Selain itu, aluminium juga memiliki sifat amfoter dan dapat membentuk reaksi dengan larutan asam maupun basa. Aluminium adalah logam ringan dengan ketahanan korosi yang baik dan konduktivitas listrik yang baik (Aziz *et al.*, 2017).

Menurut Huri & Syafriadiman (2013), masih kurangnya penelitian terkait efek samping aluminium terhadap manusia. Pada kenyataannya adanya aluminium di dalam perairan dengan konsentrasi tertentu bisa

memicu bahaya pada organisme akuatik. Biasanya konsentrasi Al dalam perairan berada pada konsentrasi rendah dan akan meningkat apabila terjadi hujan asam. Selain itu, hal yang memicu meningkatnya kadar Al dalam perairan yaitu adanya input yang berawal dari adanya pembuangan oleh pengolahan air yang menjadikan garam aluminium sebagai koagulan.

2.1.8 Kromium (Cr)

Logam kromium (Cr) adalah salah satu logam berat yang memiliki sifat toksik dimana tingkat bahayanya tergantung pada keadaan valensi ion. Toksisitas Cr^{+6} sekitar 100 kali toksisitas Cr^{+3} . Cr^{+6} juga bersifat karsinogenik dan korosif (Sugihartono, 2016). Tubuh manusia membutuhkan Cr^{+3} sebagai nutrisi sekitar 50-200 $\mu\text{g}/\text{hari}$, tetapi akan ditakutkan jika terjadi di lingkungan basa dan terdapat oksidator tertentu atau keadaan tertentu yang akan mengoksidasi ion Cr^{+3} menjadi Cr^{+6} (Vaskova *et al.*, 2013).

Logam Cr bisa masuk ke dalam badan air yang disebabkan oleh dua sumber yaitu secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah, logam Cr bisa terbentuk diakibatkan oleh beberapa komponen fisika salah satunya yaitu erosi dimana terjadinya pengikisan terhadap batuan mineral. Sedangkan dari sumber non alamiah, logam Cr yang masuk atau terdapat pada badan air bersumber dari kegiatan yang dikerjakan oleh manusia dalam wujud limbah atau buangan dari industri dan rumah tangga (Yudo, 2018).

2.2 Pencemaran Air

Polusi yang terkandung dalam air dapat mengakibatkan menurunnya kualitas air bersih dan berdampak negatif pada kesehatan manusia. Dalam Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup tertulis bahwa pencemaran air merupakan “masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan tau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai

dengan peruntukannya”. Secara tersirat mengartikan bahwa suatu perairan dengan peruntukkan yang sudah jelas dapat mengalami pencemaran air secara niat ataupun tidak sengaja oleh aktivitas manusia. Menurut (Ricki M, 2020) , pencemar air dapat dikategorikan menjadi 8 yaitu *Infectious Agents*, Zat yang mengikat oksigen, sedimen, nutrisi atau unsur hara, pencemaran anorganik, zat kimia organik, energy panas, dan juga zat radioaktif.

2.3 Pencemaran Logam Berat

Menurut Widowati *et al.*, (2008), pencemaran oleh logam berat yang terjadi di Indonesia terlihat semakin tinggi sesuai dengan meningkatnya perkembangan industrialisasi. Logam berat yang tercemar di lingkungan akan memberikan dampak yang berbahaya untuk kesehatan, baik pada manusia, hewan maupun lingkungan. Selain itu, menurut Arsad *et al.*, (2012), apabila di perairan bebas terdapat banyak logam berat bisa menyebabkan terjadinya nilai perairan berubah baik kualitas maupun kuantitas. Dengan demikian perairan tersebut dianggap telah mengalami pencemaran oleh logam berat.

Pada dasarnya logam berat sudah terdapat di alam namun dalam jumlah yang terbatas. Menurut Sutamihardja (2006), sumber alami logam berasal dari daerah pantai yang merupakan muara dari sungai, abrasi, dan aktivitas gelombang, aktivitas gunung berapi dan proses kimiawi, serta logam yang dibawa oleh ikan berupa partikel debu. Berdasarkan laporan kebencanaan geologi, Gunung Merapi pada awal bulan Januari tercatat 152 kali gempa guguran dan 33 kali gempa hembusan dimana data tersebut mendukung hasil penelitian ini yang memperlihatkan sampling pada bulan Januari memiliki kadar Pb yang cukup tinggi.

Menurut Darmayanti *et al.*, (2012), berdasarkan sifat racunnya logam berat dapat digolongkan dalam empat kelompok yaitu:

1. Sangat beracun: logam berat dapat menyebabkan bahaya pada kesehatan tetapi dapat pulih dalam waktu singkat hingga kematian. Logam tersebut terdiri dari **Pb**, Hg, **Cd**, **Cr**, As, Sb, Ti, dan U.
2. Moderat: logam berat dapat menyebabkan bahaya pada kesehatan dimana dapat pulih maupun tidak dalam waktu yang cukup lama.

Logam tersebut adalah Ba, be, **Cu**, Au, Li, **Mn**, Se, Te, Va, Co, dan Rb.

3. Kurang beracun: logam berat jenis ini dapat menimbulkan bahaya pada kesehatan jika memiliki jumlah besar. Logam tersebut terdiri dari Bi, Co, **Fe**, Ca, Mg, **Ni**, K, Ag, Ti, dan Zn.
4. Tidak beracun: logam jenis ini tidak dapat menyebabkan bahaya pada kesehatan, yaitu Na, **Al**, Sr, dan Ca.

2.4 Sungai Winongo

Sungai Winongo yaitu anak Sungai dari Sungai Opak dan menjadi salah satu sungai yang berperan penting di Yogyakarta. Sungai ini memiliki luas daerah aliran sungai (DAS) yaitu $\pm 118 \text{ Km}^2$ dan memiliki panjang sungai 43,75 Km. Mata air Sungai Winongo berada di Lereng Gunung Merapi yang mengalir ke Sungai Opak. Sungai Winongo mengalir dari hulu ke muara (hilir) melewati tiga kawasan administrasi terdiri dari Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, hingga Kabupaten Bantul (Permana, 2012).

DAS Winongo mempunyai hubungan yang erat dengan kegiatan manusia. Setiap area yang menjadi perlintasan dari Sungai Winongo memiliki keadaan penggunaan lahan cukup berbeda-beda, hal tersebut membuat input yang masuk berupa limbah dimana memiliki kandungan bahan organik yang beragam dalam sungai. Adanya hal tersebut menjadikan peluang dalam hal penurunan kualitas air sungai (Sari, 2014).

Sungai Winongo mempunyai peran penting guna mendukung dan menampung keperluan hidup masyarakat sekitar. Sungai Winongo menjadi sumber air dalam kegiatan MCK, selain itu digunakan menjadi tempat terakhir pembuangan untuk limbah. Menurut penjelasan yang didapat dari Badan Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta (2012) ditemukan beragam industri, rumah sakit, dan juga objek wisata yang telah membuang limbahnya langsung ke sungai Winongo Kabupaten Sleman.

2.5 Parameter Fisika dan Kimia

Adanya parameter fisika dan kimia merupakan faktor penting hadirnya logam berat dalam air. Pengaruh masing-masing parameter terhadap logam berat dalam air dapat dilihat pada penjelasan berikut.

2.5.1 Suhu

Suhu mempunyai kaitan erat terhadap proses fisika, kimia, dan biologi perairan apabila terjadi perubahan, serta mempunyai kedudukan dalam mengontrol keadaan ekosistem perairan. Suhu air merupakan salah satu parameter fisika yang berpengaruh dalam perairan karena dapat mempengaruhi unsur biotik dan abiotik dalam ekosistem. Suhu merupakan parameter kritis dikarenakan dengan cara langsung dapat mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut yang terdapat di perairan (Singh dan Shrivastava, 2015). Menurut Hasim *et al.*, (2015), apabila kenaikan suhu terjadi dan melebihi batas dapat menimbulkan kegiatan metabolisme organisme air atau hewan akuatik mengalami peningkatan, hal tersebut dapat mengakibatkan gas-gas terlarut pada air dimana menjadi hal penting untuk kehidupan ikan atau hewan akuatik lainnya berkurang.

Suhu pada ekosistem air memiliki pola yang dipengaruhi oleh banyak faktor seperti, intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya, ketinggian geografis, dan juga faktor canopy (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi perairan (Effendi *et al.*, 2013). Menurut Pratiwi *et al.*, (2013), adanya gabungan suhu air dan salinitas akan mempengaruhi peningkatan akumulasi pada logam. Suhu yang semakin meningkat di perairan cenderung dapat menaikkan akumulasi logam berat. Suhu yang semakin dingin memudahkan logam berat mengendap dalam sedimen, sedangkan suhu yang semakin tinggi akan melarutkan logam berat dalam air.

2.5.2 TDS

TDS (*Total Dissolve Solid*) merupakan padatan terlarut total yang bisa dijadikan acuan dalam mengukur konsentrasi material padatan di

dalam air. TDS terkandung berbagai macam zat terlarut seperti zat organik, zat anorganik, ataupun unsur lainnya dengan diameter kurang dari $< 10^{-3}$ μm dimana terdapat dalam sebuah larutan yang terlarut di air (Mukhtasor, 2007).

Sumber utama masuknya TDS ke dalam perairan yaitu limbah pertanian, limbah rumah tangga, dan limbah industri. Apabila konsentrasi TDS mengalami perubahan, maka akan menimbulkan dampak yang berbahaya karena hal tersebut dapat mengakibatkan salinitas yang mengalami perubahan, susunan ion-ion ikut berubah, dan meningkatnya efek toksik masing-masing ion. Perubahan salinitas yang terjadi dapat mengakibatkan terganggunya keseimbangan pada biota air, biodiversitas, menyebabkan spesies yang kurang toleran, dan juga menimbulkan efek berbahaya yang semakin meningkat dalam tingkatan hidup suatu organisme (Weber-Scannel and Duffy, 2007). Menurut Ganiyu *et al* (2021), konsentrasi TDS dalam air memiliki hubungan yang erat dengan hadirnya logam berat, dikarenakan apabila kadar TDS yang meningkat dalam air menyebabkan konsentrasi logam berat ikut meningkat.

2.5.3 Konduktivitas

Konduktivitas atau Daya Hantar Listrik (DHL) adalah potensi yang dimiliki air sebagai penghantar listrik dan adanya jumlah ion yang mempengaruhi atau garam yang terlarut di dalam air. Apabila kelarutan logam semakin banyak di air, maka akan semakin meningkat pula daya hantar listrik yang terjadi pada air. DHL adalah penilaian secara tidak langsung terhadap konsentrasi garam dimana bisa difungsikan untuk menentukan secara garis besar kesesuaian air terhadap budidaya tanaman dan juga untuk memantau kandungan pada larutan hara (Astuti, 2014).

Menurut Popek (2018), apabila konsentrasi ion yang semakin tinggi dalam air maka semakin meningkat pula konduktivitasnya. Ketika mengukur konduktivitas sampel air, secara tidak langsung peneliti juga mengukur konsentrasi garam, basa, dan asam terlarut. Larutan senyawa

anorganik memiliki konduktivitas yang baik, sedangkan larutan senyawa organik yang tidak terdisosiasi dalam air memiliki konduktivitas yang buruk. Konduktivitas bergantung pada suhu, apabila suhu tinggi membuat bentuk air berbeda sehingga menyebabkan perubahan kecepatan di mana ukuran dan ion muatan yang berbeda bergerak dalam air. Menurut Aritonang (2014), apabila nilai konduktivitas rendah dikarenakan resistivitas yang tinggi maka akan menyebabkan konsentrasi logam berat menjadi turun.

2.5.4 pH

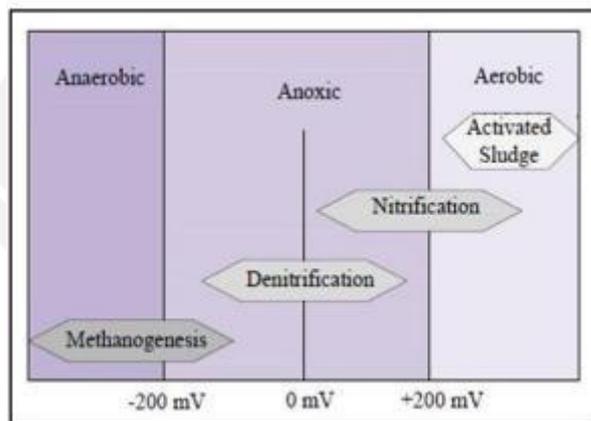
Derajat Keasaman (pH) adalah kadar tingkatan asam atau basah suatu perairan. pH biasanya disebut sebagai keasaman dan kebasaan pada air dan dinilai dalam skala 0 hingga 14. Jika nilai pH semakin kecil maka kondisi perairan akan semakin asam, begitupun sebaliknya jika pH semakin meningkat maka kondisi perairan akan semakin alkalin atau basa (Astuti, 2014). pH mempunyai pengaruh yang cukup besar pada kehidupan tumbuhan dan hewan akuatik sehingga kerap kali difungsikan sebagai petunjuk dalam mengkategorikan perairan tersebut baik atau buruk bagi lingkungan hidup, tetapi baik atau buruknya suatu perairan juga tergantung pada faktor-faktor kualitas air lainnya. pH air yang rendah membuat kelarutan pada logam berat dalam air lebih tinggi sehingga toksisitas logam berat lebih besar (Narulita, 2011). pH yang berada dibawah 4 dan diatas 11 dapat mengakibatkan kematian pada ikan pada perairan tersebut (Koniyo & Kasim, 2015).

2.5.5 ORP (*Oxidation Reduction Potential*)

ORP adalah kemampuan larutan dalam memberikan electron dari oksidan kepada reduktan, sehingga terpengaruhnya proses kimia dalam perairan (Urbasa *et al.*, 2019). Pengukuran ORP yaitu dengan satuan volt (V) atau millivolt (mV). Penelitian yang dihasilkan oleh Sukma *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa semakin tinggi dan lama paparan waktu, maka nilai ORP juga akan semakin meningkat. Selain itu, dengan meningkatnya nilai ORP maka reaksi oksidasi yang terjadi akan semakin

mudah dan semakin meningkat juga membran sel dari mikroorganisme yang akan rusak dan mati. Menurut Mittal (2021), nilai ORP yang besar menyebabkan ion logam mudah teroksidasi, sedangkan nilai ORP yang kecil menyebabkan ion logam relative kecil mengalami oksidasi. Oleh sebab itu, apabila nilai ORP yang tinggi akan menyebabkan kadar logam berat menurun.

Menurut Al-Samawi & Al-Hussaini (2016), Oxidation Reduction Potential (ORP) dapat mewakili kemampuan air untuk mengoksidasi kontaminan. ORP dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi sungai ke dalam kategori aerobik, anoksik, atau anaerobik bergantung pada kisaran konsentrasi ORP.



Gambar 2.1 Klasifikasi sungai menurut range ORP (mV)

Sumber: Al-Samawi dan Al-Hussaini, 2016

2.5.6 COD (Chemical Oxygen Demand)

Chemical Oxygen Demand merupakan total oksigen yang dibutuhkan saat mengurai semua bahan organik yang terdapat dalam air (Nuraini *et al.*, 2017). COD adalah ukuran kualitas air yang digunakan tidak hanya untuk menentukan jumlah zat aktif biologis seperti bakteri tetapi juga bahan organik yang tidak aktif secara biologis dalam air (Khan dan Ali, 2018). Tujuan COD adalah untuk mengevaluasi pengaruh manusia pada sistem sungai (Ongley, 2009). Prinsip pengukuran COD yaitu penambahan kalium dikromat dengan volume tertentu sebagai oksidator pada sampel,

kemudian ditambahkan perak sulfat dengan fungsi sebagai katalis yang selanjutnya dipanaskan dalam kurung waktu tertentu. Titrasi dilakukan saat kalium dikromat berlebih, kemudian diketahui jumlahnya yang dimana akan difungsikan dalam mengoksidasi bahan organik pada sampel, sehingga konsentrasi COD bisa dihitung (Atima, 2015).

Berdasarkan hasil penelitian (Prambudy *et al.*, 2019), konsentrasi COD di perairan antara lain dipengaruhi oleh kegiatan pembuangan limbah ke sungai, penambahan aliran air dari anak sungai, dan merupakan tempat pertemuan dua sungai atau lokasi masuknya anak sungai. Dampak buruk yang disebabkan oleh kandungan COD yang meningkat dalam limbah akan menyebabkan tidak terdapat kehidupan pada biota air (Mulyaningsih, 2013). Apabila nilai COD dalam air meningkat maka akan menyebabkan konsentrasi logam berat semakin tinggi (Sumantri, 2020).

2.5.7 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD atau biasa disebut Biochemical Oxygen Demand adalah sifat atau ciri dimana memperlihatkan total konsentrasi oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme atau bakteri dalam mengurai atau mendekomposisi bahan organik dengan kondisi aerobik (Nuraini *et al.*, 2019). Namun menurut Rachmawati (2017) nilai BOD yang di uji tidak memastikan total bahan organik yang sesungguhnya, tapi hanya sekedar memperkirakan secara relatif konsentrasi oksigen yang diperlukan dalam mengoksidasi bahan buangan tersebut. Prinsip pengukuran pada BOD adalah setelah pengambilan contoh segera dilakukan pengukuran awal kandungan oksigen terlarut atau DO_i pada sampel. Kemudian dilakukan pengukuran DO_5 dengan inkubasi selama 5 hari dalam kondisi gelap dan temperatur konstan ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Inkubasi dalam kondisi gelap supaya tidak adanya proses fotosintesis yang memperoleh oksigen dan menjaga suhu tetap selama 5 hari, dengan demikian diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi terhadap mikroorganisme dan DO_5 sebagai oksigen tersisa (Atima, 2015). Nilai BOD dalam miligram oksigen per liter (mg/L) merupakan selisih antara $DO_i - DO_5$.

Komponen yang mempengaruhi nilai BOD yaitu jenis limbah, derajat keasaman (pH), dan keadaan air secara keseluruhan (Nuraini *et al.*, 2017). Kandungan BOD yang semakin tinggi menandakan bahwa minimnya oksigen terlarut yang terkandung di dalam perairan (Daroini & Arisandi, 2020). Sedangkan menurut Hatta (2014) menyatakan bahwa nilai BOD yang semakin meningkat menandakan bertambahnya bahan organik pada perairan, sedangkan jika nilai BOD semakin berkurang maka semakin rendah juga jumlah bahan organik di perairan.

Semua ion logam menghambat pengerahan BOD dikarenakan kehadirannya. Nilai BOD akan menurun ketika kehadiran semua ion logam mempengaruhi BOD. Sehingga apabila nilai BOD menurun maka akan menyebabkan meningkatnya konsentrasi logam berat dalam air (Mittal & Ratra, 2000).

2.6 Analisis Logam Berat

2.6.1 Destruksi

Destruksi adalah suatu perlakuan dengan tujuan untuk memecah senyawa menjadi unsur, dengan demikian unsur dapat dianalisis atau biasa disebut juga dengan penguraian dimana terdapat perubahan wujud dari logam organik menjadi logam anorganik. Logam organik merupakan senyawa organik yang berbasis karbon dan biasanya mengandung ikatan C-H (Kristianingrum, 2012).

Terdapat dua jenis destruksi yaitu destruksi kering dan destruksi basah. Destruksi basah adalah penguraian dalam sampel dengan asam kuat yang tunggal ataupun campuran, selanjutnya akan teroksidasi oleh zat oksidator. Pelarut yang biasa digunakan dalam destruksi basah antara lain asam nitrat, asam klorida, asam sulfat, asam perklorat. Semua pelarut tersebut bisa dipakai baik tunggal maupun campuran. Destruksi dikatakan sempurna apabila larutan sudah terlihat jernih pada larutan destruksi, dimana memperlihatkan bahwa semua unsur yang ada sudah larut sempurna atau penguraian senyawa-senyawa organik sudah berlangsung dengan baik. Terbentuknya senyawa garam setelah destruksi adalah senyawa garam yang stabil dan akan dilakukan penyimpanan dalam

beberapa hari. Sedangkan destruksi kering adalah penguraian logam organik pada sampel menjadi logam anorganik melalui penggabungan sampel dalam muffle furnace dan memerlukan suhu pemanasan tertentu. Secara umum pada proses destruksi kering diperlukan suhu pemanasan sekitar 400-800°C, namun suhu ini akan disesuaikan kembali berdasarkan pada jenis sampel yang mau dianalisis (Kristianingrum, 2012)

Asam nitrat sering digunakan dengan tujuan dalam mempercepat proses destruksi karena asam tersebut adalah oksidator yang cukup kuat. Oleh karena itu, HNO₃ merupakan pelarut logam yang cukup baik pada metode destruksi (Asmorowati *et al.*, 2020). Fungsi penambahan HNO₃ adalah sebagai pemutus ikatan senyawa kompleks pada organologam. Pemanasan pada proses destruksi dapat mempersingkat pemutusan ikatan organologam menjadi anorganik dengan bantuan asam nitrat yang memiliki karakteristik sebagai oksidator kuat (Wulandari & Sukesi, 2013).

2.6.2 Spektrophotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrophotometer Serapan Atom (SSA) merupakan instrumen yang berfungsi untuk melakukan analisis dalam menentukan unsur logam atau unsur metalloid dimana pengukurannya didasarkan pada penyerapan oleh cahaya dan disertai panjang gelombang tertentu oleh masing-masing atom logam. (Supriyadi, 2016).

Prinsip pada spektrometri serapan atom adalah jika terdapat suatu larutan yang memiliki kandungan logam diberi nyala, maka unsur yang terkandung dalam sampel mengalami perubahan menjadi uap atom sehingga pada nyala tersebut terkandung unsur-unsur yang telah dianalisis. Secara termal terdapat sebagian dari atom akan tereksitasi oleh nyala (keadaan yang tidak diinginkan), tetapi kebanyakan atom yang tetap tinggal dengan bentuk sebagai atom netral pada kondisi dasar (ground state). Atom pada kondisi dasar tersebut selanjutnya akan terserap radiasi yang telah di kasih oleh sumber radiasi dimana terbentuk dari unsur-unsur yang bersangkutan. Sumber radiasi menghasilkan panjang gelombang yang telah diabsorpsi atom oleh nyala (Hasanah, 2018).

2.7 Heavy Metal Pollution Index

Pemantauan pencemaran logam berat sangat penting karena keberadaan logam berat mengancam kehidupan organisme akuatik, kesehatan manusia, dan lingkungan akibat biomagnifikasi dan toksisitasnya (Ali *et al.*, 2016). Adanya peningkatan logam berat yang berbeda-beda di berbagai lokasi yang mengandung air, membuat para ilmuwan menyusun rumus untuk mengukur secara kuantitatif efek gabungan dari logam berat ini dalam bentuk *heavy metal pollution index* (HMPI) (Shankar, 2019).

Indeks pencemaran logam berat (HPI) adalah teknik penilaian yang memberikan pengaruh komposit logam berat individu terhadap kualitas air secara keseluruhan. Peringkat tersebut adalah nilai antara nol dan satu, yang mencerminkan kepentingan relatif dari pertimbangan kualitas individu dan berbanding terbalik dengan standar yang direkomendasikan (S_i) untuk setiap parameter (Reza & Singh, 2010).

Interpretasi konsentrasi spasial dan musiman logam berat melalui HPI dapat berguna dalam penilaian kadar beban pencemaran dan trend kualitas air sungai (Prasanna *et al.*, 2021). Indeks pencemaran logam berat pada sungai dapat menjadi alat yang berguna bagi badan pengatur/pemerintah untuk membuat kebijakan dan keputusan yang diperlukan terkait pengurangan polusi dan pengelolaan sumber daya (Pal *et al.*, 2017). Indikator kualitas logam dapat dihitung untuk mengukur tingkat kesesuaian sumber daya air yang akan dimanfaatkan sebagai air minum berhubungan dengan logam (Ojekunle *et al.*, 2016). Model HPI tampaknya menjanjikan dan terbukti menjadi alat yang sangat berguna dalam mengevaluasi tingkat pencemaran air secara keseluruhan dalam hal logam berat dalam sampel air. Dengan demikian, HPI berfungsi sebagai jembatan antara profesional dan awam atau pengambil keputusan (Al-atbee & Al-hejuje, 2020). Persamaan *Heavy Metal Pollution Index* yang digunakan adalah sebagai berikut (Prasanna *et al.*, 2021):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Dengan nilai kritis yaitu nilai indeks pencemaran 100, apabila nilai berada di atasnya atau melebihi maka tingkat pencemaran keseluruhan harus dianggap tidak dapat diterima untuk air minum (Zakhem & Hafez, 2018).

2.8 Baku Mutu Kualitas Air Sungai

Baku mutu air merupakan batasan atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan peruntukannya.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup tentang klasifikasi mutu air yang ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu :

1. Kelas I : Air yang peruntukannya dapat dimanfaatkan sebagai air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan kualitas mutu air yang sama dengan kegunaannya.
2. Kelas II : Air yang peruntukannya dapat dimanfaatkan sebagai prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan kualitas mutu air yang sama dengan kegunaannya.
3. Kelas III : Air yang dimanfaatkan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang sesuai mutu air yang sama dengan kegunaannya.
4. Kelas IV : Air yang peruntukannya dapat dimanfaatkan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan kualitas mutu air yang sama dengan kegunaannya.

Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No 22 Tahun 2007 Tentang Penetapan Kelas Air Sungai terdapat pada BAB IV Bagian Kesembilan Pasal 12 dikatakan bahwa Sungai Winongo mulai bagian hulu ke hilir hingga Dusun Mraen, Sendangadi, Mlati, Sleman berdasarkan peruntukannya termasuk dalam kelas I (satu) dan mulai Dusun Mraen, Sendangadi, Mlati, Sleman kearah hilir hingga terdapat pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Gadingdaton, Donotirto, Kretek, Bantul berdasarkan peruntukannya juga termasuk dalam kelas I (satu).

Tabel 2.1 Baku Mutu Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021

No	Parameter	Satuan	Kelas I
1	Temperatur	(°C)	Dev 3
2	TDS	mg/L	1000
3	pH	-	6-9
4	COD	mg/L	10
5	BOD	mg/L	2
6	Fe	mg/L	0,3
7	Cd	mg/L	0,01
8	Mn	mg/L	0,1
9	Ni	mg/L	0,05
10	Cu	mg/L	0,02
11	Pb	mg/L	0,03
12	Cr	mg/L	0,05

2.9 Penelitian Terdahulu

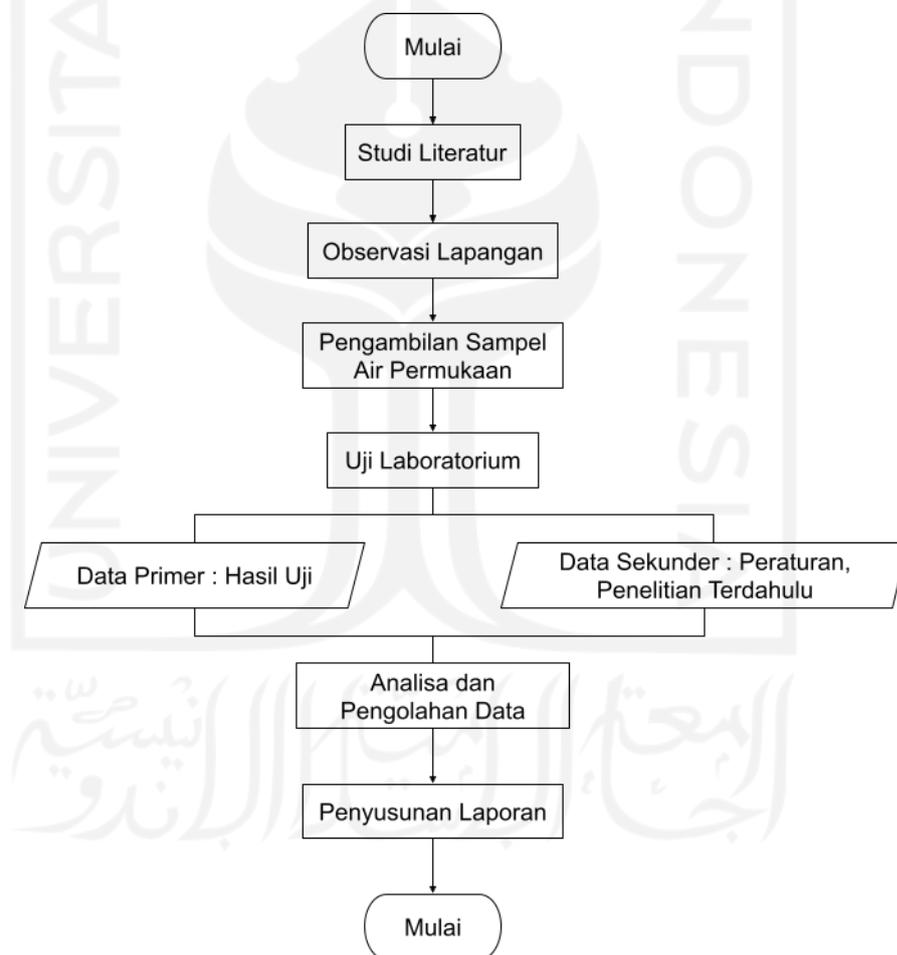
No	Sumber	Judul	Metode	Hasil
1	Firianti (2019)	Penataan Kawasan Sungai Winongo Berbasis Masyarakat Oleh Forum Komunikasi Winongo Asri (FKWA) di Pakuncen Yogyakarta	Jenis penelitian deskriptif kualitatif. Teknik pengambilan memakai purposive (berdasarkan kriteria). Teknik pengumpulan data menggunakan observasi, wawancara, dan dokumentasi. Validitas data menggunakan triangulasi sumber dan triangulasi metode	Dampak penataan bersifat positif adalah terdapat perubahan yang lebih baik pada kondisi fisik/lingkungan, perilaku masyarakat seperti munculnya kesadaran masyarakat dalam meningkatkan aspirasi dan partisipasi masyarakat serta bertumbuhnya semangat gotong royong yang lebih baik dari sebelumnya, dan ekonomi masyarakat yang meningkat. Dampak negatif dari penataan yaitu adanya kawasan pinggiran sungai dijadikan tempat berkumpul remaja dan meresahkan masyarakat

2	Handayani <i>et al.</i> , (2014)	Akumulasi Kromium(Cr) Pada Daging Ikan Nila Merah (<i>Oreochromis ssp.</i>) Dalam Karamba Jaring Apung di Sungai Winongo Yogyakarta	Penelitian memakai metode survei dalam rancangan eksplorasi, untuk penetapan pengambilan sampel memakai teknik Purposive Random Sampling. Sedangkan metode analisis uji kandungan logam berat Cr pada air dan ikan nila merah menggunakan AAS.	Konsentrasi logam Cr pada air masih berada di bawah ambang batas, sedangkan ikan nila merah di sungai Winongo telah terakumulasi logam Cr di atas ambang batas, sehingga tidak layak untuk di konsumsi.
3	Yogafanny (2015)	Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo	Sampel diambil dengan melalui survey lapangan dan wawancara. Sampel air yang digunakan adalah sampel air sesaat (Grab Sample) dimana sampel diambil secara langsung dari badan air pada 2 (dua) lokasi pengamatan.	Secara umum lebih tinggi tingkat pencemaran pada lokasi 2 (Kel. Tegalrejo, Kec. Tegalrejo) dibandingkan pada lokasi 1 (Kel. Pringgokusuman, Kec. Gedong Tengen). Hal ini diakibatkan adanya kegiatan masyarakat sekitar yang tidak mengindahkan kebersihan lingkungan sungai seperti sampah ditumpuk pada tepi sungai dan membuang air limbah (industri tahu, rumah tangga, dan peternakan) langsung ke badan sungai.
4	Marlina & Juliani (2015)	Evaluasi Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Menggunakan Model Kualitas Air (Studi Kasus: Sungai Winongo)	Metode penelitian didukung oleh data sekunder dan primer yang diolah oleh program pemodelan Qual2Kw.	Konsentrasi BOD di sepanjang sungai adalah 16 mg / L, konsentrasi DO 2,4 mg / L, pH 7, dan suhu 26oC. Kondisi BOD dari hulu hingga hilir pada kondisi eksisting telah melewati ambang batas yaitu 3 mg / L.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, dimulai dengan studi literatur guna memperoleh informasi dan teori dasar. Selanjutnya, dilakukan penelitian dan pengumpulan data yang kemudian data tersebut akan diolah dan dianalisa menggunakan *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI) untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan. Secara umum tahapan penelitian dapat diamati dalam Gambar 3.1 berikut.



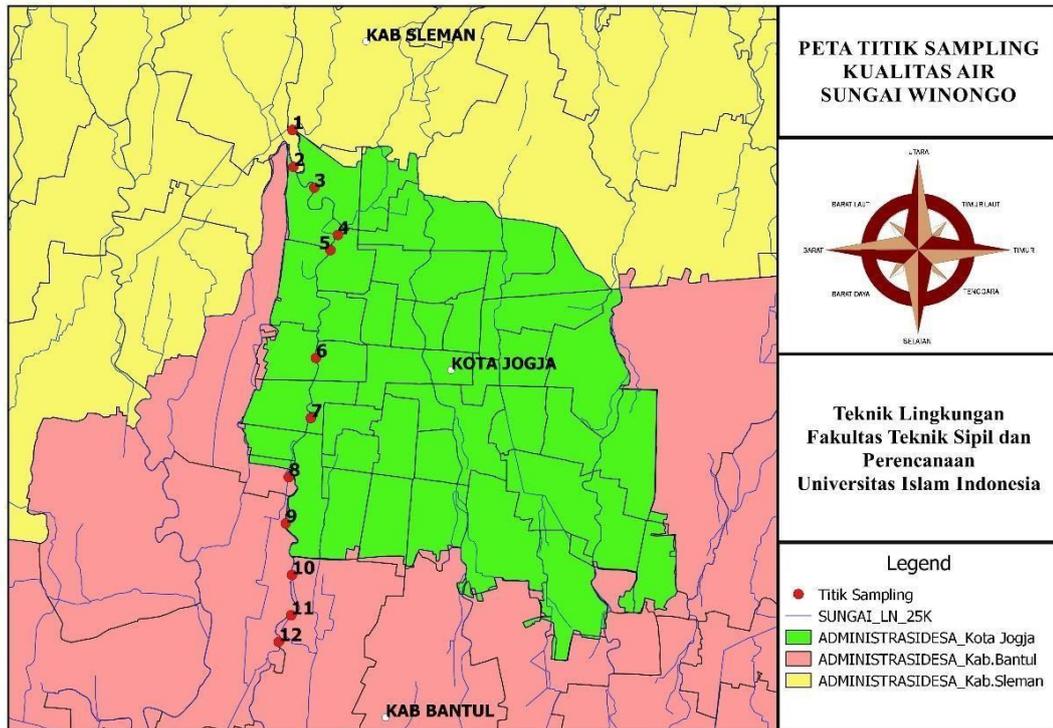
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan pada daerah aliran Sungai Winongo sebanyak 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel. Pada tanggal 7 sampai 8 Desember 2020 dilaksanakannya sampling pertama, sampling kedua dilakukan pada tanggal 19 sampai 20 Januari 2021, dan sampling ketiga dilakukan pada 8 sampai 9 Februari 2021. Sampling yang dilakukan pada 12 titik tersebut didasarkan oleh pertimbangan berikut: merupakan sumber air alami, pemanfaatan air sungai, diduga memiliki potensi terkontaminasi, percabangan dua sungai, dan daerah hilir atau muara. Selain itu, hal yang perlu diperhatikan yaitu akses menuju titik tersebut aman untuk di jangkau, waktu serta biaya. Sedangkan analisa sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Koordinat lokasi titik pengambilan sampel dapat dilihat dalam Tabel 3.2 dan peta lokasi detail titik pengambilan sampel air sungai Winongo dapat dilihat dalam Gambar 3.2 dimana peta tersebut di proses menggunakan software Q-GIS versi 2.18 dengan sumber data peta diambil melalui situs resmi yaitu ina-geoportal.

Tabel 3.1 lokasi sampling beserta titik koordinat

Sampling Point	Lokasi	Latitude	Longitude
1	Jembatan Jambon	7°45'58.11"S	110°21'6.50"E
2	Panggungan	7°46'16.61"S	110°21'7.06"E
3	Jembatan Jatimulyo	7°46'27.02"S	110°21'17.41"E
4	Bumijo, Kec Jetis	7°46'50.80"S	110°21'29.14"E
5	Kyai Mojo	7°46'58.38"S	110°21'25.44"E
6	Jembatan Merah	7°47'52.53"S	110°21'18.20"E
7	Ngampilan	7°48'22.67"S	110°21'15.67"E
8	Mantrijeron	7°48'52.33"S	110°21'4.70" E
9	Mantrijeron	7°49'15.54"S	110°21'3.17"E
10	Jogonalan Lor, Kel tirtanirmolo	7°49'41.41"S	110°21'6.26"E
11	Jogonalan Kidul	7°50'1.67"S	110°21'5.84"E
12	Jembatan Winongo	7°50'15.07"S	110°20'59.72"E



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

3.3 Jenis dan Variabel Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif, dimana dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan sampel dan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan informasi mengenai kadar atau konsentrasi logam berat yang ada pada badan air sungai Winongo.

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa variable yaitu variabel utama dan variabel pendukung. Variabel utama yang dibutuhkan yaitu logam berat yang meliputi Kadmium (Cd), Besi (Fe), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Aluminium (Al), Nikel (Ni), Krom (Cr), dan Mangan (Mn). Sedangkan variabel pendukung yaitu temperature, pH, turbiditas, konduktivitas, DO, TSS, dan ORP yang akan diukur secara *in situ* pada saat sampling.

3.4 Alat dan Bahan

Dalam pengujian ini digunakan alat dan bahan buat pengambilan sampel, mengukur, mengolah, dan menganalisis air, serta alat dan bahan pendukung lainnya yang dibutuhkan selama penelitian ini.

3.4.1 Alat

Alat sampling yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari *vandorn water sample*, wadah sampel 2500 mL, *horiba quality water checker*, dan meteran. Sedangkan pada saat pengujian di laboratorium dibutuhkan alat seperti gelas beaker 100 mL, gelas ukur 100 mL, pipet ukur 5 mL, erlenmeyer 250 mL, corong kaca, kaca arloji, karet hisap, hotplate, dan spektrofotometri serapan atom (SSA).

3.4.2 Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dalam menunjang pengujian yaitu indicator paper, kertas saring whatman 42, aquades, larutan asam nitrat pekat (HNO₃), dan larutan standar logam (Fe, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, dan Al).

3.5 Pengumpulan Data

Pengambilan sampel air mengacu pada SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Pada penelitian ini memakai data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang didapat peneliti dengan cara langsung maupun dengan analisis sampel di laboratorium, seperti temperature, pH, COD, konduktivitas, dan ORP. Pengambilan sampel untuk data primer merupakan sampel air sesaat (*Grab Sample*). *Grab Sample* merupakan sampel air yang langsung diambil dari badan air, yang dimana hanya memperlihatkan ciri air pada ketika pengambilan sampel.

Sedangkan data sekunder adalah data yang didapatkan oleh peneliti dari sumber yang sudah tersedia yaitu BMKG DIY, Inageoportal, Google Earth, dan jurnal ilmiah terpercaya. Data primer dan sekunder beserta metode dan pengukuran dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Parameter, metode atau alat yang digunakan untuk analisa kualitas air Sungai Winongo

Parameter	Metode /Alat	Acuan	Pengukuran
Cu	AAS	SNI 6989.6:2009	Laboratorium
Cr	AAS	SNI 6989.17:2004 Krom Total	Laboratorium
Pb	AAS	SNI 6989.8:2009	Laboratorium
Ni	AAS	SNI 6989.18:2004	Laboratorium
Cd	AAS	SNI 6989.16:2009	Laboratorium
Al	AAS	SNI 6989.34:2005	Laboratorium
Fe	AAS	SNI 6989.4:2009	Laboratorium
Mn	AAS	SNI 6989.5:2009	Laboratorium
COD	Spektrofotometer	SNI 6989.2-2019	Laboratorium
BOD	Titration	SNI 6989.72:2009	Laboratorium
TDS	Gravimetri	SNI 6989.27:2019	<i>In situ</i>
Konduktivitas	Conductivity meter	SNI 6989.1-2019	<i>In situ</i>
pH	pH meter	SNI 6989.11-2004	<i>In situ</i>
Temperatur	Thermometer	SNI 6989.23-2005	<i>In situ</i>
ORP	ORP meter	-	<i>In situ</i>

3.6 Prosedur Kerja

Pada penelitian ini prosedur kerja yang akan dikerjakan adalah sebagai berikut.

3.6.1 Tahap Persiapan

Peneliti melakukan perencanaan berupa observasi terhadap area penelitian untuk menetapkan titik pengambilan sampel, akses jalan menuju titik, dan waktu pengambilan sampel. Selain itu, peneliti juga mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dibawa saat sampling.

3.6.2 Tahap Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini terdapat 12 titik pengambilan sampel yang tersebar di Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Purposive sampling merupakan metode sampling yang dipakai dimana teknik pengumpulan atau penentuan sumber data atas adanya tujuan tertentu tidak didasarkan atas strata, random, atau wilayah (Arikunto, 2013). Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan botol atau jerigen dan dibilas sebanyak tiga kali dengan sampel air sungai tersebut. Sampel diambil pada bagian pinggir sungai dengan kedalaman sekitar 30

cm. Setelah sampel diambil, dilakukan pengawetan dengan HNO_3 hingga pH <2.

3.6.3 Destruksi Sampel

Salah satu persyaratan untuk analisis logam menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) yaitu sampel harus berupa larutan, maka penting adanya perlakuan destruksi terlebih dahulu sebelum dianalisis guna menyisihkan ion lain yang terkandung, dengan adanya *treatment* awal tersebut berharap meminimalisir adanya kesalahan pada saat analisis (Murtini *et al.*, 2017). Destruksi dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) pengujian logam berat Fe, Mn, Pb, Cu, Cd, Ni, Cr dan Al dalam air, sebagai berikut.

1. Sampel air permukaan diambil sebanyak 50 mL lalu dilakukan penyaringan dengan kertas whatman 42 ke dalam Erlenmeyer 100 mL atau gelas piala 100 mL.
2. Menambahkan 5 mL HNO_3 pekat lalu letakkan ke atas hotplate dan tutup menggunakan corong kaca apabila menggunakan Erlenmeyer, jika menggunakan gelas piala tutup menggunakan cawan.
3. Memanaskan hingga volume tersisa 15-20 mL.
4. Apabila destruksi belum jernih, maka ditambahkan lagi 5 ml HNO_3 pekat, lalu jika menggunakan gelas piala tutup pakai kaca arloji dan jika menggunakan erlenmeyer tutup pakai corong kemudian dipanaskan lagi. Proses ini secara berulang sampai semua logam terlarut dan warna endapan pada sampel menjadi agak putih atau sampel menjadi jernih.

3.6.4 Pengujian Sampel

Pengujian sampel air untuk mengetahui konsentrasi logam berat menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) series GBC Avanta Sigma A 6840. Panjang gelombang yang digunakan untuk masing-masing parameter yaitu Fe 248,3 nm, Mn 279,5 nm, Pb 283,3 nm, Cd 228,8 nm, Cu 324,7 nm, Ni 232,0 nm, Al 309,3 nm, dan Cr 357,9

nm. Lalu, larutan standar yang telah dibuat akan diukur dengan panjang gelombang pada masing-masing parameter, dengan begitu nilai absorbansinya akan keluar. Selanjutnya, membuat kurva kalibrasi guna mendapatkan persamaan garis regresi. Kemudian, dilakukan pengukuran sampel yang sudah dipersiapkan.

3.7 Analisis Data

Distribusi konsentrasi logam berat, parameter fisika dan parameter kimia air sungai Winongo akan ditampilkan secara deskriptif dalam bentuk diagram *box whisker plot* dan *scatter*. Dengan adanya box whisker plot dapat diketahui tingkat penyebaran data dengan dilihat dari tinggi atau lebar box. Selain itu, boxplot juga bisa digunakan dalam menilai kesimetrisan data. Apabila data simetris, maka garis median akan berada di tengah box dan whisker dimana bagian atas dan bawah memiliki panjang yang sama. Jika data tidak simetris atau lebih condong ke satu bagian, maka median tidak akan berada di tengah box dan salah satu whisker akan lebih panjang dari lainnya (Junaidi, 2014).

Konsentrasi logam berat setiap titik akan dilakukan perbandingan dengan Peraturan PP No. 22 Tahun 2021 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk melihat kesesuaiannya dengan baku mutu lingkungan. Selanjutnya, konsentrasi logam berat tersebut akan digunakan dalam analisis status pencemaran Sungai Winongo menggunakan *Heavy Metal Pollution Index* (HMPI) dimana metode tersebut memiliki kelebihan yaitu merupakan metode yang efektif dalam mengukur kualitas air secara keseluruhan terkhususkan untuk logam berat dengan perhitungan yang cukup *simple*, tetapi juga memiliki kekurangan dikarenakan skala penentuan hanya angka 100 tidak memiliki range angka lebih luas.

Namun sebelum melakukan analisa menggunakan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI), perlu dilakukan perhitungan kadar logam dengan rumus sebagai berikut.

$$(\text{mg/L}) = C \times fp$$

Dengan keterangan C adalah konsentrasi yang diperoleh dari hasil pengukuran (mg/L) dan fp adalah faktor pengenceran. Setelah kadar logam didapatkan, selanjutnya menentukan status pencemaran pada masing-masing titik sampling dengan menggunakan rumus persamaan *Heavy Metal Pollution Index* (HPI) (Shankar, 2019):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Dimana Q_i adalah sub-indeks dari parameter ke-i, W_i adalah bobot unit dari parameter ke-i, dan n adalah jumlah parameter yang dipertimbangkan. Untuk mengetahui nilai Q_i dapat menggunakan rumus berikut.

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{\{M_i(-)I_i\}}{(S_i - I_i)} \times 100$$

Dimana M_i adalah nilai yang dipantau dari logam berat parameter ke-i, I_i adalah nilai ideal dari parameter ke-i dan S_i adalah nilai standar dari parameter ke-i.

Nilai HPI menunjukkan tingkat pencemaran logam berat seperti terlihat pada Tabel 3.3. Nilai indeks pencemaran kritis untuk air minum harus kurang dari 100. Jika sampel memiliki nilai indeks pencemaran logam berat lebih dari 100, maka air tidak dapat diminum (Chiamsathit *et al.*, 2020).

Tabel 3.3 Nilai HPI untuk evaluasi pencemaran logam berat (Sobhanardakani *et al.*, 2016)

Degree of pollution	HPI Value
Low heavy metal pollution	<100
Heavy metal pollution on the threshold risk	=100
High heavy metal pollution	>100

BAB IV

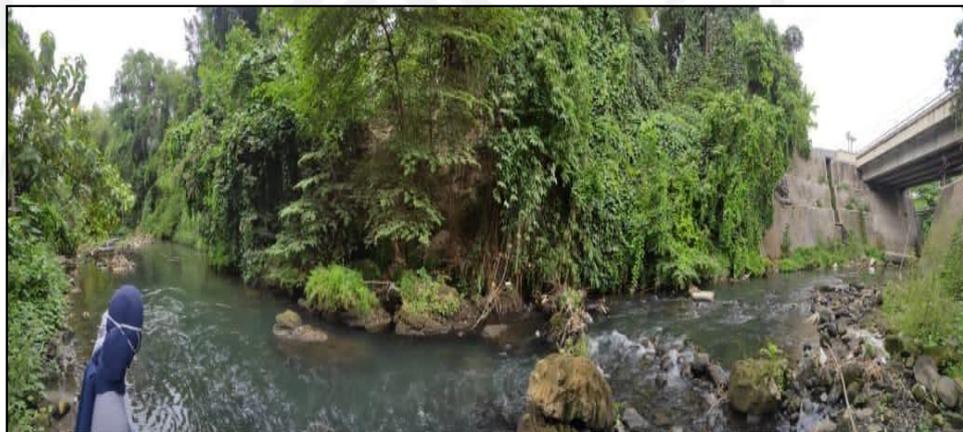
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada di sepanjang Sungai Winongo dengan 12 (duabelas) titik pengambilan sampel yang akan dideskripsikan sebagai berikut.

4.1.1 Jembatan Jambon

Jembatan Jambon, yang berlokasi di Jalan Jambon Trihanggo, Kabupaten Sleman merupakan titik sampling 1 pada penelitian ini. Kondisi air sungai sedikit keruh berwarna keabu-abuan dengan kedalaman sungai sekitar 30-50 cm. Aliran air cukup tenang tidak terlalu deras dan bagian pinggir sungai dipenuhi vegetasi. Terdapat percabangan sungai pada bagian utara aliran sungai ini. Ditemukan beberapa pemancing yang memanfaatkan biota di sungai tersebut sebagai mata pencaharian ataupun konsumsi pribadi. Namun tidak banyak juga ditemukan sampah di pinggir sungai sebagai bukti nyata kebiasaan buruk masyarakat sekitar sungai. Selain itu, ditemukan beberapa bengkel, industri karya logam, industri kerupuk, sparepart & service kompor gas, toko elektronik, sablon dan pipa pembuangan langsung dari pemukiman.



Gambar 4.1 Lokasi Titik 1 Sampling

4.1.2 Panggungan

Lokasi sampling kedua berada di Kecamatan Panggungan, Kabupaten Sleman dimana merupakan anak sungai dari Sungai Winongo. Anak sungai berada di tengah padatnya pemukiman dan di pinggir jalan umum. Kedalaman anak sungai cukup dangkal sekitar 15-25 cm. Kondisi air sedikit keruh dan terdapat beberapa sampah di dasar sungai maupun yang ikut terbawa aliran. Warga sekitar masih memanfaatkan anak sungai ini dalam kegiatan atau aktivitas sehari-hari seperti mencuci pakaian secara langsung di sungai. Input yang masuk ke anak sungai ini di dominasi oleh limbah domestic dan tempat penginapan karena ditemukan banyak pipa pembuangan yang berasal dari pemukiman warga. Selain itu terdapat home industri jersey, dan beberapa salon



Gambar 4.2 Lokasi Titik 2 Sampling

4.1.3 Jembatan Jatimulyo

Titik sampling ke 3 (tiga) berlokasi di Jembatan Jatimulyo, Kecamatan Tegalrejo, Kota Yogyakarta. Kondisi air sungai agak keruh, banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai, terdapat vegetasi di pinggir sungai dan beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Kedalaman sungai tidak terlalu dalam sekitar 50-60 cm. Masih ditemukan beberapa warga yang memanfaatkan air sungai untuk mandi. Input yang masuk ke sungai yaitu didominasi oleh limbah domestik dikarenakan sungai berada di tengah padatnya pemukiman dan ditemukan

beberapa bengkel, salon, tempat laundry, toko mebel, industri acrylic jogja production, toko kosmetik, dan banyaknya warung makan sekitar sungai.



Gambar 4.3 Lokasi Titik 2 Sampling

4.1.4 Bumijo

Kondisi sekitar sungai pada titik 4 (empat) yang berada di Bumijo, Kecamatan Jetis, Kota Yogyakarta ditumbuhi oleh banyak vegetasi, sedangkan kondisi air sungai cukup keruh namun masih terdapat banyak biota yang hidup di sungai tersebut. Sehingga masih banyak warga yang memanfaatkannya sebagai mata pencaharian atau konsumsi pribadi. Selain itu, ditemukan juga input yang masuk ke sungai berupa pipa pembuangan dari limbah domestik dikarenakan sungai berada di tengah padatnya pemukiman dan terdapat banyak warung makan, toko perdagangan, industri manufaktur PT. Fuboru Indonesia, dan salon.



Gambar 4.4 Lokasi Titik 4 Sampling

4.1.5 Kyai Mojo

Pemilihan lokasi sampling ke 5 (lima) berada di tengah padatnya pemukiman yaitu berlokasi di Jalan Kyai Mojo, Kota Yogyakarta dengan kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 80-100 cm. Kondisi sekitar sungai ditumbuhi banyak vegetasi dan terdapat beberapa biota yang hidup di dalam air sungai. Input yang masuk ke sungai di dominasi oleh limbah domestik dikarenakan banyak ditemukan pipa pembuangan dari pemukiman warga, hotel, toko perdagangan, toko elektronik, instalasi farmasi DIY, salon, dan laundry.



Gambar 4.5 Lokasi Titik 5 Sampling

4.1.6 Jembatan Merah

Jembatan Merah yang bertepatan di desa wisata Kota Yogyakarta (jembatan merah) merupakan titik lokasi sampling ke 6 (enam). Kondisi air sungai cukup jernih dengan kedalaman sekitar 40-60 cm. Sekitar pinggir sungai ditumbuhi beberapa vegetasi dan terdapat banyak bebatuan. Warga sekitar juga memanfaatkan bagian pinggir sungai sebagai tambak ikan. Selain itu masih terdapat beberapa warga yang memanfaatkan air sungai sebagai kebutuhan pribadi seperti mandi dan mencuci. Namun, banyak pula ditemukan input yang masuk ke sungai seperti pipa pembuangan limbah rumah tangga, perkantoran, pengrajin kayu, bengkel, toko elektronik, toko mebel, dan salon.



Gambar 4.6 Lokasi Titik 6 Sampling

4.1.7 Ngampilan

Aliran sungai ini berada di tengah padatnya pemukiman, sehingga banyak ditemukan sampah dan beberapa pipa pembuangan dari limbah rumah tangga. Sampling pada titik 7 (tujuh) ini berlokasi di Ngampilan, Kota Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai ditumbuhi beberapa vegetasi, terdapat banyak batuan, dan ada beberapa tambak ikan. Kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 30-50 cm. Masih terdapat beberapa warga yang menjadikan sungai tersebut sebagai tempat untuk buang air. Selain banyaknya pemukima warga, banyak juga ditemukan tempat penginapan, warung makan, pertokoan, dan beberapa industri salah satunya adalah rumah industri badut



Gambar 4.7 Lokasi Titik 7 Sampling

4.1.8 Gedongkiwo

Kondisi air sungai pada sampling titik 8 (delapan) tepatnya berada di Gedongkiwo, Kota Yogyakarta cukup jernih dengan kedalaman sekitar 50-60 cm. Kondisi sekitar terdapat banyak vegetasi, banyak batuan kecil

hingga sedang, dan pasir. Masih terdapat beberapa biota yang hidup pada sungai tersebut, sehingga masih ditemukan beberapa warga yang mancing di sungai tersebut sebagai mata pencaharaian atau konsumsi pribadi, dan juga beberapa warga memanfaatkan pasir di sungai dan sekitar untuk di tambang dan di jual atau digunakan sendiri. Input yang masuk ke dalam sungai ini yaitu adanya jalur irigasi dari persawahan, pipa limbah domestic, industri tahu maryadi, dan SPBU.



Gambar 4.8 Lokasi Sampling Titik 8

4.1.9 Mantrijeron

Kecamatan Mantrijeron, Kota Yogyakarta menjadi Lokasi sampling titik 9 (Sembilan). Kondisi sekitar ditumbuhi banyak vegetasi dan terdapat banyak pasir di dasar sungai maupun sekitar. Kondisi air sungai cukup jernih dengan kedalaman sekitar 100-150 cm. Masih terdapat beberapa biota yang hidup pada perairan tersebut, sehingga ditemukan beberapa warga yang sedang mancing sebagai mata pencaharian ataupun konsumsi pribadi. Terdapat banyak input yang masuk ke sungai yaitu limbah domestik, limbah pertanian, limbah perikanan, industri patung, toko elektronik, toko plastik, toko tembakau.



Gambar 4.9 Lokasi Sampling Titik 9

4.1.10 Tirtonirmolo

Lokasi sampling titik 10 terdapat pada Jalan Nasional III, Kecamatan Kasihan, Bantul. Kondisi sekitar sungai ditumbuhi banyak vegetasi. Kondisi air sungai sedikit keruh dan arus sungai cukup cepat dengan kedalaman sekitar 150-180 cm. Ditemukan beberapa sampah di aliran maupun sekitar sungai. Masih banyak biota yang hidup pada aliran sungai ini, sehingga ditemukan beberapa warga yang sedang memancing sebagai bentuk mata pencaharian atau konsumsi pribadi. Terdapat banyak input yang masuk ke dalam sungai didominasi oleh limbah domestik rumah tangga dan limbah perindustrian antara lain, pabrik plastik, rumah produksi, toko kerajinan tangan, industri aksesoris mebel, laundry dan bengkel.



Gambar 4.10 Lokasi Sampling Titik 10

4.1.11 Jogonalan

Pada lokasi sampling titik 11 ditemukan beberapa sampah di aliran maupun sekitar sungai yang berada di Jogonalan kidul, Kecamatan Kasihan, Bantul. Kondisi sekitar sungai dipenuhi banyak vegetasi. Kondisi air sungai cukup keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 100-120 cm. Kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 100-120 cm. Input yang masuk ke sungai antara lain limbah domestik rumah tangga, pangkalan LPG pertamina, bengkel motor honda, apotik, pabrik kerupuk, pabrik tahu, bengkel sepeda, dan industri aluminium “Mukti aluminium kaca”.



Gambar 4.11 Lokasi Sampling Titik 11

4.1.12 Jembatan Winongo

Pada lokasi sampling terakhir yaitu titik 12 (dua belas) terdapat di Jembatan Winongo, Bantul, Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai ditumbuhi banyak vegetasi dan bebatuan. Kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 20-30 cm. Ditemukan beberapa sampah pada sekitar sungai, beberapa kandang hewan ternak, dan tidak jauh dari aliran sungai terdapat persawahan. Selain itu input yang masuk ke sungai antara lain limbah domestik, percetakan dan sablon, pemasok peralatan industri, toko kaca & aluminium barokah, toko bahan bangunan, bengkel dan juga terdapat pengurukan pasir di pinggir sungai.



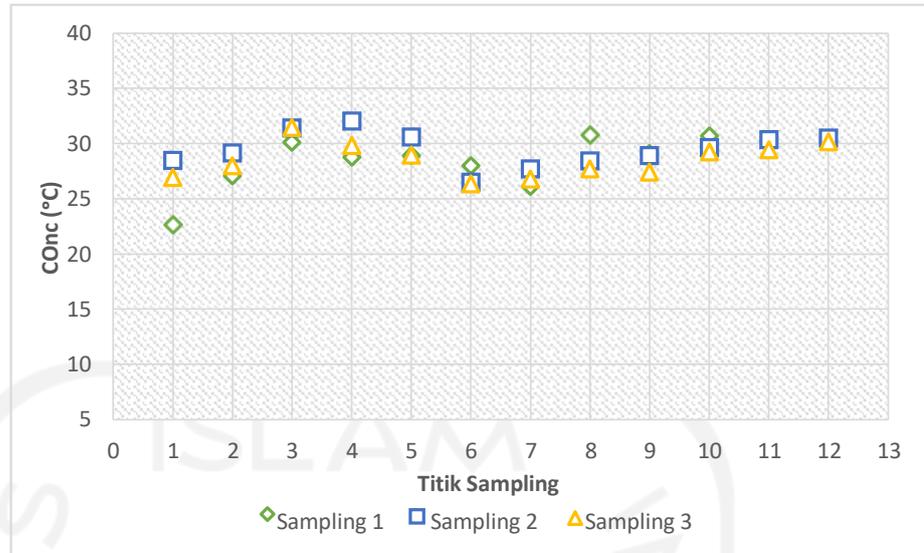
Gambar 4.12 Lokasi Sampling Titik 12

4.2 Analisis Parameter Kimia dan Fisika

Parameter kimia fisika untuk melihat kualitas pada air Sungai Winongo yaitu pH, temperature, COD, konduktivitas, dan ORP. Hasil dari pengukuran parameter fisika dan kimia menunjang informasi terkait kondisi Sungai Winongo di dua belas (12) titik dengan tiga kali pengambilan sampling pada bulan desember 2020 hingga februari 2021, yang dapat dilihat pada gambar diagram box & whisker plot pada masing-masing sub bab pembahasan,

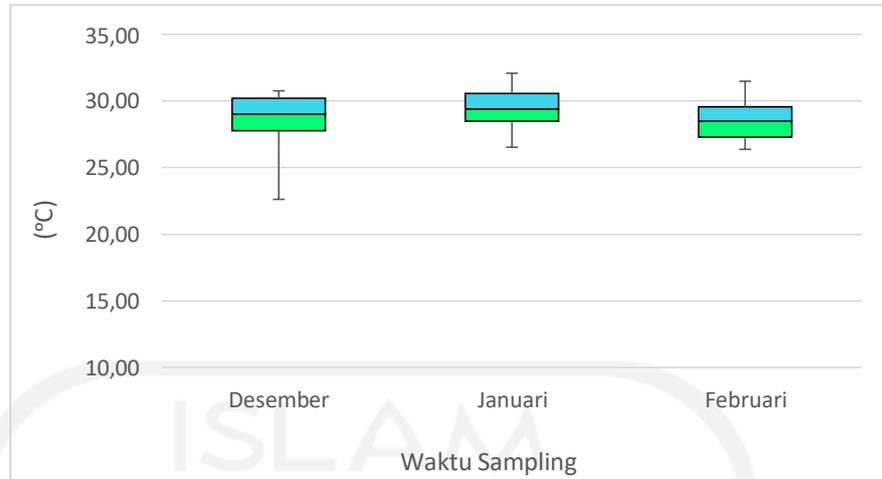
4.2.1 Suhu

Suhu menjadi parameter fisika yang memiliki peran penting, salah satunya dapat mempengaruhi kadar logam berat di badan air. Suhu yang memiliki nilai tinggi akan mempermudah untuk senyawa logam berat larut di dalam air (Sukoasih & Widiyanto, 2017). Hasil pengukuran suhu di sepanjang Sungai Winongo berdasarkan titik dan konsentrasi dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Hasil pengukuran suhu Sungai Winongo

Berdasarkan gambar 4.13 terlihat bahwa suhu pada 12 titik dengan tiga kali sampling secara umum bersifat fluktuatif dimana konsentrasi suhu tertinggi berada pada titik 4 sampling 2 yaitu 32,06 °C dan terendah berada pada titik 1 sampling 1 yaitu 22,64 °C. Adanya perbedaan ekstrim antara suhu pada titik 4 dan titik 1 dikarenakan terdapat perbedaan kedalaman pada air sungai. Pada titik 1 memiliki kedalaman yang cukup dangkal yaitu sekitar 30-50 cm sedangkan titik 4 memiliki kedalaman relatif cukup dalam yaitu sekitar 140 cm. Hal tersebut mempengaruhi intensitas cahaya yang masuk kedalam badan air, dimana dengan kondisi kedalaman yang dangkal cahaya matahari dapat masuk hingga ke dasar perairan sedangkan pada kondisi yang cukup dalam cahaya matahari hanya sampai di permukaan (Sidabutar, 2019).



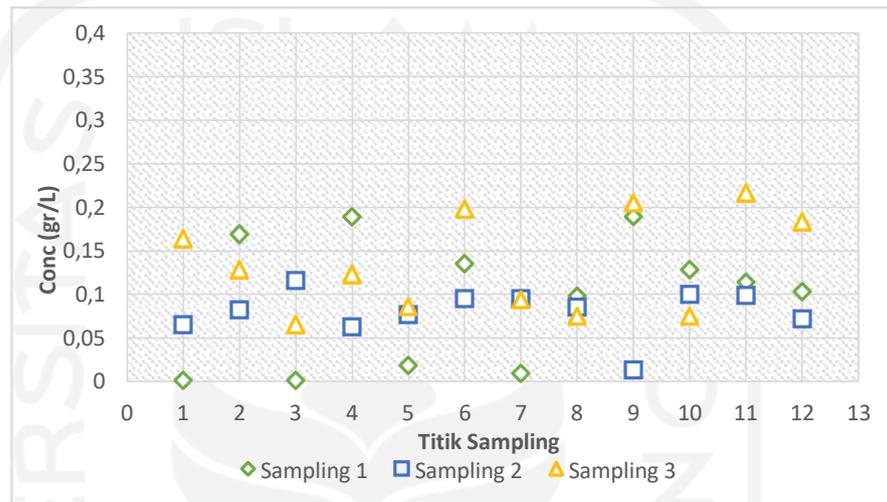
Gambar 4.14 Diagram boxplot Suhu Sungai Winongo

Pada gambar 4.14 menampilkan data konsentrasi suhu terhadap waktu. Persebaran data antara bulan Januari dan Februari hampir sama. Sampling pada bulan Januari memiliki data yang simetris, sedangkan sampling pada bulan Desember dan Februari tidak simetris dikarenakan memiliki garis whisker yang tidak sama panjang dan garis median pada sampling bulan Februari menandakan distribusi data cenderung kearah kanan. Nilai median suhu dari 12 titik dengan pengambilan tiga kali sampling berada pada rentang 28,50 °C – 29,41 °C.

Suhu pada badan air sungai memiliki hubungan dengan hadirnya logam berat. Terjadinya perubahan pada suhu dapat berpengaruh terhadap pembentukan ion dalam logam berat (Wulandari & Sukesi, 2013). Nilai suhu yang bervariasi menunjukkan bahwa konsentrasi suhu pada air dipengaruhi dengan berbagai unsur eksternal seperti cuaca, angin dan arus. Terjadinya perubahan alur arus yang tiba-tiba mengakibatkan nilai suhu air ikut menurun (Patty, 2013). Peningkatan suhu pada air sungai cenderung menyebabkan pengumpulan dan toksisitas pada logam berat akan semakin tinggi, hal tersebut disebabkan laju proses metabolisme dari organisme dalam air jadi meningkat (Sukoasih & Widiyanto, 2017). Menurut Sarjono (2009), suhu yang meningkat tidak cukup akan membuat metabolisme biota perairan jadi meningkat, tetapi juga bisa meningkatkan efek toksik logam berat di lingkungan akuatik.

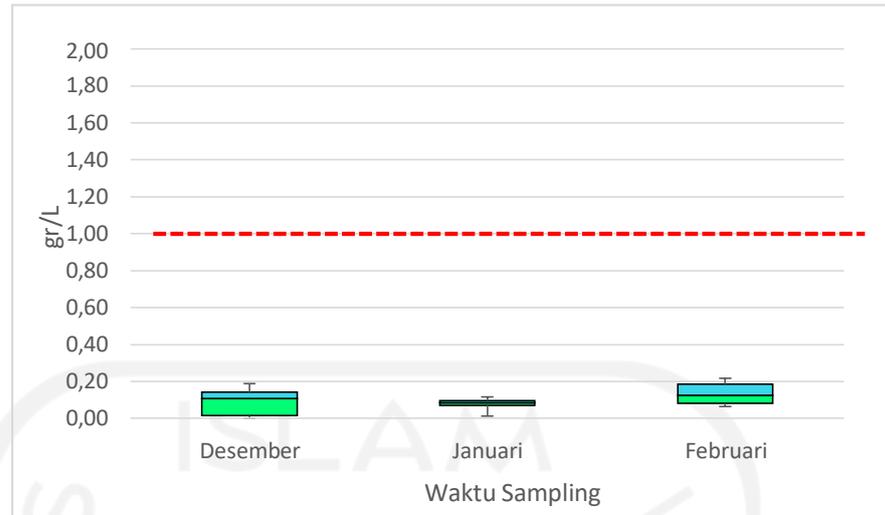
4.2.2 TDS (*Total Dissolve Solid*)

Total Dissolved Solid (TDS) disebut juga sebagai zat padat yang larut dalam air dimana merupakan terlarutnya zat padat dapat berupa ion, senyawa, maupun koloid di dalam air (Situmorang, 2012). Hasil pengukuran TDS (*Total Dissolve Solid*) pada Sungai Winongo berdasarkan titik dan konsentrasi dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Hasil pengukuran TDS Sungai Winongo

Pada gambar tersebut memperlihatkan kondisi TDS pada Sungai Winongo bersifat fluktuatif dengan konsentrasi tertinggi terdapat di titik 11 sampling 3 yaitu 0,216 gr/L sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada titik 3 yaitu 0,001 gr/L. Konsentrasi TDS paling tinggi terjadi pada titik 11 dikarenakan input yang masuk ke sungai didominasi oleh limbah pertanian dan limbah domestik rumah tangga. Menurut Al-Badaii *et al.*, (2013), limbah pertanian menjadi salah satu sumber utama kadar TDS meningkat karena adanya air irigasi yang dikembalikan ke sungai seringkali memiliki konsentrasi ion natrium atau klorida yang lebih tinggi. Sedangkan titik dengan konsentrasi TDS rendah dikarenakan penggunaan lahan dan aktivitas antropogenik pada daerah sekitar masih jauh lebih sedikit.



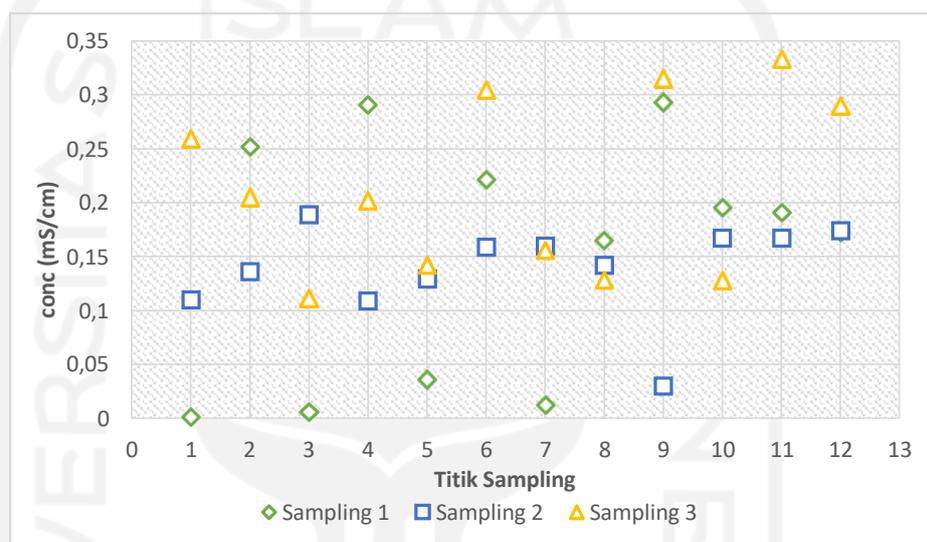
Gambar 4.16 Diagram boxplot TDS Sungai Winongo

Box whisker plot pada gambar 4.16 menunjukkan pendistribusian data yang tidak simetris karena garis whisker tidak sama panjang dan garis median pada sampling 1 dan 3 tidak berada di tengah. Nilai median TDS pada 3 (tiga) kali sampling di Sungai Winongo yang dilakukan pengambilan sampel secara berkala berada pada rentang 0,08 gr/L hingga 0,13 gr/L. Konsentrasi TDS tertinggi berada di sampling 3 dengan nilai TDS rata-rata 0,13 gr/L. Sedangkan distribusi data terkecil terdapat pada bulan Januari dengan nilai TDS rata-rata 0,08 gr/L. Akan tetapi, konsentrasi tertinggi pada Sungai Winongo masih dalam kategori aman dan tidak melampaui baku mutu pada PP No. 22 Tahun 2021 yaitu 1000 mg/L atau 1 gr/L.

Menurut Eleonora *et al.*, (2016), TDS suatu perairan bisa meningkat akibat buangan yang masuk ke badan sungai hasil aktivitas manusia yang mengandung logam berat. Hal tersebut menandakan bahwa hadirnya TDS di badan sungai memiliki hubungan dengan adanya logam berat. Menurut Ganiyu *et al.*, (2021) adanya hubungan yang kuat antara TDS dengan logam berat dimana logam berat yang terlarut secara signifikan akan mempengaruhi TDS pada sampel air karena TDS memiliki komposisi yang terdiri dari garam, logam, metaloid dan bahan organik terlarut.

4.2.3 Konduktivitas

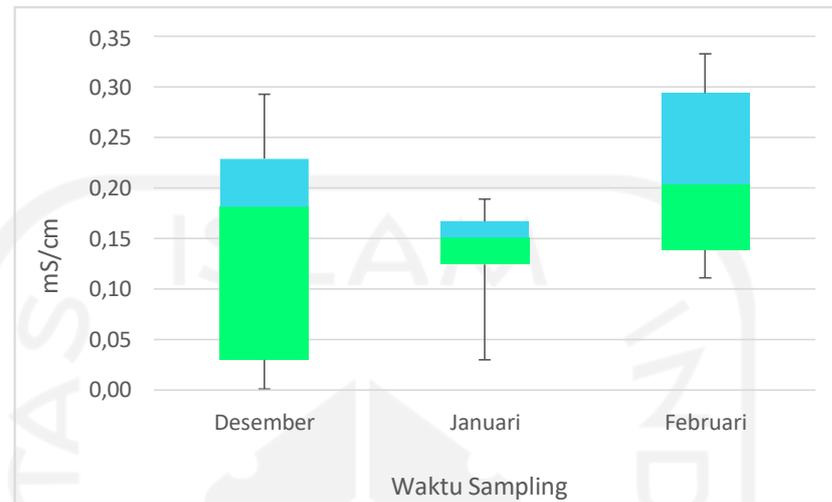
Konduktivitas listrik adalah sifat kualitas air yang sering diukur saat sampel air dikumpulkan untuk analisis kimia (McCleskey *et al.*, 2011). Kandungan ion-ion yang berbau di dalam air memiliki pengaruh terhadap nilai konduktivitas (Aritonang *et al.*, 2014). Hasil pengukuran konduktivitas pada Sungai Winongo berdasarkan konsentrasi dan titik sampling dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Grafik Konduktivitas Sungai Winongo

Berdasarkan gambar diatas, data konduktivitas pada Sungai Winongo memiliki sifat fluktuatif dimana antar titik memiliki data yang beragam. Konsentrasi konduktivitas tertinggi ada pada titik 11 sampling 3 yaitu 0,333 s/cm sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada titik 1 sampling 1 yaitu 0,001 s/cm. Daya hantar listrik yang semakin kecil dipengaruhi oleh nilai resistivitas yang meningkat, karena mineral anorganik yang sedikit dimana mengandung logam pada air sehingga dapat terjadi hambatan pada aliran arus listrik. Sedangkan daya hantar listrik tertinggi merupakan lokasi dengan kualitas air rendah karena memiliki konduktivitas listrik besar. Titik sampling dengan nilai konduktivitas listrik tertinggi dapat dipengaruhi oleh keadaan pada daerah sekitar misalnya warna air sungai yang berubah, kecepatan arus sungai, dan

pengaruh pada pasang surut air. Selain itu, Konduktivitas juga dipengaruhi oleh suhu dimana semakin hangat air, semakin tinggi konduktivitasnya (Aritonang *et al.*, 2014).



Gambar 4.18 Diagram boxplot Konduktivitas Sungai Winongo

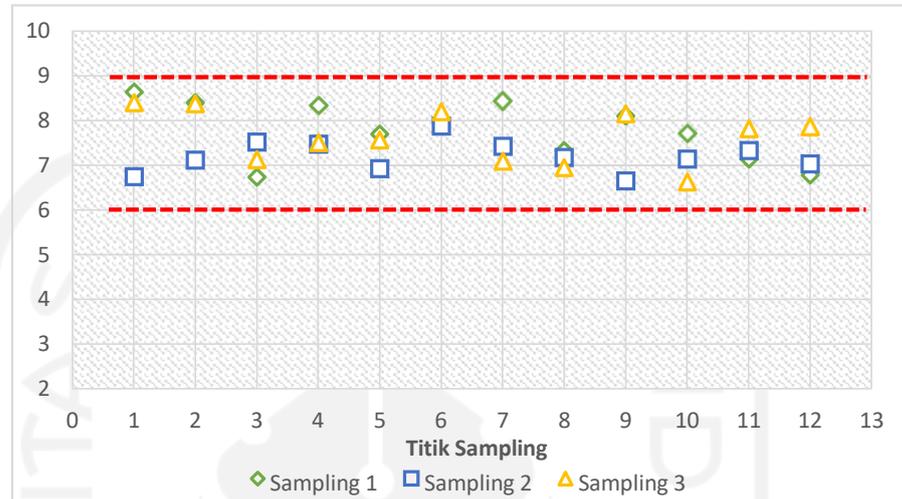
Data yang disajikan pada gambar 4.18 terlihat tiap samplingnya memiliki data yang tidak simetris karena garis whisker tidak sama panjang dan garis median tidak berada di tengah. Namun, distribusi data pada bulan Desember dan Februari memiliki persebaran data yang cukup luas. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai median konduktivitas dari 3 kali pengambilan sampling berada pada rentang 0,15 mS/cm – 0,20 mS/cm dengan masing-masing sampling memiliki nilai rata-rata yaitu bulan Desember 0,15 s/cm, Januari 0,14 s/cm, dan Februari 0,21 s/cm.

Adanya senyawa organik anorganik dan garam yang semakin banyak dan mudah terionisasi, maka semakin tinggi pula nilai konduktivitas listriknya. Tingginya nilai konduktivitas listrik tersebut dapat mengindikasikan bahwa adanya logam yang terkandung dalam badan air (Purbalisa & Mulyadi, 2013).

4.2.4 pH (Derajat Keasaman)

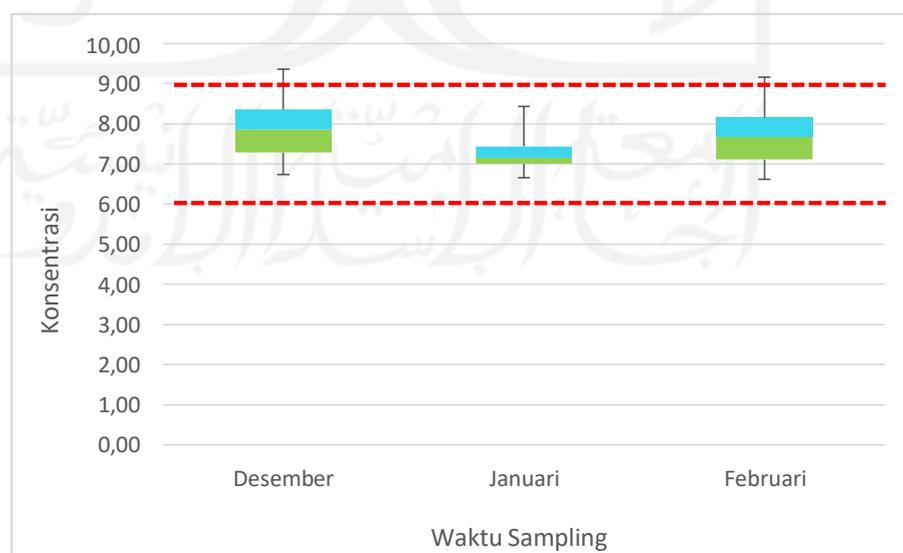
Derajat keasaman (pH) adalah tingkat keasaman pada suatu perairan. pH yang ideal pada suatu perairan yaitu 6,5-8,5. Kemampuan dari organisme perairan berbeda-beda dalam menoleransi pH di air (Muhtadi,

2009). Berikut merupakan hasil pengukuran pH pada Sungai Winongo berdasarkan titik sampling dan konsentrasi dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 Hasil pengukuran pH Sungai Winongo

Dapat dilihat pada gambar 4.19, diketahui bahwa data pH dalam Sungai Winongo bersifat fluktuatif dengan konsentrasi tertinggi berada pada titik 1 sampling 1 yaitu 8,63 sedangkan konsentrasi terendah ada pada titik 10 sampling 3 yaitu 6,62. Nilai rata-rata pH pada Sungai Winongo sebesar 7,20 – 7,77 yang artinya kondisi air sungai cenderung bersifat basa.

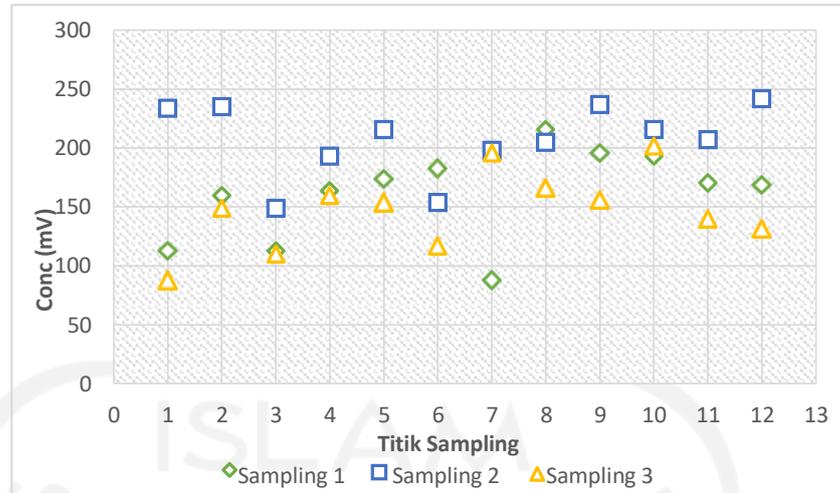


Gambar 4.20 Diagram boxplot pH Sungai Winongo

Berdasarkan box whisker plot pada gambar 4.20 tiap sampling terlihat data tidak simetris karena garis median tidak berada di tengah dan distribusi pada bulan Desember dan Februari memiliki persebaran data yang lebih luas dibandingkan dengan bulan Januari. Berdasarkan hasil pengukuran dapat diketahui bahwa nilai median pH pada 12 titik dengan 3 kali pengambilan sampling berada dalam rentang 7,15 – 7,85. pH dengan kondisi mendekati normal yaitu 7 – 8 dapat membuat kondisi kelarutan pada logam berat lebih stabil dan bisa saling mengikat dengan anion, sehingga bentuk logam berat dapat menjadi kompleks organologam yaitu perpaduan antara bentuk logam organik dan logam anorganik yang umumnya mengendap ke dasar perairan (Sarjanti *et al.*, 2014). Apabila nilai pH rendah, maka semakin tinggi kelarutan pada logam sehingga akan mengakibatkan efek toksik logam berat bertambah besar. pH di air yang mengalami kenaikan umumnya akan diikuti dengan semakin rendahnya kelarutan pada senyawa logam tersebut (Sukoasih & Widiyanto, 2017). Namun jika dilihat dari rentang nilai median tersebut, maka pH sepanjang Sungai Winongo termasuk ke dalam nilai pH yang ideal, karena nilai pH terendah dan tertinggi masih dalam rentang batas mutu yang telah ditentukan oleh Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 yaitu 6 – 9.

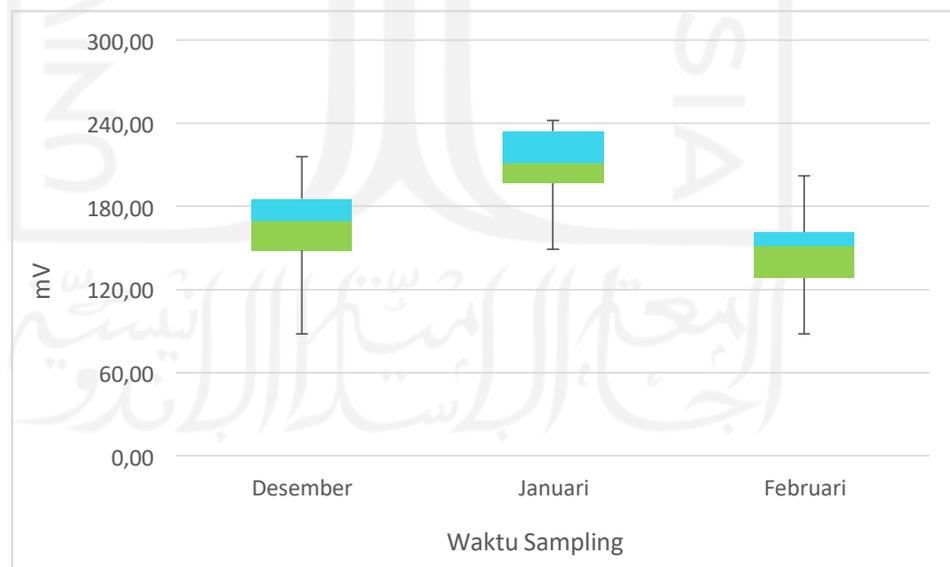
4.2.5 ORP (*Oxidation Reduction Potential*)

ORP (*Oxidation Reduction Potential*) merupakan kemampuan larutan dalam memberikan electron dari oksidan kepada reduktan, sehingga dapat berpengaruh terhadap proses kimia yang terjadi dalam perairan. ORP bisa mengukur sungai dalam kemampuannya untuk membersihkan diri atau mengurai produk-produk limbah, seperti kontaminan, tanaman dan hewan yang telah mati. ORP dapat memberikan informasi tambahan untuk para peneliti terkait kualitas air dan juga tingkat polusi dalam perairan (Urbasa *et al.*, 2019). Hasil pengukuran ORP di pada Sungai Winongo berdasarkan titik sampling dan konsentrasi dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.21 berikut.



Gambar 4.21 Hasil pengukuran ORP Sungai Winongo

Diketahui konsentrasi ORP tertinggi berdasarkan gambar 4.21 terdapat pada titik 12 sampling 2 yaitu 242 mV sedangkan konsentrasi terkecil berada pada titik 7 sampling 1 dan titik 1 sampling 3 yaitu 88 mV. Jika terdapat konsentrasi ORP yang kecil atau negatif umumnya mengindikasikan kondisi air yang bersifat anaerob. Sehingga pada kondisi tersebut, daya toksikisitas zat-zat yang beracun akan terus meningkat (Tim BRPSDI, 2021).



Gambar 4.22 Diagram boxplot ORP Sungai Winongo

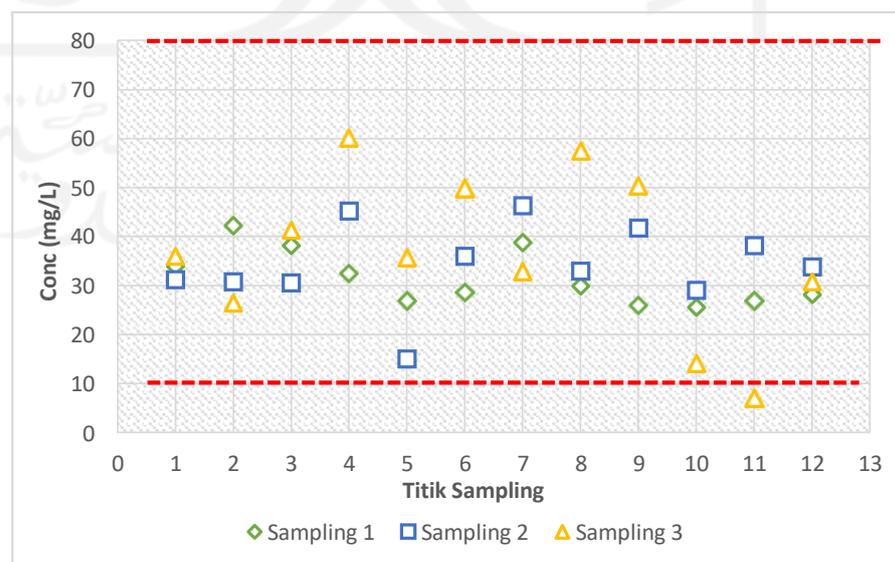
Berdasarkan gambar 4.22 menunjukkan data pada Sungai Winongo antara waktu sampling terhadap konsentrasi. Diketahui bahwa data tiap

sampling terlihat tidak simetris karena kedua garis whisker tidak sama panjang dan garis median pada sampling 2 dan 3 tidak berada di tengah, tetapi memiliki persebaran data yang cukup luas pada masing-masing waktu. Berdasarkan hasil pengukuran, diketahui nilai median ORP pada 12 titik dengan 3 kali pengambilan sampling berada dalam rentang 151,50 mV – 211,50 mV dengan nilai rata-rata tiap waktu sampling yaitu bulan Desember 161,58 mV, Januari 207,17 mV, dan Februari 147,50 mV.

ORP dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi sungai ke dalam kategori aerobik, anoksik, atau anaerobik bergantung pada kisaran konsentrasi ORP. Berdasarkan rentang nilai median ORP, indikasi keadaan air Sungai Winongo saat ini yaitu terjadi proses oksidasi amonia menjadi nitrat atau disebut dengan nitrifikasi. Proses ini terjadi ketika keadaan sungai mengalami perpindahan dari kondisi anoksik menjadi aerobic (Al-Samawi & Al-Hussaini, 2016).

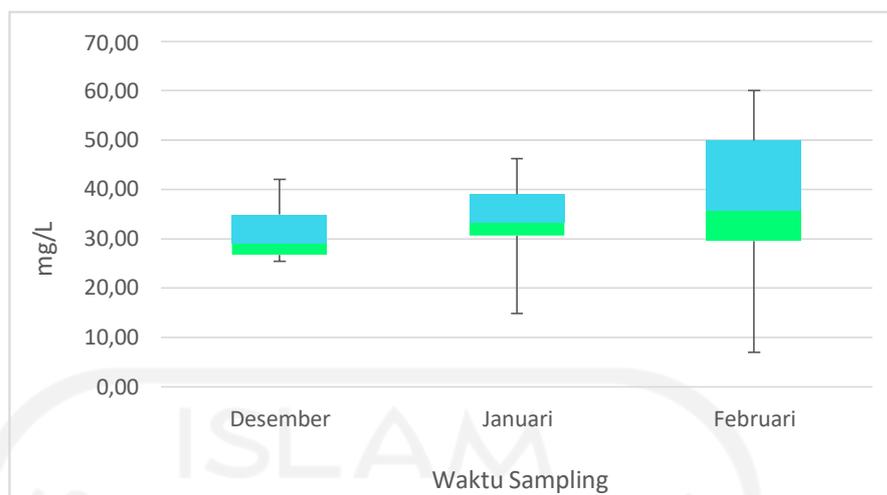
4.2.6 COD (Chemical Oxygen Demand)

(COD) Chemical Oxygen Demand ialah jumlah total oksigen yang dibutuhkan saat mengoksidasi bahan organik secara kimiawi (Lumaela *et al.*, 2013). Berikut merupakan hasil pengukuran COD di pada Sungai Winongo berdasarkan titik sampling dan konsentrasi yang dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.23 Hasil pengukuran COD Sungai Winongo

Pada gambar 4.23 dapat dilihat bahwa konsentrasi COD di tiap titik memiliki data yang beragam sehingga grafik menunjukkan sifat fluktuatif. Konsentrasi COD tertinggi berada pada titik 4 sampling 3 yaitu 60,025 mg/L sedangkan konsentrasi terendah ada di titik 11 sampling 3 yaitu 7,046 mg/L. Konsentrasi terendah yang ada pada titik 11 berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 yaitu yaitu 10 mg/L. Pada titik 4 input yang menyebabkan nilai COD menjadi tinggi yaitu adanya limbah domestik dari aktivitas masyarakat yang di buang ke sungai tinggi, seperti limbah sisa cucian, deterjen, industri, pemutih, pewangi, dan yang mengandung bahan kimia lainnya. Padatnya pemukiman di pinggir sungai serta aktivitas masyarakat yang memanfaatkan air sungai menjadi faktor utama nilai COD. Aktivitas masyarakat menyebabkan bahan organik dalam sungai meningkat (Hamakonda *et al.*, 2019). Menurut Suparjo (2009) dalam Supriyantini (2017), kandungan COD yang tinggi dikarenakan adanya degradasi pada bahan organik ataupun anorganik yang dating dari kegiatan masyarakat di sekitar wilayah sungai bahkan limbah hasil dari proses industri yang belum diolah dengan baik. Bahan organik tersebut terdiri dari senyawa hidrogen, karbon, oksigen dan terdapat juga bahan yang memiliki kandungan senyawa nitrogen. Umumnya bahan organik yang terbuang yaitu limbah yang bisa terdegradasi ataupun membusuk oleh mikroorganisme (Pohan *et al.*, 2017). Apabila ditemukan kandungan Fosfat dan Nitrat yang meningkat di air sungai, maka akan mengakibatkan COD di sungai tersebut semakin meningkat (Lumaela *et al.*, 2013).



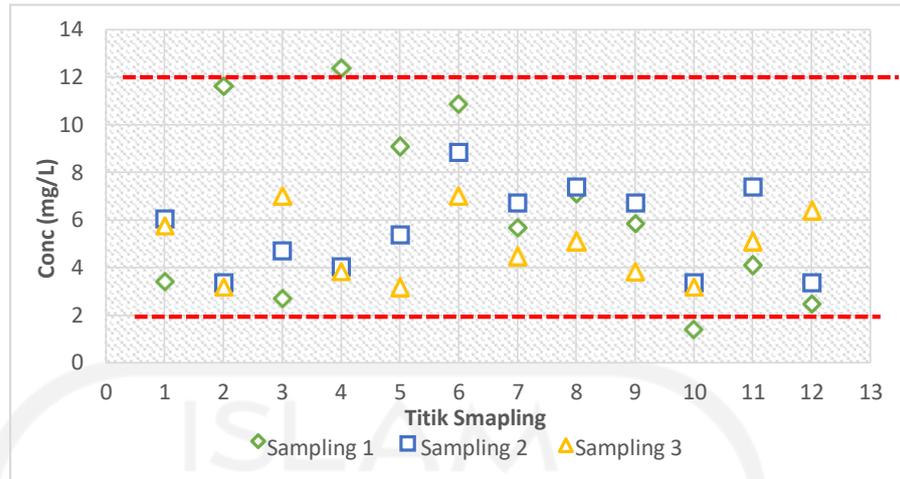
Gambar 4.24 Diagram boxplot COD Sungai Winongo

Berdasarkan hasil perhitungan dan dapat dilihat pada gambar 4.24 bahwa konsentrasi COD tiap waktu semakin meningkat. Namun, data yang didapatkan tidak simetris dan persebaran serta keragaman data pada bulan Februari lebih luas. Nilai median COD yang didapatkan berada pada rentang 33,31 mg/L – 35,78 mg/L dengan nilai rata-rata COD tiap waktu yaitu bulan Desember 31,35 mg/L, Januari 34,15 mg/L, dan Februari 36,77 mg/L.

Menurut Sumantri & Rahmani (2020), apabila kadar COD tinggi di dalam air, maka dapat menyebabkan logam berat yang terkandung dalam air sungai ikut tinggi karena banyaknya buangan industri yang terbuang ke badan sungai menunjukkan COD dengan kadar bahan organik yang memiliki sifat non biodegradable.

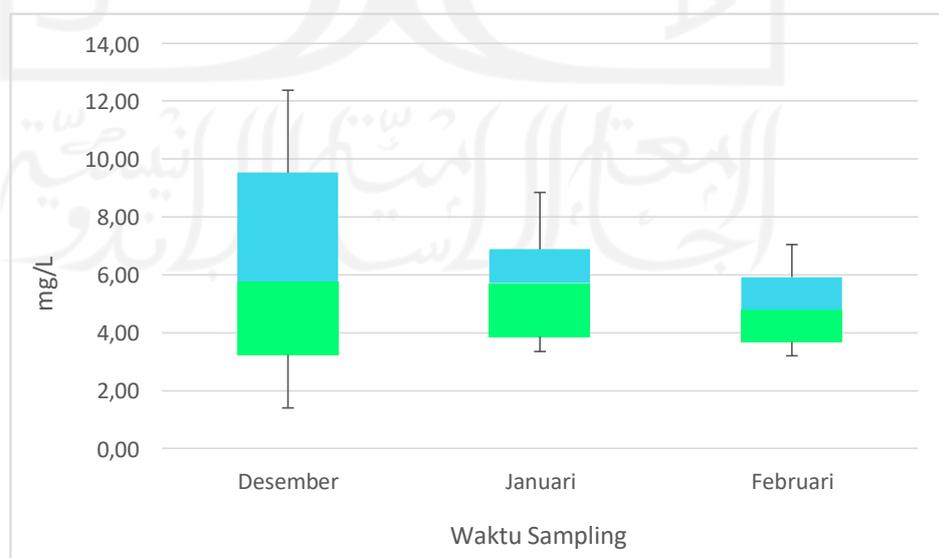
4.2.7 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah parameter yang sering kali difungsikan dalam menilai kualitas air. BOD memberikan informasi terkait fraksi yang siap untuk terurai dari bahan organik yang sedang mengalir didalam perairan tersebut (Sara *et al.*, 2018). Berikut merupakan grafik pengukuran BOD berdasarkan titik sampling dengan konsentrasi yang dapat dilihat pada gambar 4.25



Gambar 4.25 Hasil Pengukuran BOD sepanjang Sungai Winongo

Gambar 4.25 diatas memperlihatkan konsentrasi BOD yang cenderung menurun. Namun demikian, konsentrasi BOD tertinggi berada pada titik 4 yaitu 12,368 mg/L sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada titik 10 yaitu 1,408 mg/L dimana berada dibawah batas mutu yang telah ditentukan PP No 22 Tahun 2021 yaitu 2 mg/L. Menurut Kurnianti *et al.*, (2020) perairan dengan konsentrasi pada BOD kian meningkat menunjukkan bahwa air sungai tersebut telah terkontaminasi polusi. Kadar BOD yang tinggi bisa membuat konsentrasi DO menjadi turun, sehingga akan berpengaruh terhadap penurunan kualitas air dan menurun pula produktifitas sumberdaya pada air.



Gambar 4.26 Diagram boxplot BOD sepanjang Sungai Winongo

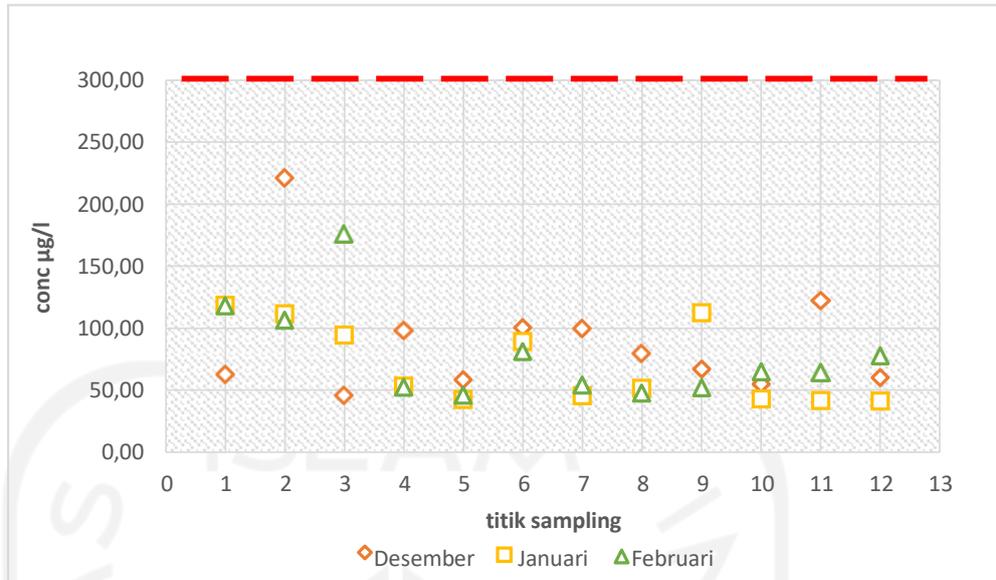
Gambar 4.26 menunjukkan bahwa nilai BOD sepanjang Sungai Winongo yang semakin menurun dari sampling 1 hingga sampling 3. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai median BOD berada pada rentang 4,80 mg/L – 5,78 mg/L dengan nilai rata-rata tiap waktunya yaitu bulan Desember 6,39 mg/L, Januari 5,61, dan Februari 4,85 mg/L. Pada sampling 3 terlihat bahwa tinggi box relative kecil yang artinya distribusi persebaran data BOD pada sampling 3 cenderung kecil jika dibandingkan dengan sampling 1 dan 2. Hal tersebut dikarenakan pada sampling ke 3 arus Sungai Winongo cukup besar karena kondisi cuaca saat itu baru selesai turun hujan. Menurut Wanna *et al.*, (2017), bertambahnya volume air dengan arus aliran yang tetap bisa membuat nilai kadar oksigen terlarut seimbang dalam perairan sehingga kondisi oksigen terlarut dalam kanal tetap stabil.

4.3 Analisis Logam Berat

Adanya faktor fisika, kimia, dan biologi yang telah disebutkan sebelumnya terdapat faktor lain yang ikut mempengaruhi fluktuatif hasil yaitu kecepatan arus dan kedalaman. Pada beberapa titik memiliki kandungan logam yang rendah dikarenakan kedalaman perairan yang relatif lebih dangkal dibanding dengan titik lainnya. Proses resuspensi pada perairan yang dangkal memiliki sedimen lebih tinggi, sehingga diduga logam berat yang ada dalam sedimen terlepas ke kolom perairan. Sedangkan kecepatan arus yang tinggi akan mempengaruhi proses laju pengendapan atau sedimentasi (Maslukah, 2013). Berikut merupakan data hasil pengukuran konsentrasi logam besi (Fe), Mangan (Mn), Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), Nikel (Ni) pada Sungai Winongo pada 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel.

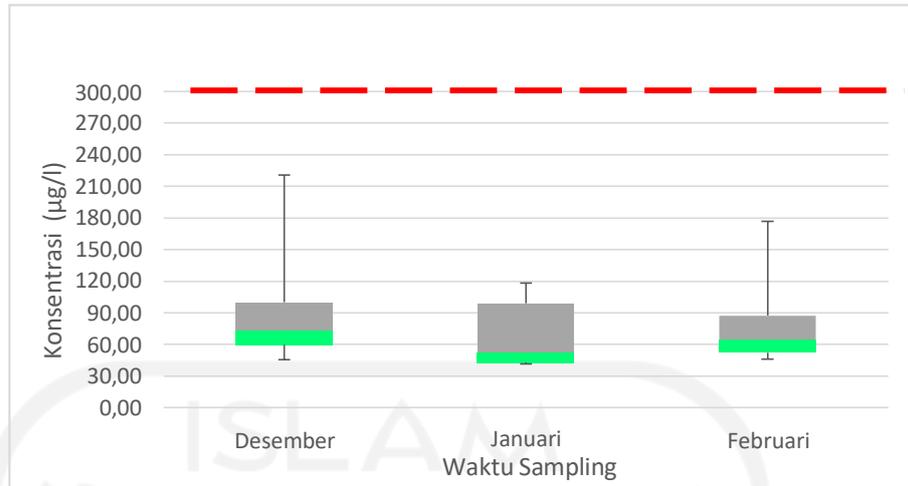
4.3.1 Besi (Fe)

Data hasil pengukuran konsentrasi logam besi (Fe) pada setiap titik dengan tiga kali pengambilan sampel pada Sungai Winongo dapat dilihat pada grafik gambar 4.27 berikut.



Gambar 4.27 Hasil pengukuran logam Fe sepanjang Sungai Winongo

Pada gambar 4.27 terlihat bahwa konsentrasi logam Fe pada Sungai Winongo bersifat fluktuatif dengan konsentrasi terendah terdapat pada titik 12 sampling 2 yaitu 41,49 µg/l atau 0,041 mg/L dan konsentrasi tertinggi berada pada titik 2 sampling 1 yaitu 220,99 µg/l atau 0,221 mg/L. Terlihat bahwa terdapat perbedaan konsentrasi yang cukup jauh. Menurut Firmansyaf (2013), menurunnya kandungan logam Fe pada perairan disebabkan adanya pengaruh dari hidrodinamika perairan seperti arus, pasang surut dan gelombang. Pada sampling 2 terdapat penurunan logam Fe pada titik 10 sampai 12. Penurunan tersebut terjadi akibat adanya pengendapan dari kolom air ke sedimen (Pratama *et al.*, 2012). Namun konsentrasi logam Fe yang didapatkan pada Sungai Winongo tidak melewati baku mutu yang ditentukan PP No 22 Tahun 2021 adalah 0,3 mg/l.



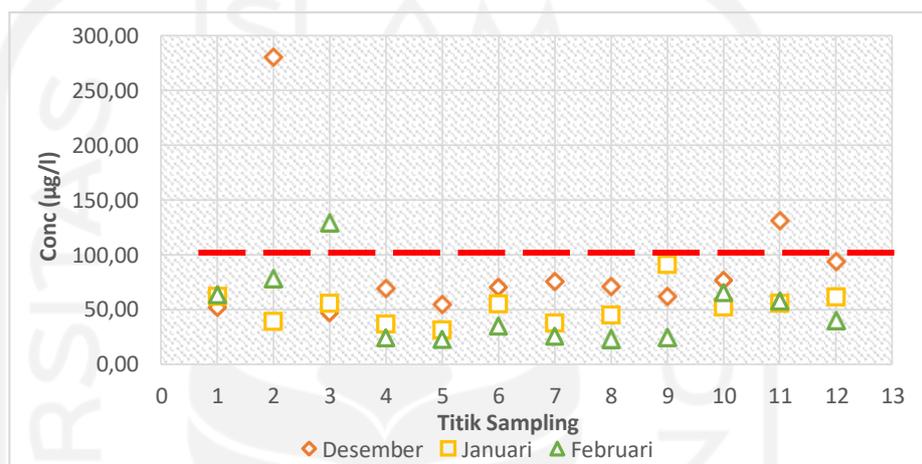
Gambar 4.28 Diagram Boxplot Logam Fe Sepanjang Sungai Winongo

Berdasarkan box whisker pada gambar 4.28 diatas, terlihat bahwa ketiga box memiliki data yang tidak simetris dikarenakan garis median tidak berada di tengah dan garis whisker condong kearah kanan, serta terlihat bahwa bulan Januari memiliki tingkat penyebaran dan data yang beragam. Namun demikian, tidak ditemukan nilai outlier pada data logam Fe. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan dua kali pengambilan sampel berada pada rentang 52,38 $\mu\text{g/l}$ hingga 73,54 $\mu\text{g/l}$ atau 0,05 mg/L hingga 0,07 mg/, dengan nilai rata-rata tiap waktunya yaitu bulan Desember 89,26 $\mu\text{g/l}$, Januari 70,51 $\mu\text{g/l}$, dan Februari 78,45 $\mu\text{g/l}$. Hasil logam Fe yang fluktuatif di setiap titik dikarenakan jumlah input dari aktivitas manusia seperti buangan limbah pabrik ke sungai berbeda-beda serta pasang surut dan arus perairan, karena setiap sampling memiliki kedalaman dan arus yang berbeda-beda akibat faktor cuaca. Banyaknya pabrik atau industri sekitar Sungai Winongo seperti industri percetakan, bengkel dan toko elektronik memicu terjadinya peningkatan logam Fe karena limbah buangan yang dialirkan ke sungai. Selain itu, sampah-sampah yang berada di sekitar maupun di dalam air Sungai Winongo memicu terjadinya peningkatan logam Fe seperti sampah kaleng yang sudah berkarat. Kaleng bekas yang sudah berkarat mengandung besi dan terurai dalam air menyebabkan kadar besi meningkat di perairan (Nurhaini & Affandi, 2017). Berdasarkan penelitian Bhardwaj *et al.*, (2019), logam

Fe dapat berasal dari pembuangan limbah industri dan domestik yang tidak diolah terlebih dahulu melalui saluran pipa besi yang sudah berkarat ke badan sungai, dan limbah dari bengkel kendaraan di daerah sekitar.

4.3.2 Mangan (Mn)

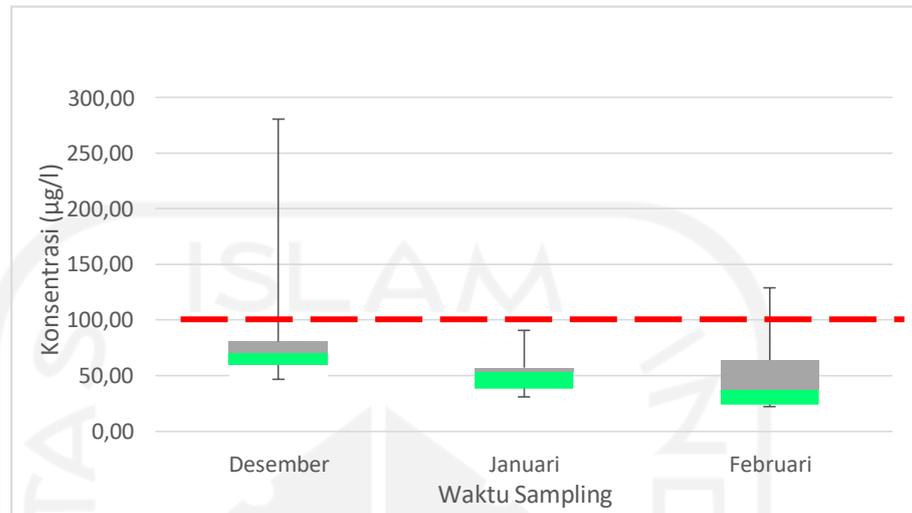
Konsentrasi logam mangan (Mn) di 12 (Duabelas) titik pada Sungai Winongo dapat dilihat pada gambar 4.29 berikut.



Gambar 4.29 Hasil pengukuran logam Mn sepanjang Sungai Winongo

Dapat dilihat dari gambar 4.29 diatas, rata-rata konsentrasi logam Mn pada 12 titik masih berada di bawah baku mutu, tetapi pada titik 2 dan titik 11 sampling 1 serta titik 3 sampling 3 telah melebihi baku mutu yaitu konsentrasi pada titik 2 sebesar 280,475 µg/l atau 0,28 mg/L, titik 11 sebesar 130,62 µg/l atau 0,13 mg/L, dan titik 3 sebesar 128,95 µg/l atau 0,128 mg/L. Sedangkan ambang batas pada PP No 22 Tahun 2021 adalah 0,1 mg/l. Menurut WHO (2011), Pada dasarnya kandungan logam Mn secara alami bisa ditemukan dalam air permukaan akibat adanya mineral yang terkikis ke perairan. Tetapi, adanya aktivitas manusia juga menjadi faktor utama banyaknya kontaminasi logam Mn di dalam air karena di beberapa daerah diketahui bahwa besar kecilnya konsentrasi logam Mn dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas. Hal ini mendukung hasil pengukuran pada titik 2 yang dimana memiliki konsentrasi logam Mn tertinggi, karena aliran sungai berada tepat di sebelah jalanan umum.

Selain itu ditemukan senyawa mangan dalam kandungan pestisida dalam pertanian.



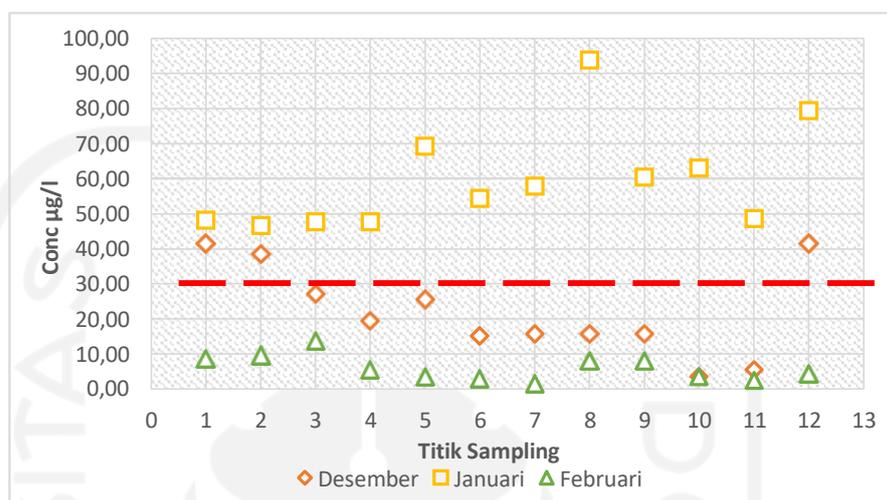
Gambar 4.30 Diagram Boxplot Logam Mn Sepanjang Sungai Winongo

Berdasarkan hasil perhitungan dan dapat dilihat dari gambar 4.30 bahwa data tiap waktunya tidak simetris karena garis median pada bulan Januari dan Februari tidak berada di tengah dan garis whisker ketiga box tidak sama panjang. Pada bulan Februari memiliki box yang lebih panjang menandakan bahwa terdapat tingkat penyebaran dan data yang beragam. Sedangkan pada bulan Desember memiliki nilai ekstrem yaitu 280,47 $\mu\text{g/l}$ dimana telah melebihi batas ekstrem $> 143,6 \mu\text{g/l}$. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel berada pada rentang 37,56 $\mu\text{g/l}$ hingga 70,49 $\mu\text{g/l}$ atau 0,037 mg/L hingga 0,07 mg/L.

Hal yang menjadi penyebab tingginya kadar Mn di perairan yaitu aliran sungai berada di tengah padatnya pemukiman serta berada dekat dengan jalan raya. Faktor lalu lintas menjadi salah satu penyebab tingginya kadar Mn. Selain itu, terdapat beberapa toko elektronik di daerah sekitar sehingga kemungkinan terdapat input yang masuk ke sungai dari toko tersebut. Didukung oleh pernyataan Yudo (2018), bahwa senyawa mangan sering dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan baterai.

4.3.3 Timbal (Pb)

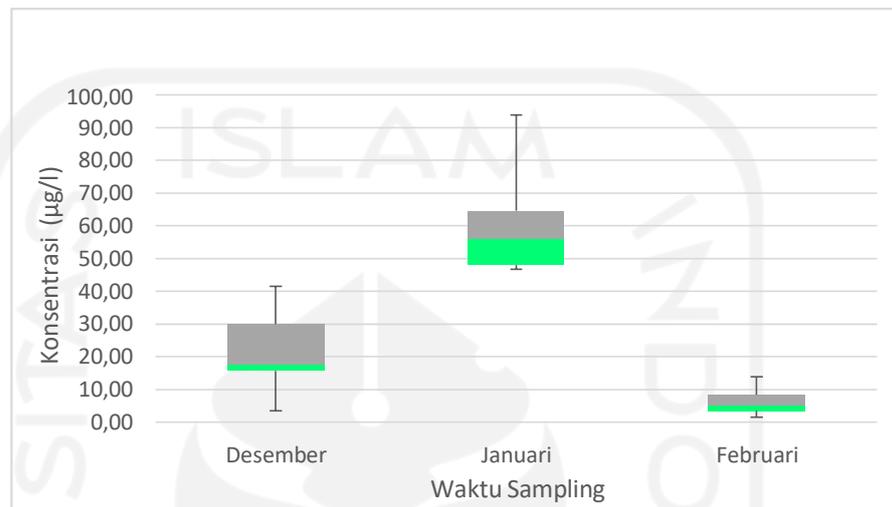
Hasil pengukuran konsentrasi logam timbal (Pb) pada 12 (duabelas) titik di Sungai Winongo dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.31 berikut.



Gambar 4.31 Hasil pengukuran logam Pb Sungai Winongo

Berdasarkan gambar diatas, menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi logam Pb pada sampling 1 dan 3 masih berada di bawah baku mutu, sedangkan pada sampling 2 konsentrasi logam Pb di 12 titik telah melebihi baku mutu. Baku mutu yang telah dibuat oleh PP No 22 Tahun 2021 adalah 0,03 mg/L. Konsentrasi logam Pb tertinggi berada pada titik 8 sampling 2 yaitu 93,86 µg/l atau 0,094 mg/L sedangkan konsentrasi terendah ada pada titik 7 sampling 3 yaitu 1,47 µg/l atau 0,00147 mg/L. Tingginya konsentrasi Pb pada titik 8 disebabkan karena cukup banyak bahan kontaminasi yang masuk ke dalam air dimana titik 8 merupakan daerah yang padat penduduk serta terdapat persawahan yang dimana terdapat penggunaan insektisida didalamnya. Konsentrasi logam berat bisa dipengaruhi dengan adanya hasil buangan yang memiliki kandungan logam berat didalamnya seperti buangan dari industri, limbah domestik rumah tangga, dan limbah pertanian (Kamarati *et al.*, 2018). Pemukiman merupakan salah satu sumber utama Pb dikarenakan banyaknya kandungan Pb ditemukan pada wilayah pemukiman yaitu penggunaan baterai, kabel, dan cat. Selain itu Pb dalam perairan juga dapat dipengaruhi

oleh faktor turunnya hujan sehingga banyaknya jumlah Pb di udara ikut terbawa hujan dan masuk ke dalam badan air. Pada penelitian Budiastuti *et al.*, (2016), dikatakan bahwa limbah logam timbal (Pb) bisa muncul ke dalam perairan secara alamiah yaitu dengan pengkristalan logam Pb dari udara yang dibantu dengan air hujan.



Gambar 4.32 Diagram Boxplot Logam Pb Sungai Winongo

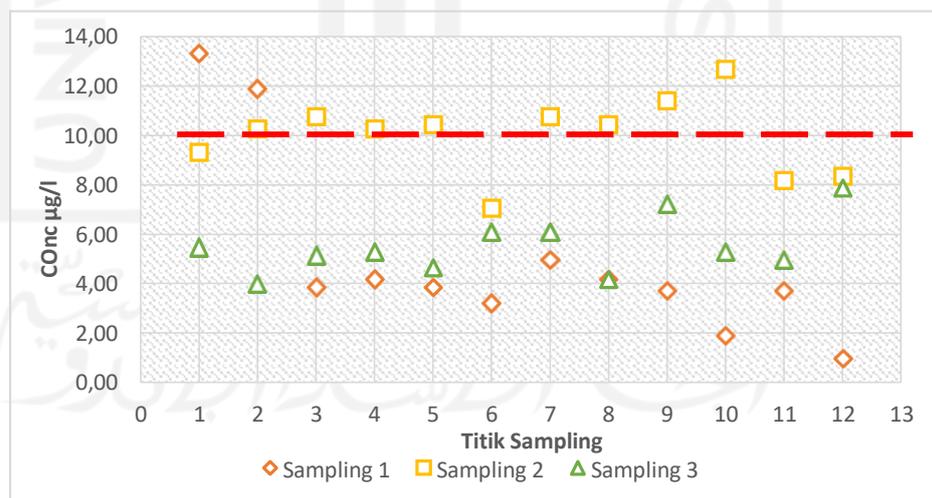
Hasil perhitungan dan dapat dilihat dari gambar 4.32 diatas, diketahui bahwa ketiga box memiliki data yang tidak simetris dikarenakan garis median tidak berada di tengah dan garis whisker memiliki panjang yang tidak sama serta adanya nilai outlier pada bulan Januari yaitu 93,86 µg/l dimana telah melebihi batas tangkupan data yaitu > 89 µg/l. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel berada pada rentang 1,47 µg/l hingga 56,14 µg/l atau 0,00147 mg/L hingga 0,05 mg/L.

Menurut WHO (2011), logam berat Pb yang terkandung dalam air dengan konsentrasi tinggi salah satunya dapat berasal dari senyawa TEL (*Tetra Ethyl Lead*) yang terdapat bahan aktif tetraetil-Pb dan tetrametil-Pb sebesar 62% dimana merupakan bahan *antiknock* yang berada dalam bahan bakar bensin pada kendaraan. Hasil sisa pembakaran pada kendaraan akan turun ke dalam badan air akibat terbawa hujan. Didukung juga oleh Logam berat Pb juga dapat masuk ke perairan karena disebabkan dampak dari aktifitas manusia dalam bentuk air buangan atau limbah dan

selanjutnya akan mengalami pengendapan atau dikenal dengan sebutan sedimen. Faktor lain adanya logam Pb di lingkungan akibat aktivitas alam yang berasal dari erupsi Gunung Merapi dan geokimia. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Wahyuni *et al.*, (2012), yang menyatakan bahwa kandungan abu vulkanik dari erupsi Gunung Merapi terdiri dari berbagai unsur seperti timbal (Pb), Barium (Ba), Stronsium (Sr), Zirkonium (Zr). Apabila logam-logam tersebut tersebar di lingkungan dengan jumlah besar dapat menyebabkan perairan yang berada disekitarnya ikut terkontaminasi. Berdasarkan laporan kebencanaan geologi, Gunung Merapi pada awal bulan Januari tercatat 152 kali gempa guguran dan 33 kali gempa hembusan dimana data tersebut mendukung hasil penelitian ini yang memperlihatkan sampling pada bulan januari memiliki kadar Pb yang cukup tinggi.

4.3.4 Kadmium (Cd)

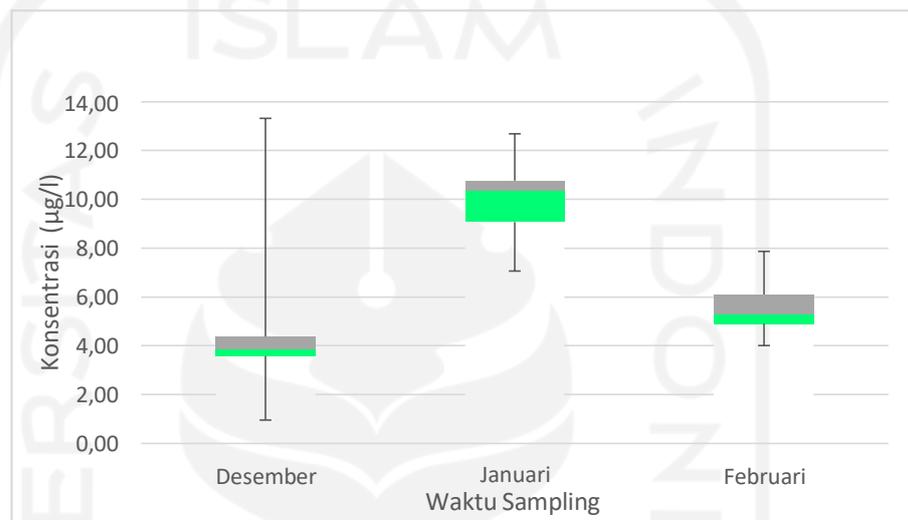
Berikut merupakan hasil pengukuran konsentrasi logam kadmium (Cd) pada 12 titik pengambilan sampel air di Sungai Winongo yang dapat dilihat pada gambar 4.33



Gambar 4.33 Hasil pengukuran logam Cd Sungai Winongo

Hasil yang dapat dilihat dari gambar diatas menunjukkan bahwa sampling 2 mendominasi adanya pencemaran logam Cd di dalam air sedangkan pada sampling 1 dan 3 memiliki rata-rata konsentrasi berada di

bawah baku mutu. Batas mutu yang telah ditentukan oleh PP No 22 Tahun 2021 adalah 0,01 mg/L. Konsentrasi logam Cd tertinggi ada pada titik 1 sampling 1 yaitu 13,33 $\mu\text{g/l}$ atau 0,013 mg/L dan konsentrasi terendah terdapat di titik 12 sampling 1 yaitu 0,95 $\mu\text{g/l}$ atau 0,00095 mg/L. Walaupun konsentrasi logam Cd pada sampling 1 dan 2 di Sungai Winongo masih tergolong aman karena berada di bawah baku mutu, namun keberadaannya harus tetap diawasi.



Gambar 4.34 Diagram Boxplot Logam Cd Sungai Winongo

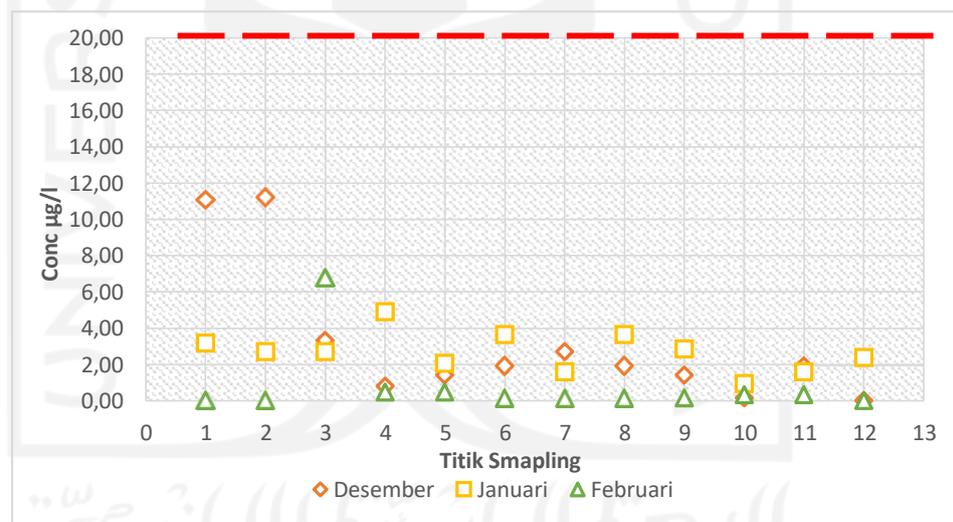
Berdasarkan hasil perhitungan dan dapat dilihat dari gambar diatas, data dari ketiga box tidak simetris dan terdapat nilai ekstrem pada bulan Desember yaitu 13,33 $\mu\text{g/l}$ dimana melebihi tangkupan data yaitu $> 6,78 \mu\text{g/l}$. Pada bulan Januari memiliki tingkat penyebaran dan keberagaman data. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel berada pada rentang 3,85 $\mu\text{g/l}$ hingga 10,36 $\mu\text{g/l}$ atau 0,004 mg/L hingga 0,01 mg/L dengan nilai rata-rata konsentrasi tiap waktunya yaitu bulan Desember 4,97 $\mu\text{g/l}$, Januari 9,99 $\mu\text{g/l}$, Februari 5,52 $\mu\text{g/l}$.

Banyaknya pabrik atau industri sekitar sungai sebagai pemicu utama tingginya konsentrasi logam Cd di sungai seperti industri pengukiran kayu dan industri patung yang dalam prosesnya melibatkan penggunaan cat. Menurut WHO (2011), konsentrasi logam Cd yang ada di dalam air sungai

secara alamiah terdapat di alam dan juga diduga berasal dari kegiatan manusia. Faktor yang berasal dari kegiatan manusia adalah sampah yang dibuang ke sungai dan sekitarnya yang mengandung logam Cd seperti baterai, kabel dan elektronik, ataupun limbah dari toko elektronik yang berada di sekitar sungai. Hampir sama dengan yang dikatakan oleh (Dewi *et al.*, 2018), unsur logam Cd sudah banyak dibutuhkan dalam dunia industri modern saat ini untuk bahan pembuatan pipa air, bahan membuat cat, campuran bahan bakar bensin, dan baterai. Kelarutan logam Cd dengan konsentrasi 1 ppm sudah dapat membunuh biota di perairan (Susanti *et al.*, 2014).

4.3.5 Tembaga (Cu)

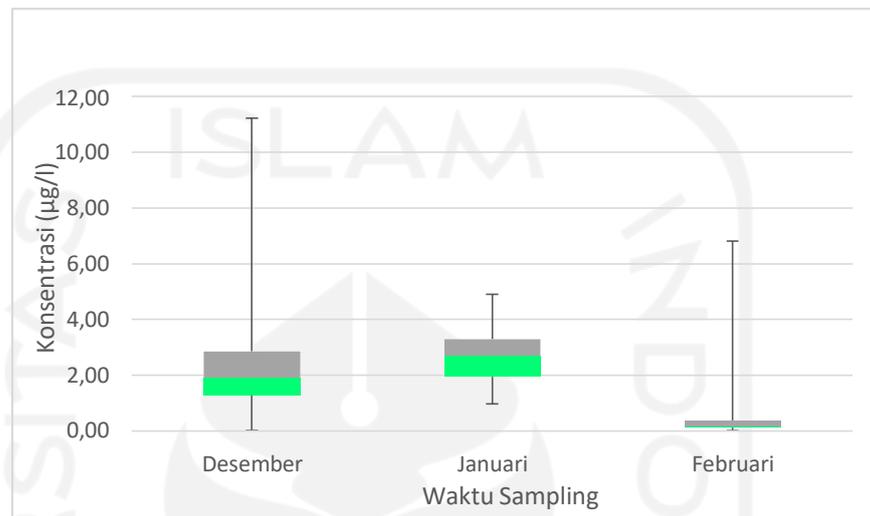
Dapat dilihat pada gambar 4.35 merupakan hasil konsentrasi logam tembaga (Cu) pada 12 titik di sepanjang Sungai Winongo.



Gambar 4.35 Hasil pengukuran logam Cu Sungai Winongo

Data yang didapatkan pada sampling 1 dan sampling 2 di 12 titik pengukuran terlihat bahwa data bersifat fluktuatif sedangkan pada sampling 3 data cenderung stabil mulai dari titik 5 hingga titik 12, hanya saja mengalami kenaikan cukup tinggi pada titik 3. Titik dengan konsentrasi tertinggi berada pada titik 2 sampling 1 yaitu 11,22 µg/l atau 0,011 mg/L sedangkan konsentrasi terendah di dominasi oleh sampling 3 dan terdapat satu titik dengan konsentrasi sangat kecil yaitu titik 1 berada

dibawah ambang batas deteksi AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer) sehingga nilai yang digunakan adalah nilai LoD yaitu 0,019. Namun demikian konsentrasi logam Cu pada Sungai Winongo tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan PP No 22 Tahun 2021 yaitu 0,02 mg/L.



Gambar 4.36 Diagram Boxplot Logam Cu Sungai Winongo

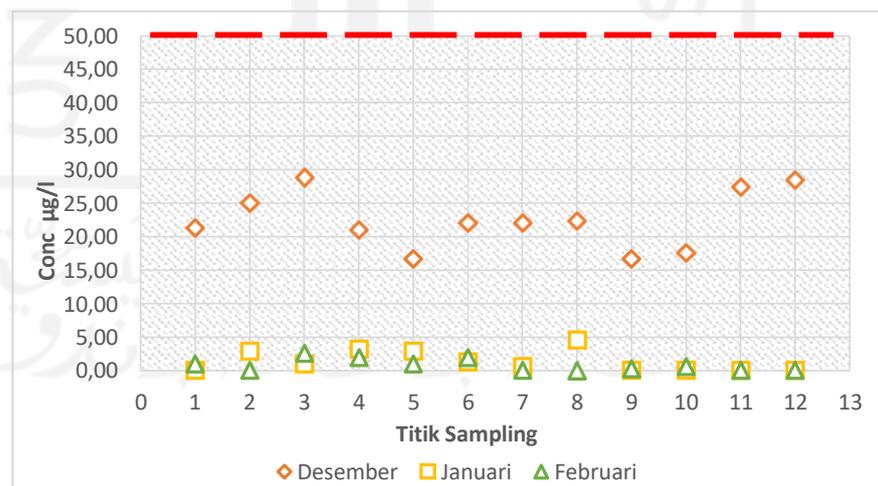
Gambar 4.36 diatas memperlihatkan bahwa data yang didapatkan pada tiga waktu berbeda memiliki data yang tidak simetris dan cenderung ke arah kanan serta memiliki nilai ekstrem pada bulan Desember dan Februari yaitu $> 5,22 \mu\text{g/l}$ dan Februari $> 0,73 \mu\text{g/l}$. Pada bulan Desember memiliki box yang lebih tinggi sehingga diasumsikan terdapat tingkat penyebaran dan keberagaman data. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan dua kali pengambilan sampel berada pada rentang $0,18 \mu\text{g/l}$ hingga $2,70 \mu\text{g/l}$ atau $0,00018 \text{ mg/L}$ hingga $0,003 \text{ mg/L}$.

Banyaknya industri sekitar Sungai Winongo, seperti industri bahan bangunan dan juga bengkel dimana menggunakan zat warna dan alat-alat listrik dalam prosesnya menjadi penyumbang utama masuknya limbah logam Cu di air sungai. Selain industri dan bengkel, penyumbang logam Cu lainnya dapat bersumber dari buangan persawahan dan limbah domestik rumah tangga dikarenakan aliran Sungai Winongo berada di tengah padatnya pemukiman penduduk dan juga terdapat banyak persawahan di sekitar aliran. Menurut Cahyani *et al.*, (2012), hadirnya

logam Cu pada perairan dapat bersumber dari lingkup industri yang terdapat di daerah sekitar sungai tersebut. Pada dasarnya logam Cu salah satu zat berwujud mikro yang diperlukan oleh organisme di darat ataupun di air tetapi dengan total lebih sedikit. Logam Cu akan diserap oleh flora dan fauna dalam air secara berkelanjutan jika keberadaannya di perairan selalu ada. Menurut Bhardwaj & Sharma (2019), logam Cu dapat ditemukan dalam kendaraan (rem, ban, bensin), industri pembuatan bahan bangunan (atap, pipa air minum, dll), infastruktur (saluran udara dan permukaan jalan), kegiatan penambangan dan peleburan tembaga, pelapukan kimia, proses fabrikasi baja, kegiatan pertanian dan saluran pembuangan lumpur menjadi penyebab utama sumber Cu. Menurut Lyusta (2015), insektisida yang berasal dari pertanian, perkebunan, persawahan, serta limbah domestik yang berasal dari pemukiman penduduk merupakan sumber utama dari logam berat Cu.

4.3.6 Nikel (Ni)

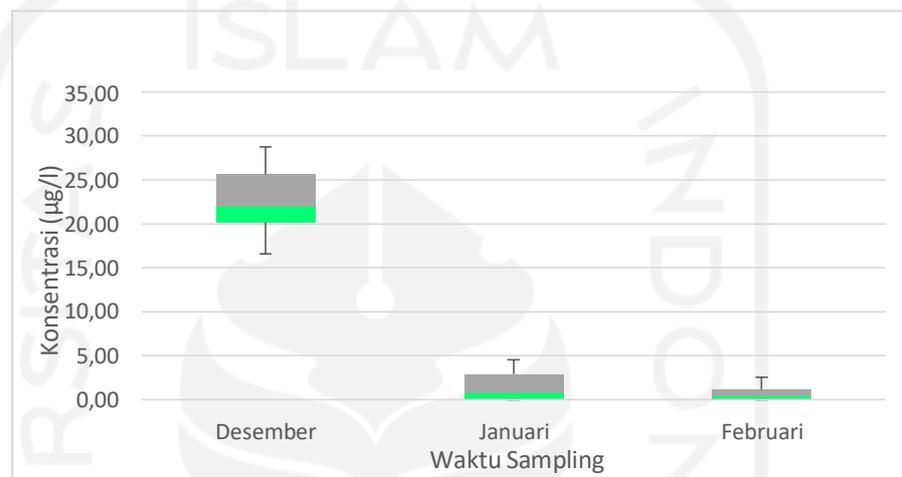
logam Nikel (Ni) yang dinilai kurang beracun, keberadaannya juga ditemukan pada 12 titik pengambilan sampel air Sungai Winongo yang dapat dilihat pada gambar 4.37 berikut.



Gambar 4.37 Hasil pengukuran logam Ni Sungai Winongo

Terlihat dari gambar 4.37 diatas konsentrasi pada sampling 1 lebih tinggi dibandingkan dengan sampling 2 dan 3 yang cenderung stabil. Konsentrasi tertinggi berada pada titik 3 sampling 1 yaitu 28,76 µg/l dan

konsentrasi terendah didominasi oleh sampling 2 dan 3 dikarenakan terdapat beberapa titik dengan konsentrasi sangat rendah berada dibawah ambang batas deteksi AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer) sehingga nilai yang digunakan adalah nilai LoD yaitu 0,0158. Namun demikian konsentrasi Ni yang didapatkan di sepanjang Sungai Winongo tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan PP No 22 Tahun 2021 sebesar 0,05 mg/l



Gambar 4.38 Diagram Boxplot Logam Ni Sungai Winongo

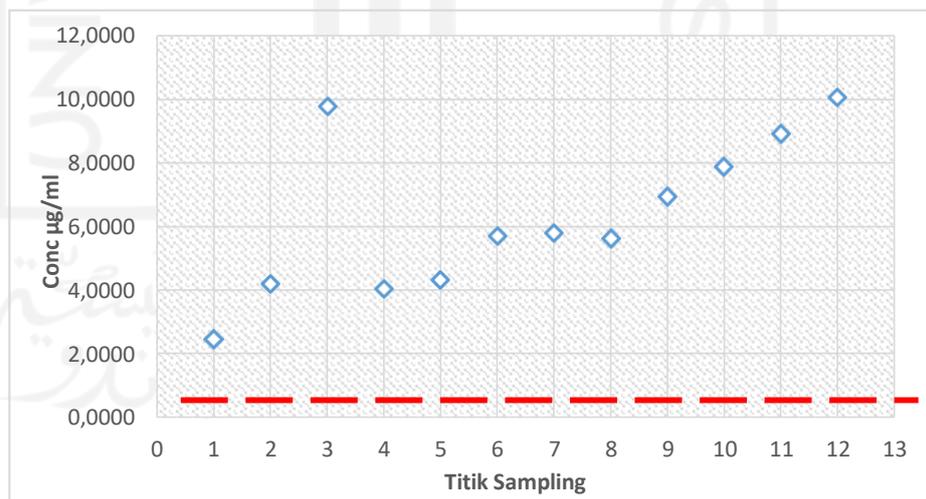
Berdasarkan hasil perhitungan dan dapat dilihat dari gambar 4.38 diatas, diketahui bahwa pada bulan Desember memiliki data yang simetris dengan garis median berada di tengah, kedua garis whisker sama panjang, dan tidak terdapat nilai outlier dan nilai ekstrem. Sedangkan pada bulan Januari dan Februari memiliki data yang tidak simetris tetapi juga tidak memiliki nilai outlier dan nilai ekstrem. Terlihat juga pada bulan Desember memiliki box lebih panjang sehingga diasumsikan memiliki tingkat penyebaran dan keberagaman data.

Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan dua kali pengambilan sampel berada pada rentang 0,44 µg/l – 21,99 µg/l atau 0,0004 mg/L hingga 0,022 mg/L. Dari gambar diatas sangat terlihat perbedaan yang cukup jauh dikarenakan pada bulan Januari – Februari 2021 merupakan puncak musim hujan sehingga logam berat yang terkandung dalam badan air telah terencerkan. Pengambilan sampling saat

musim hujan dapat menyebabkan kadar logam berat cenderung lebih kecil dikarenakan adanya pelarutan dimana logam telah terencerkan oleh air hujan (Prartono dan Nurjaya, 2016). Sedangkan pada sampling 1 memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dikarenakan konsentrasi input yang masuk ke sungai dalam jumlah banyak dari berbagai industri di sekitar seperti industri *electroplating*, industri kertas, dan industri baja. Adanya limbah dari berbagai industri tersebut mengandung senyawa nikel yang berbahaya seperti NiSO_4 dan NiCl_2 (Viobeth *et al.*, 2013). Pernyataan tersebut didukung oleh Wibowo *et al.*, (2020) yang mengatakan bahwa tingginya konsentrasi logam nikel di perairan juga dapat muncul dari kegiatan antropogenik misalnya peleburan, pemurnian logam, dan pertambangan. Selain itu menurut Bhardwaj & Sharma (2019), lalu lintas kendaraan di sekitar daerah sungai juga menjadi penyumbang hadirnya Ni.

4.3.7 Aluminium (Al)

Data hasil pengukuran konsentrasi logam Aluminium (Al) pada sampling ketiga setiap titik di sepanjang Sungai Winongo dapat dilihat pada gambar 4.39 berikut.



Gambar 4.39 Hasil pengukuran logam Al sepanjang Sungai Winongo

Berdasarkan hasil perhitungan dan dapat dilihat dari gambar diatas, konsentrasi Al yang didapatkan di sepanjang Sungai Winongo bersifat

fluktuatif pada bagian hulu dan tengah tetapi cenderung meningkat pada hilir sungai dan konsentrasi yang didapatkan pada setiap titik sampling telah melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh National Water Quality Standar for Malaysia yaitu kelas III 0,06 mg/l. Konsentrasi tertinggi yang didapatkan dari 12 (duabelas) titik pengambilan sampel pada sampling 3 sebesar 2,01 mg/l yang terdapat pada titik 12 tepatnya berada pada daerah Jembatan Winongo. Sedangkan konsentrasi dengan titik terendah berada pada titik 1 sebesar 0,49 mg/L yaitu berada pada daerah Jembatan Jambon. Menurut Ibrahim *et al.*, (2020), Konsentrasi Al di sebagian besar air permukaan sangat rendah karena sekitar 95% pH air alami berkisar dari 6 sampai 9. Sama halnya yang terjadi pada Sungai Winongo, pH yang dimiliki berkisar 6 – 8 sesuai dengan konsentrasi Al yang didapat rendah tidak melebihi baku mutu. Jika dilihat dari hasil yang didapatkan, titik 12 memiliki konsentrasi tertinggi karena terdapat banyak industri di sekitar lokasi antara lain terdapat industri aluminium dan juga terdapat toko bangunan dimana terdapat banyak aluminium. Air limbah dari industri tersebut dimana mengandung bahan kimia apabila dibuang langsung ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu menjadi sumber aluminium pada air sungai. Selain itu titik sampling berada di tengah padanya pemukiman dimana pemukiman merupakan salah satu sumber pencemaran aluminium dikarenakan pada perabotan dapur banyak mengandung aluminium seperti panci, sendok dll. Menurut Hegde (2019), hujan asam akibat kegiatan industri adalah alasan utama peningkatan kadar aluminium dalam air karena hujan asam mengurangi pH air sehingga menyebabkan pelarutan bentuk antropogenik dan alami. Selain industri, yang menjadi penyumbang aluminium pada Sungai Winongo yaitu terdapat persawahan yang berada tidak jauh dari aliran sungai, adanya aktivitas vulkanik dari Gunung Merapi, dan tambang pasir yang berada pada titik 12. Hal ini didukung dengan pernyataan (Hegde S, 2019) yang menyatakan bahwa terdapat dua faktor penyebab hadirnya aluminium yaitu berasal dari alam dan antropogenik. Aluminium yang berasal dari alam merupakan hasil dari pelapukan dan erosi dari bebatuan dan tanah serta adanya aktivitas

vulkanik. Sedangkan yang berasal dari antropogenik dapat ditemukan pada limbah industri, limbah hasil dari instalasi pengolahan air minum dan instalasi pengolahan air limbah, pertambangan, kegiatan manufaktur, pertanian, dan batu bara. Adanya aluminium pada lingkungan akuatik menjadi ancaman bagi hewan yang menggunakan insang untuk bernafas seperti ikan dan invertebrata yang hidup pada sungai tersebut karena dapat menyebabkan hilangnya fungsi osmoregulasi.

4.3.8 Kromium (Cr)

Data hasil pengukuran konsentrasi logam kromium (Cr) pada setiap titik di sepanjang Sungai Winongo yang didapatkan tidak melebihi ambang batas yang telah ditentukan oleh PP No 22 Tahun 2021 yaitu untuk kelas I adalah 0,05 mg/L. Konsentrasi kromium pada tiga kali sampling mempunyai kadar yang sangat rendah berada di bawah tingkat batas deteksi AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer), sehingga nilai yang digunakan adalah nilai LoD dimana merupakan batas terkecil yang menyatakan konsentrasi analit terendah yang bisa dideteksi oleh jenis sampel, metode, dan instrument tertentu (Barwick *et al.*, 2014). Nilai LoD untuk logam kromium yaitu $\leq 0,016$ ($\mu\text{g/l}$). Hal ini dikarenakan logam Cr mempunyai sifat yang gampang untuk memautkan bahan organik serta lebih mengendap dan terakumulasi ke bawah air sehingga akan ditemukan lebih banyak pada sedimen daripada air, serta diasumsikan pembuangan limbah Cr ke badan sungai relatif lebih sedikit. Konsentrasi logam kromium yang terdeteksi dalam air sungai diduga berasal dari industri pengukiran kayu dan patung yang terdapat di titik 6 dan titik 9 serta limbah persawahan yang menggunakan pupuk dan pestisida. Menurut Døelsch *et al.*, (2006), logam Cr merupakan logam yang berasal dari alam seperti aktivitas vulkanik dan aktivitas antropogenik seperti pertanian yang menggunakan pupuk dan pestisida. Parameter kualitas air kimia seperti pH juga memiliki hubungan terhadap hadirnya logam Cr di air dimana konsentrasi pH yang didapat pada setiap sampling selalu tinggi. Dengan demikian menurut (Nuraini *et al.*, 2017), nilai pH yang meningkat dapat terbentuknya senyawa kompleks yaitu transformasi wujud karbonat

menjadi hidroksida yang sukar larut pada air sehingga akan saling bergabung dengan unsur air lalu akan mengendap di dasar perairan. Terdapat faktor lain yang kemungkinan menjadi penyumbang keberadaan logam Cr yaitu difusi Cr dari tanah yang terkontaminasi lindi dari industri dapat menjadi salah satu faktor yang bertanggung jawab atas keberadaannya di air sungai (Bhardwaj & Sharma, 2019).

4.4 Analisis *Heavy Metal Pollution Index*

Heavy Metal Pollution Index (HMPI) adalah teknik penilaian yang memberikan pengaruh komposit logam berat individu terhadap kualitas air secara keseluruhan. Peringkat tersebut adalah nilai antara nol dan satu, yang mencerminkan kepentingan relatif dari pertimbangan kualitas individu dan berbanding terbalik dengan standar yang direkomendasikan (Si) untuk setiap parameter. Kualitas air dan kesesuaiannya untuk tujuan air minum dapat diperiksa dengan menentukan indeks mutunya (Majhi & Biswal, 2016).

Konsentrasi logam berat yang dipantau dalam tiga kali pengambilan sampling dilaporkan dalam tabel 4.1, tabel 4.2, dan tabel 4.3. Jika dilakukan perbandingan dengan baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, hanya logam berat timbal (Pb) yang memiliki rata-rata konsentrasi lebih tinggi dari baku mutu yang sudah ditentukan. Namun, jika dilihat konsentrasi tiap logam pada setiap titik memiliki nilai yang bervariasi sehingga data yang didapat pun bersifat fluktuatif. Hal tersebut menunjukkan input musiman yang bervariasi masuk ke sungai dikarenakan rezim hidrologi dan kegiatan antropogenik musiman (Majhi & Biswal, 2016).

Tabel 4.1 Konsentrasi Total Logam (ppb) Di Sungai Winongo Sampling 1

KADAR LOGAM SAMPLING 1 (µg/l)							
Titik Sampling	Fe	Mn	Ni	Cd	Cu	Pb	Cr
1	62,88	51,90	21,32	13,33	11,06	41,509	0,016
2	220,99	280,47	25,04	11,88	11,22	38,429	0,016
3	45,43	46,88	28,76	3,85	3,33	27,137	0,016
4	98,24	68,49	20,98	4,17	0,81	19,438	0,016
5	58,48	54,47	16,58	3,85	1,44	25,597	0,016
6	100,60	69,91	21,99	3,20	1,91	15,331	0,016
7	99,82	75,69	21,99	4,97	2,70	15,845	0,016
8	79,94	71,06	22,33	4,17	1,91	15,845	0,016
9	67,14	61,55	16,58	3,69	1,44	15,845	0,016
10	55,14	76,47	17,60	1,92	0,18	3,526	0,016
11	122,45	130,62	27,41	3,69	1,91	5,579	0,016
12	59,99	93,57	28,42	0,95	0,02	41,509	0,016

Tabel 4.2 Konsentrasi Total Logam (ppb) Di Sungai Winongo Sampling 2

KADAR LOGAM SAMPLING 2 (µg/l)							
Titik Sampling	Fe	Mn	Ni	Cd	Cu	Pb	Cr
1	118,52	61,80	0,02	9,31	3,17	48,181	0,016
2	111,82	38,91	2,88	10,28	2,70	46,641	0,016
3	94,63	55,76	0,93	10,76	2,70	47,668	0,016
4	53,37	36,59	0,02	10,28	4,91	47,668	0,016
5	42,48	31,19	2,88	10,44	2,07	69,226	0,016
6	89,45	55,24	1,25	7,06	3,65	54,341	0,016
7	45,49	37,36	0,60	10,76	1,60	57,933	0,016
8	51,40	44,95	4,52	10,44	3,65	93,863	0,016
9	112,48	90,87	0,02	11,40	2,86	60,500	0,016
10	43,20	52,16	0,02	12,69	0,96	63,066	0,016
11	41,75	55,76	0,02	8,19	1,60	48,694	0,016
12	41,49	61,29	0,02	8,35	2,38	79,491	0,016

Tabel 4.3 Konsentrasi Total Logam (ppb) Di Sungai Winongo Sampling 3

KADAR LOGAM SAMPLING 3 (µg/l)								
Titik Sampling	Fe	Mn	Ni	Cd	Cu	Pb	Cr	Al
1	118,06	63,35	0,93	5,45	0,02	8,659	0,016	489,86
2	106,31	78,52	0,02	4,01	0,02	9,685	0,016	837,12
3	176,64	128,95	2,56	5,13	6,80	13,792	0,016	1957,30
4	52,32	23,98	1,91	5,29	0,49	5,579	0,016	803,50
5	45,95	22,31	0,93	4,65	0,49	3,526	0,016	865,12
6	80,99	34,92	1,91	6,10	0,18	3,013	0,016	1139,56
7	54,15	25,66	0,02	6,10	0,18	1,473	0,016	1156,36
8	47,72	22,83	0,02	4,17	0,18	8,146	0,016	1122,76
9	52,12	24,37	0,27	7,22	0,18	8,146	0,016	1386,00
10	64,78	65,15	0,60	5,29	0,33	3,526	0,016	1576,44
11	64,59	57,43	0,02	4,97	0,33	2,499	0,016	1783,66
12	77,77	40,19	0,02	7,86	0,02	4,553	0,016	2013,30

Untuk mengetahui nilai HMPI pada wilayah penelitian, ditentukan dengan memasukkan nilai konsentrasi rata-rata logam berat yang tercatat di setiap sampling. Rincian perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5, dan 4.6 dimana ditampilkan nilai HMPI, W_i dan Q_i dari ketiga sampling tersebut.

Analisis HMPI dilakukan untuk tiap sampling dan tiap titiknya. Hasil yang didapatkan dari perhitungan tersebut menunjukkan bahwa sampling 3 yaitu bulan Februari memiliki polusi logam berat tertinggi, sedangkan jika dilihat dari tiap titiknya polusi logam berat tertinggi berada di titik 12 sampling 3, sedangkan HMPI dengan titik terendah berada pada titik 10 sampling 1. Terjadi peningkatan pada sampling 3 memperlihatkan bahwa beban polusi yang masuk ke badan sungai lebih banyak (naik secara signifikan) dan telah melewati nilai kritis batas indeks yaitu >100 dimana nilai kritisnya yaitu 100 yang artinya sungai telah tercemar logam berat dengan polusi tinggi dan didominasi oleh logam berat Al. Sedangkan pada bulan Desember dan Januari memiliki nilai HMPI yang berada <100 dan termasuk ke dalam kategori tercemar rendah. Nilai indeks pencemaran kritis untuk air minum harus kurang dari 100. Jika sampel memiliki nilai indeks pencemaran logam berat lebih dari 100, maka air tidak dapat diminum (Chiamsathit *et al*, 2020).

Hasil hitungan HMPI tersebut juga dapat menyimpulkan urutan logam yang berada di dalam air Sungai Winongo dari konsentrasi tertinggi hingga terendah yaitu pada sampling 1 $Mn > Fe > Pb > Ni > Cd > Cu > Cr$, sampling 2 urutannya yaitu $Fe > Pb > Mn > Cd > Cu > Ni > Cr$, dan sampling 3 dimulai dari $Al > Fe > Mn > Pb > Cd > Cu > Ni > Cr$. Jika dilihat dari ketiga urutan tersebut, logam Cr selalu berada di urutan terakhir karena konsentrasinya yang paling rendah tiap sampling (konstan).

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan HMPI Sampling 1

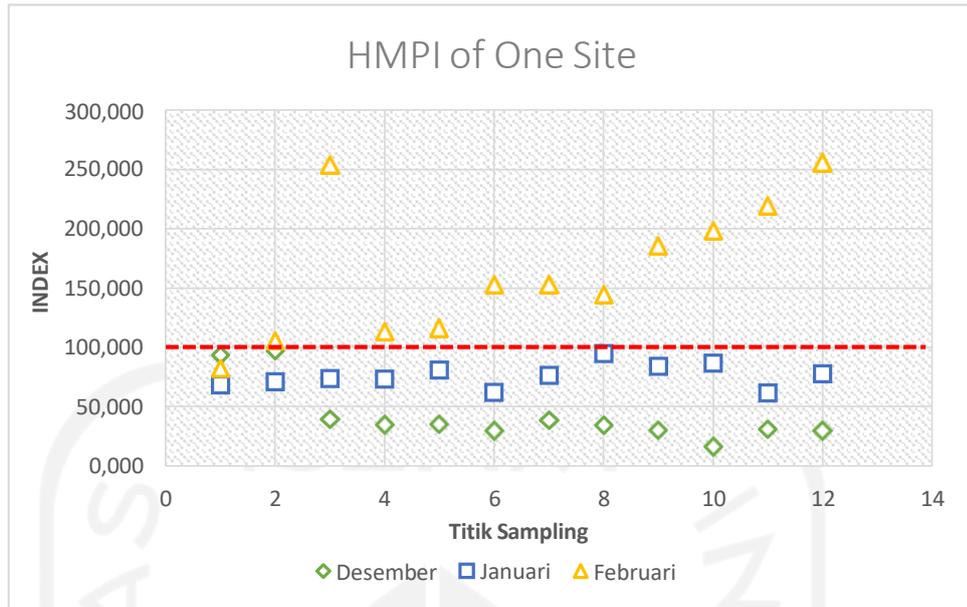
HITUNGAN HMPI					
Logam	Mi (µg/l)	Si (µg/l)	Wi (1/Si)	Qi	Wi*Qi
Fe	89,260	300	0,003	29,75	0,0992
Mn	90,09	100	0,010	90,09	0,9009
Ni	22,42	50	0,020	44,83	0,8967
Cd	4,972	10	0,100	49,72	4,9720
Cu	3,160	20	0,050	15,80	0,7900
Pb	22,132	30	0,033	73,77	2,4591
Cr	0,016	50	0,020	0,03	0,0006
Jumlah			0,237		10,1186
HMPI			42,754		

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan HMPI Sampling 2

HITUNGAN HMPI					
Logam	Mi (µg/l)	Si (µg/l)	Wi (1/Si)	Qi	Wi*Qi
Fe	70,507	300	0,003	23,50	0,0783
Mn	51,82	100	0,010	51,82	0,5182
Ni	1,36	50	0,020	2,73	0,0545
Cd	9,994	10	0,100	99,94	9,9943
Cu	2,687	20	0,050	13,43	0,6717
Pb	59,773	30	0,033	199,24	6,6414
Cr	0,016	50	0,020	0,03	0,0006
Jumlah			0,237		17,9592
HMPI			75,884		

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan HMPI Sampling 3

HITUNGAN HMPI					
Logam	Mi (µg/l)	Si (µg/l)	Wi (1/Si)	Qi	Wi*Qi
Fe	78,451	300	0,003	26,15	0,0872
Mn	48,97	100	0,010	48,97	0,4897
Ni	0,76	50	0,020	1,53	0,0306
Cd	5,521	10	0,100	55,21	5,5211
Cu	0,767	20	0,050	3,84	0,1919
Pb	6,050	30	0,033	20,17	0,6722
Cr	0,016	50	0,020	0,03	0,0006
Al	1260,915	60	0,017	2101,53	35,0254
Jumlah			0,253		42,0186
HMPI			165,863		
$\frac{\sum_{i=1}^n WiQi}{\sum_{i=1}^n Wi}$					



Gambar 4.40 Grafik *Heavy Metal Pollution Index* Tiap Titik

Apabila nilai HMPI Sungai Winongo dibandingkan dengan salah satu sungai besar yang melintasi Kota Yogyakarta yaitu Sungai Code, terlihat jelas perbedaannya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Abdi (2020), konsentrasi logam berat Fe, Mn, Cr, Cd, Cu, dan Pb memiliki nilai lebih tinggi daripada konsentrasi logam berat pada Sungai Winongo. Nilai HMPI yang di dapatkan untuk Sungai Code sangat tinggi melebihi nilai kritis, sehingga Sungai Code dinyatakan telah tercemar oleh logam berat dengan jenis *high heavy metal pollution*. Peneliti juga menjelaskan bahwa penyumbang terbesar logam berat ke badan Sungai Code di dominasi oleh industri, antara lain industri batik dan industri penyamakan kulit. Hasil HMPI pada Sungai Code dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Hasil HMPI Sungai Code

HITUNGAN HMPI					
Logam	Mi (µg/l)	Si (µg/l)	Wi (1/Si)	Qi	Wi*Qi
Fe	15662	300	0,003	5220,67	17,40
Mn	5509	100	0,010	5509,00	55,09
Cr	156	50	0,020	312,00	6,24
Cd	3,7	10	0,100	37,00	3,70
Cu	0,1	20	0,050	0,50	0,03
Pb	7047	30	0,033	23490,00	783,00
Jumlah			0,217		865,46
HMPI $\frac{\sum_{i=1}^n WiQi}{\sum_{i=1}^n Wi}$		3994,418			

Berdasarkan hasil analisis logam berat dan HMPI, terlihat bahwa faktor utama penyumbang logam berat di badan air Sungai Winongo di dominasi oleh limbah dimana merupakan hasil dari proses industri dan domestik (rumah tangga). Pernyataan ini mendukung adanya data yang didapatkan dari citra satelit Landsat 8 untuk tahun 2013 hingga 2020 yang diperoleh dari web USGS yaitu presentasi tutupan lahan DAS Winongo di dominasi oleh lahan bangunan yang kian meningkat setiap tahunnya sedangkan lahan vegetasi cenderung menurun. Menurut Wardhana *et al.*, (2018), hasil identifikasi pada tutupan lahan membuktikan bahwa secara spasial yang paling dominan menjadi tutupan lahan di Kota Yogyakarta adalah kawasan tinggal, sedangkan tutupan lahan sawah mendominasi wilayah Kabupaten Bantul dan Sleman. Selain itu pada laporan konservasi Sungai Winongo DLH Kabupaten Bantul 2020, dikatakan bahwa terdapat 97% pemukiman yang ada pada DAS Winongo.

Tabel 4.8 Persentase Tutupan Lahan *Building*

Tahun	Hulu (%)	Tengah (%)	Hilir (%)	Total (%)
2013	35,9	82,5	49,6	48,43
2014	34,6	86,5	57,6	51,71
2015	43,8	88,5	58,7	56,51
2016	46,7	85,9	58,5	57,3
2017	39,5	87,1	59,9	54,89
2018	41,3	91,8	60,5	56,6
2019	38,5	87,1	62,6	55,58
2020	39,2	90,5	61,5	55,88

Sumber: data Arcgis & web USGS

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kadar konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Al yang ada pada Sungai Winongo, Yogyakarta yaitu untuk logam Pb berada pada rentang 0,00147 mg/L hingga 0,05 mg/L, Logam Cd 0,004 mg/L hingga 0,01 mg/L, Logam Cr \leq 0,016 μ g/l, Logam Cu 0,00018 mg/L hingga 0,003 mg/L, logam Mn 0,05 mg/L hingga 0,07 mg/L, Logam Fe 0,05 mg/L hingga 0,07 mg/L, logam Ni 0,0004 mg/L hingga 0,022 mg/L, dan logam Al 0,49 mg/L hingga 2,01 mg/L. Apabila dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021, kadar logam berat yang telah melewati ambang mutu yaitu logam Pb dan logam Al karena melebihi batas mutu yang telah ditetapkan yaitu 0,03 mg/L dan 0,06 mg/L.
2. Berdasarkan hasil analisis HMPI dari setiap sampling dan juga di setiap titik menunjukkan bahwa status pencemaran pada Sungai Winongo yang kian meningkat mulai dari Desember sebesar 42,475 dimana masih tergolong tercemar rendah, Januari 75,884 juga masih tergolong tercemar rendah karena <100 , sedangkan Februari sebesar 165,863 dimana sudah melewati ambang nilai kritis karena >100 yang artinya sungai tersebut tergolong tercemar tinggi (*high heavy metal pollution*) dengan HMPI tertinggi berada pada titik 12 yaitu 255,749 yang artinya wilayah tersebut merupakan titik dengan akumulasi logam berat tertinggi.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait faktor pendukung lainnya seperti debit, kecepatan arus dan kedalaman terhadap logam berat di perairan untuk mendukung data penelitian sebelumnya.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan pengambilan sampel pada dua musim yaitu kemarau dan hujan, agar dilakukan perbandingan lebih besar terkait logam berat yang terdapat di Sungai Winongo.

3. Adanya pemantauan terhadap industri sekitar Sungai Winongo terkait *effluent* yang dikeluarkan agar tidak melebihi baku mutu dan mencemari kualitas air sungai.



DAFTAR PUSTAKA

- Adack, J. (2013). Dampak Pencemaran Limbah Pabrik Tahu Terhadap Lingkungan Hidup. *Lex Administratum*, 1(3).
- Al-atbee, R. S., & Al-hejuje, M. M. (2020). *Applied heavy elements pollution index (HPI) as a water pollution indicator at Al- Chibayish marsh in Thi-Qar province , southern Iraq*. 5(4).
- Al-Samawi, A. A., & Al-Hussaini, S. N. (2016). The oxidation reduction potential distribution along Diyala river within Baghdad city. *Mesop Environ J*, 2(4), 54–66.
- Aritonang, A. P., Syech, R., Tambunan, W., Program, M., Fisika, S., Matematika, F., Alam, P., Bina, K., & Pekanbaru, W. (2014). Penentuan Konduktivitas Listrik Dan Kajian Kualitas Air Sungai Siak Menggunakan Metode Jembatan Wheatstone. *Jom Fmipa*, 1(2), 1–9.
- Asmorowati, D. S., Sumarti, S. S., & Kristanti, I. (2020). Indonesian Journal of Chemical Science Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Destruksi Kering untuk Analisis Timbal dalam Tanah di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 170–173.
- Astuti, A. D. (2014). Jurnal Litbang Vol. X, No. 1 Juni 2014: 35-42. *Litbang*, X(1), 35–42.
- Atima, W. (2015). BOD DAN COD SEBAGAI PARAMETER PENCEMARAN AIR DAN BAKU MUTU AIR LIMBAH. *Biology Science & Education*, 4(1), 83–93.
- Aziz, A. A., Kiryanto, & Santosa, A. W. B. (2017). Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium Flat Bar dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal. *Teknik Perkapalan*, 5(2), 421–430.
- Bhardwaj, S. K., & Sharma, R. (2019). Impact assessment of industrialization on the water quality status of river Sirsa situated in the Shiwalik foothills of North Western Himalayas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 18(3), 275. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2019.00039.0>

- Boateng, T. K., Opoku, F., Acquah, S. O., & Akoto, O. (2015). Pollution evaluation, sources and risk assessment of heavy metals in hand-dug wells from Ejisu-Juaben Municipality, Ghana. *Environmental Systems Research*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0045-y>
- Daroini, T. A., & Arisandi, A. (2020). ANALISIS BOD (BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND) DI PERAIRAN DESA PRANCAK KECAMATAN SEPULU , BANGKALAN. *Juvenil*, 1(4), 558–566. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i4.9037>
- Doelsch, E., Van de Kerchove, V., & Saint Macary, H. (2006). Heavy metal content in soils of Réunion (Indian Ocean). *Geoderma*, 134(1–2), 119–134. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.09.003>
- Firianti, W. R. (2019). Penataan Kawasan Sungai Winongo Berbasis Partisipasi Masyarakat di Pakuncen Yogyakarta. *Pemberdayaan Masyarakat*, 3(1), 215–240. <https://doi.org/10.14421/jpm.2019.031-10>
- Hamakonda, U. A., Suharto, B., & Susanawati, L. D. (2019). Analisis Kualitas Air Dan Beban Pencemaran Air Pada Sub Das Boentuka Kabupaten Timor Tengah Selatan. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 23(1), 56. <https://doi.org/10.25077/jtpa.23.1.56-67.2019>
- Handayani, I., Dewi, N., & Priyono, B. (2014). AKUMULASI KROMIUM (Cr) PADA DAGING IKAN NILA MERAH (*Oreochromis ssp.*) DALAM KARAMBA JARING APUNG DI SUNGAI WINONGO YOGYAKARTA. *MIPA*, 37(2), 123–129.
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., & Sugesty, S. (2016). BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL (Pb) DALAM TANAH TERKONTAMINASI LIMBAH SLUDGE INDUSTRI KERTAS PROSES DEINKING. *Jurnal Selulosa*, 1(01), 31–41. <https://doi.org/10.25269/jsel.v1i01.18>
- Huri, E., & Syafriadiman. (2013). PENGARUH KONSENTRASI ALK(SO₄)₂ 12H₂O (ALUMINIUM POTASSIUM SULFAT) TERHADAP PERUBAHAN BUKAAN OPERKULUM DAN SEL JARINGAN INSANG IKAN NILA MERAH (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Ibrahim, T. N. B. T., Othman, F., & Mahmood, N. Z. (2020). Baseline Study of

- Heavy Metal Pollution in a Tropical River in a Developing Country. *Sains Malaysiana*, 49(4), 729–742. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4904-02>
- Kamarati, K. F. A., Marlon, I. A., & M, S. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) pada Air Sungai Santan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 4(1), 50–56.
- Koniyo, Y., & Kasim, F. (2015). *Parameter Fisik-kimia Perairan Danau Limboto sebagai Dasar Pengembangan Perikanan Budidaya Air Tawar*. 3, 130–136.
- Kristianingrum, S. (2012). *KAJIAN BERBAGAI PROSES DESTRUKSI SAMPEL DAN EFEKNYA*. 195–202.
- Lumaela, A. K., Otok, B. W., & Sutikno, S. (2013). Pemodelan Chemical Oxygen Demand (Cod) Sungai di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 2(1), D100–D105. http://ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/3204%0Ahttps://ejurnal.its.ac.id
- Majhi, A., & Biswal, S. K. (2016). Application of HPI (Heavy Metal Pollution Index) and Correlation Coefficient For The Assessment Of Ground Water Quality Near Ash Ponds Of Thermal Power Plants. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*, 4(8), 395–405.
- Marlina, N., & Juliani, A. (2015). *EVALUASI DAYA TAMPUNG TERHADAP BEBAN PENCEMAR MENGGUNAKAN MODEL KUALITAS AIR (STUDI KASUS : SUNGAI WINONGO)*. 4(2), 78–86.
- McCleskey, R. B., Nordstrom, D. K., & Ryan, J. N. (2011). Electrical conductivity method for natural waters. *Applied Geochemistry*, 26(0883–2927), 227–229. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.110>
- Nuraini, R. A. T., Endrawati, H., & Maulana, I. R. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Air, Sedimen Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Trimulyo Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 48. <https://doi.org/10.14710/jkt.v20i1.1104>
- Nurhaini, R., & Affandi, A. (2017). ANALISA LOGAM BESI (Fe) DI SUNGAI PASAR DAERAH BELANGWETAN KLATEN DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.51352/jim.v2i1.44>

- Ojekunle, O. Z., Ojekunle, O. V., Adeyemi, A. A., Taiwo, A. G., Sangowusi, O. R., Taiwo, A. M., & Adekitan, A. A. (2016). Evaluation of surface water quality indices and ecological risk assessment for heavy metals in scrap yard neighbourhood. *SpringerPlus*. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2158-9>
- Pal, R., Dubey, R. K., Dubey, S. K., & Singh, A. K. (2017). *Assessment of Heavy Metal Pollution through Index Analysis for Yamuna Water in Agra Region , India*. 6(12), 1491–1498.
- Patty, S. I. (2013). Jurnal Ilmiah Platax DISTRIBUSI SUHU , SALINITAS DAN OKSIGEN TERLARUT DI PERAIRAN KEMA , SULAWESI UTARA 1 Distribution Temperature , Salinity And Dissolved Oxygen In Waters Kema , North Sulawesi Jurnal Ilmiah Platax. *Ilmiah Platax*, 1(3), 148–157.
- Piranti, A., Waluyo, G., & Rahayu, D. R. U. S. (2019). The possibility of using Lake Rawa Pening as a source of drinking water. *Journal of Water and Land Development*, 41(1), 111–119. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0034>
- Pohan, D. A. S., Budiyono, B., & Syafrudin, S. (2017). Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau Dari Aspek Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 63. <https://doi.org/10.14710/jil.14.2.63-71>
- Prasanna, M. V, Praveena, S. M., Sabarathinam, C., & Nagarajan, R. (2021). *Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. December 2012*. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1639-6>
- Pratama, A. G., Pribadi, R., & Maslukah, L. (2012). Kandungan Logam Berat Pb dan Fe pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Sungai Tapak kelurahan Tugurejo Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Journal Of Marine Research*, 1(1), 32. <https://doi.org/10.14710>
- Purbalisa, W., & Mulyadi. (2013). Pb DAN Cu PADA BADAN AIR DAN TANAH SAWAH SUB-DAS SOLO HILIR KABUPATEN LAMONGAN. *Agrologia*, 2(2), 116–123. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30598/a.v2i2.266>
- Raharjo, P., Raharjo, M., & Setiani, O. (2018). Analisis Risiko Kesehatan dan Kadar Timbal Dalam Darah: (Studi Pada Masyarakat yang Mengonsumsi Tiram Bakau (*Crassostrea gigas*) di Sungai Tapak Kecamatan Tugu Kota

- Semarang). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(1), 9.
<https://doi.org/10.14710/jkli.17.1.9-15>
- Reza, R., & Singh, G. (2010). Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(4), 785–792. <https://doi.org/10.1007/BF03326187>
- Ricki M, M. (2020). *KESEHATAN LINGKUNGAN. 1*, 7–8.
- Sarjanti, E., Spasial, K. K. A., & Cd, L. B. (2014). *PADA SEDIMEN DAN BIOTA AIR DI MUARA. III*, 30–37.
- Sembel, L. (2010). *ANALISIS LOGAM BERAT Pb, Cd DAN Cr BERDASARKAN TINGKAT SALINITAS DI ESTURAI SUNGAI BELAU TELUK LAMPUNG*. 85–92.
- Shankar, B. S. (2019). *A critical assay of heavy metal pollution index for the groundwaters of Peenya Industrial Area , Bangalore , India Bureau of Indian Standards*.
- Shoolikhah, I., Purnama, S., & Suprayogi, S. (2014). *No Title:KAJIAN KUALITAS AIR SUNGAI CODE PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA*. 28(1), 23–32.
- Sidabutar, E. A. (2019). Distribusi Suhu, Salinitas dan Oksigen Terlarut Terhadap Kedalaman Di Perairan Teluk Prigi Kabupaten Trenggalek. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(1), 46–52.
<https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.01.6>
- Situmorang, M. (2012). *Kimia Lingkungan (III)*. FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS NEGERI MEDAN.
- Sobhanardakani, S., Yari, A. R., Taghavi, L., & Tayebi, L. (2016). Water quality pollution indices to assess the heavy metal contamination, case study: groundwater resources of asadabad plain in 2012. *Hygiene Sciences*, 5(4), 221–228.
- Sugihartono, S. (2016). Pemisahan krom pada limbah cair industri penyamakan kulit menggunakan gelatin dan flokulan anorganik. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 32(1), 21. <https://doi.org/10.20543/mkcp.v32i1.900>
- Sukoasih, A., & Widiyanto, T. (2017). HUBUNGAN ANTARA SUHU, pH DAN BERBAGAI VARIASI JARAK DENGAN KADAR TIMBAL (Pb) PADA

BADAN AIR SUNGAI ROMPANG DAN AIR SUMUR GALI INDUSTRI BATIK SOKARAJA TENGAH TAHUN 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4), 360–368. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v36i4.3115>

- Sumantri, A., & Rahmani, R. Z. (2020). Analisis Pencemaran Kromium (VI) berdasarkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Hulu Sungai Citarum di Kecamatan Majalaya Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat 2018. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 144–151. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.144-151>
- Susanti, R., Dewi, M., & Sasi, F. A. (2014). Analisis Kadar Logam Berat Pada Sungai Di Jawa Tengah. *Saintekno*, 12(1), 35–40. <https://doi.org/10.15294/saintekno.v12i1.5424>
- Urbasa, P. A., Undap, S. L., & Rompas, R. J. (2019). Dampak Kualitas Air Pada Budi Daya Ikan Dengan Jaring Tancap Di Desa Toulimembet Danau Tondano. *E-Journal BUDIDAYA PERAIRAN*, 3(1), 59–67. <https://doi.org/10.35800/bdp.3.1.2015.6932>
- Vaskova, H., Kolomaznik, K., & Vasek, V. (2013). Hydrolysis process of collagen protein from tannery waste materials for production of biostimulator and its mathematical model. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 7(5), 568–575.
- Viobeth, B. R., Sumiyati, S., & Sutrisno, E. (n.d.). *FITOREMEDIASI LIMBAH MENGANDUNG TIMBAL (Pb) DAN NIKEL (Ni) MENGGUNAKAN TANAMAN KIAMBANG (Salvinia molesta)*. 2011.
- Wardhana, P. N., Astuti, S. A. Y., & Kurnia, D. (2018). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Banjir Di Das Winongo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 22(2), 157–164. <https://doi.org/10.24843/JITS.2018.v22.i02.p10>
- Wibowo, D., Basri, B., Adami, A., Sumarlin, S., Rosdiana, R., Ndibale, W., & Ilham, I. (2020). Analisis Logam Nikel (Ni) dalam Air Laut dan Persebarannya di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara. *Indo. J. Chem. Res.*, 8(2), 144–150. <https://doi.org/10.30598//ijcr.2020.8-dwi>
- Widowati, W., Sastiono, A., & Jusuf, R. (2008). *Efek toksik logam : pencegahan dan penanggulangan pencemaran*. Renati Winong Rosari.

<http://inlislite.perpusbungkarno.perpusnas.go.id:12345/inlislite3/opac/detail-opac?id=12754>

- Wulandari, E. A., & Sukesi. (2013). Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb , Cd dan Cu dalam Nugget Ayam Rumput Laut Merah (*Eucheuma Cottonii*). *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(2), 15–17.
- Yogafanny, E. (2015). Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 7(1), 29–40. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol7.iss1.art3>
- Yudo, S. (2018). Kondisi Pencemaran Logam Berat Di Perairan Sungai Dki Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 1–15. <https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2275>
- Zakhem, B. A., & Hafez, R. (2018). Heavy metal pollution index for groundwater quality assessment in Damascus Oasis, Syria. *Environmental Earth Sciences*, May. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3882-5>





LAMPIRAN

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

LAMPIRAN A
(Standar Acuan)

A1. Baku Mutu Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
6.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl^-)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Fluorida (F^-)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H_2S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN^-)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	

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

A2. Penentuan Kelas Air Sungai Winongo (Peraturan Gubernur DIY No 22 Tahun 2007)

Bagian Kesembilan
Sungai Winongo

Pasal 12

- (1) Sungai Winongo mulai dari bagian hulu kearah hilir sampai Dusun Mraen, Sendangadi, Mlati, Sleman menurut peruntutkannya sebagai sungai kelas satu.
- (2) Sungai Winongo mulai Dusun Mraen, Sendangadi, Mlati, Sleman kearah hilir sampai pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Gadingdaton, Donotirto, Kretek, Bantul menurut peruntutkannya sebagai sungai kelas satu.

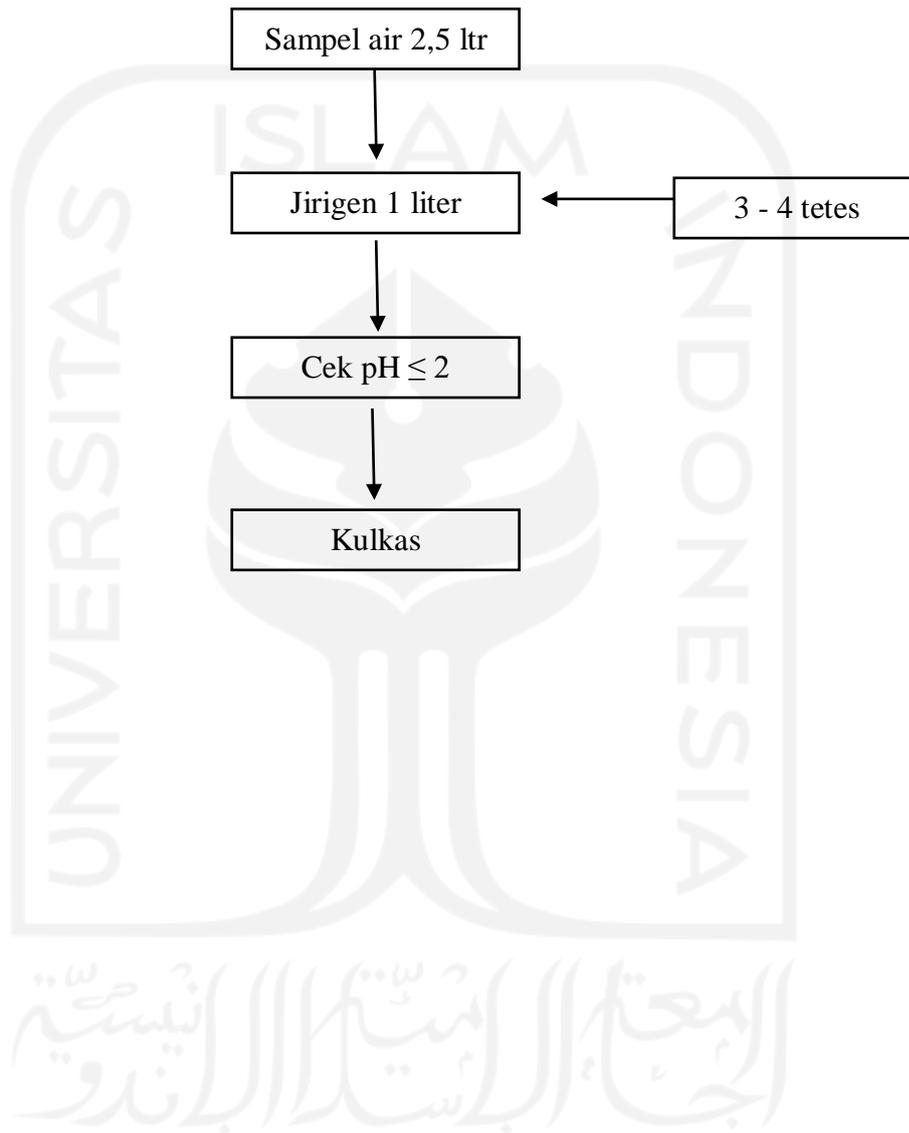
A3. National Water Quality Standards for Malaysia (Untuk Aluminium (Al))

NATIONAL WATER QUALITY STANDARDS FOR MALAYSIA

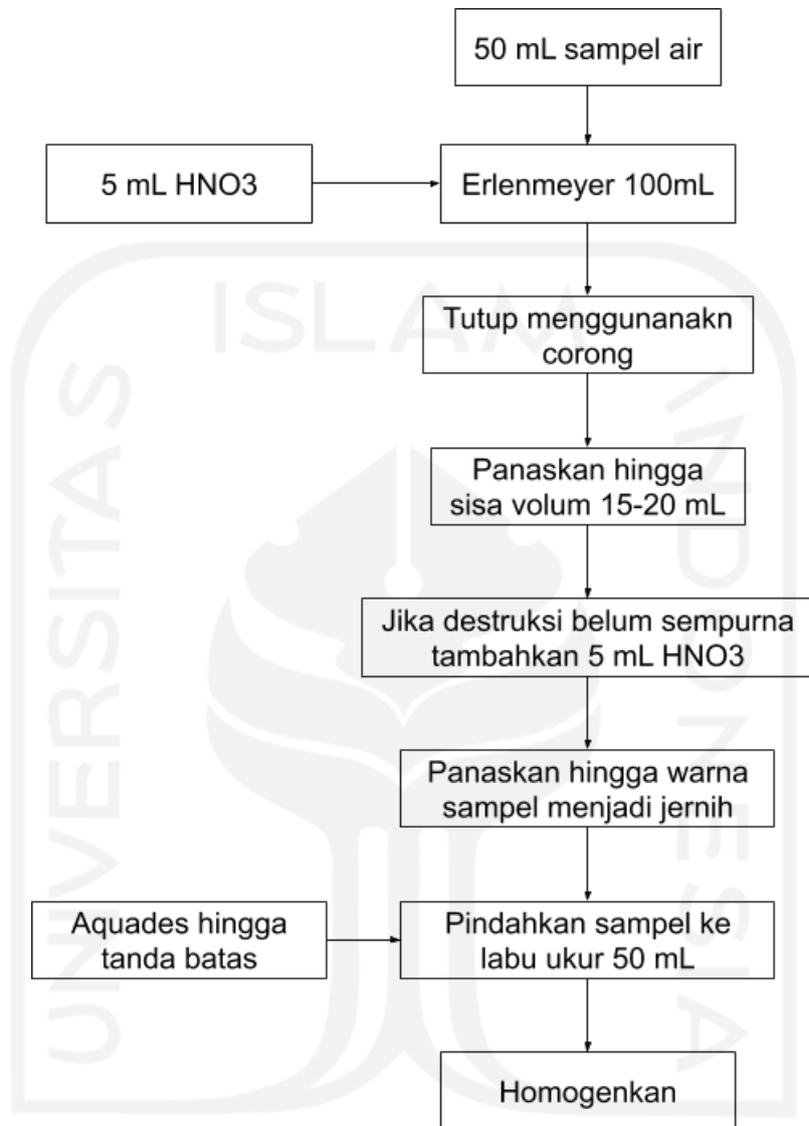
PARAMETER	UNIT	CLASS				
		I	IIA/IB	II*	IV	V
Al	mg/l		-	(0.05)	0.5	
As	mg/l	↑	0.05	0.4 (0.05)	0.1	↑
Ba	mg/l		1	-	-	
Cd	mg/l		0.01	0.01* (0.001)	0.01	
Cr (VI)	mg/l		0.05	1.4 (0.05)	0.1	
Cr (III)	mg/l		-	2.5	-	
Cu	mg/l		0.02	-	0.2	
Hardness	mg/l		250	-	-	
Ca	mg/l		-	-	-	
Mg	mg/l		-	-	-	
Na	mg/l		-	-	3 SAR	
K	mg/l		-	-	-	
Fe	mg/l		1	1	1 (Leaf) 5 (Others)	
Pb	mg/l	N	0.05	0.02* (0.01)	5	L
Mn	mg/l	A	0.1	0.1	0.2	E
Hg	mg/l	T	0.001	0.004 (0.0001)	0.002	L
Ni	mg/l	R	0.05	0.9*	0.2	E
Se	mg/l	L	0.01	0.25 (0.04)	0.02	A
Ag	mg/l		0.05	0.0002	-	B
Sn	mg/l		-	0.004	-	O
U	mg/l	L	-	-	-	V
Zn	mg/l	E	5	0.4*	2	
B	mg/l		1	(3.4)	0.8	
Cl	mg/l		200	-	80	
Cb	mg/l		-	(0.02)	-	
CN	mg/l	O	0.02	0.06 (0.02)	-	
F	mg/l	R	1.5	10	1	
NO ₂	mg/l		0.4	0.4 (0.03)	-	
NO ₃	mg/l	A	7	-	5	
P	mg/l	B	0.2	0.1	-	
Silica	mg/l	S	50	-	-	
SO ₄	mg/l		250	-	-	
S	mg/l	T	0.05	(0.001)	-	
CO ₂	mg/l		-	-	-	
Gross-α	Bq/l		0.1	-	-	
Gross-β	Bq/l		1	-	-	
Ra-226	Bq/l		<0.1	-	-	
Sr-90	Bq/l		<1	-	-	
CCE	µg/l		500	-	-	
MBS/BAS	µg/l		500	5000 (200)	-	
O & G (Mineral)	µg/l		40; N	N	-	
O & G (Emulsified Edible)	µg/l		7000; N	N	-	
PCB	µg/l		0.1	6 (0.05)	-	
Phenol	µg/l		10	-	-	
Aldrin/Dieldrin	µg/l		0.02	0.2 (0.01)	-	
BHC	µg/l		2	9 (0.1)	-	
Chlordane	µg/l		0.08	2 (0.02)	-	
1-DDT	µg/l		0.1	(1)	-	
Endosulfan	µg/l		10	-	-	
Heptachlor/Epoxyde	µg/l		0.05	0.9 (0.08)	-	
Lindane	µg/l		2	3 (0.4)	-	
2,4-D	µg/l		70	450	-	
2,4,5-T	µg/l		10	160	-	
2,4,5-TP	µg/l		4	850	-	
Paraquat	µg/l		10	1800	-	

LAMPIRAN B
(Metode Preparasi Sampel Air)

B1. Pre-treatment



B2. Destruksi

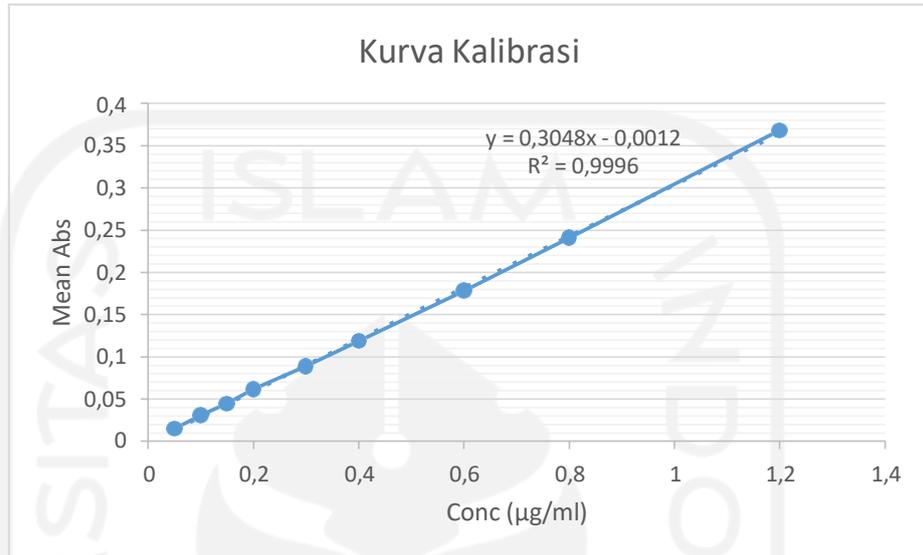


LAMPIRAN C

(Perhitungan dan Hasil Kadar Logam)

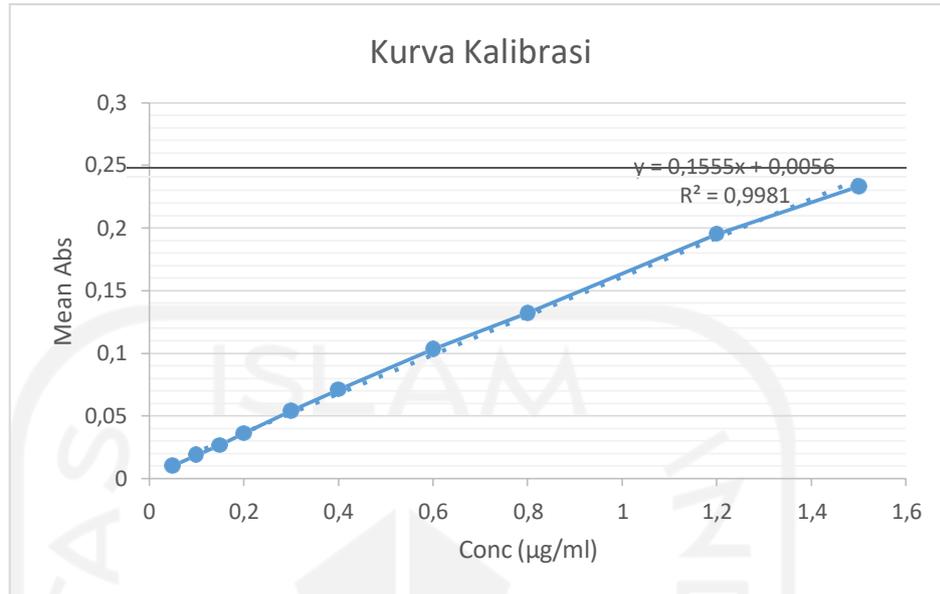
C1. Hasil Uji AAS Sampling 1

1. Logam Fe



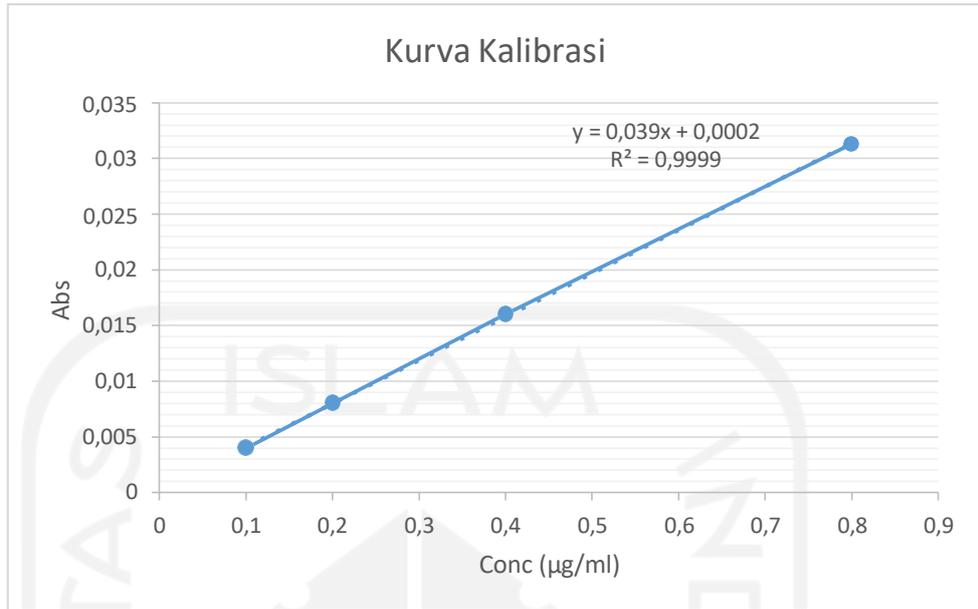
Logam Fe			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,097	0,3144	62,88
2	0,338	1,1050	220,99
3	0,0704	0,2271	45,43
4	0,1509	0,4912	98,24
5	0,0903	0,2924	58,48
6	0,1545	0,5030	100,60
7	0,1533	0,4991	99,82
8	0,123	0,3997	79,94
9	0,1035	0,3357	67,14
10	0,0852	0,2757	55,14
11	0,1878	0,6123	122,45
12	0,0926	0,3000	59,99

2. Logam Mn



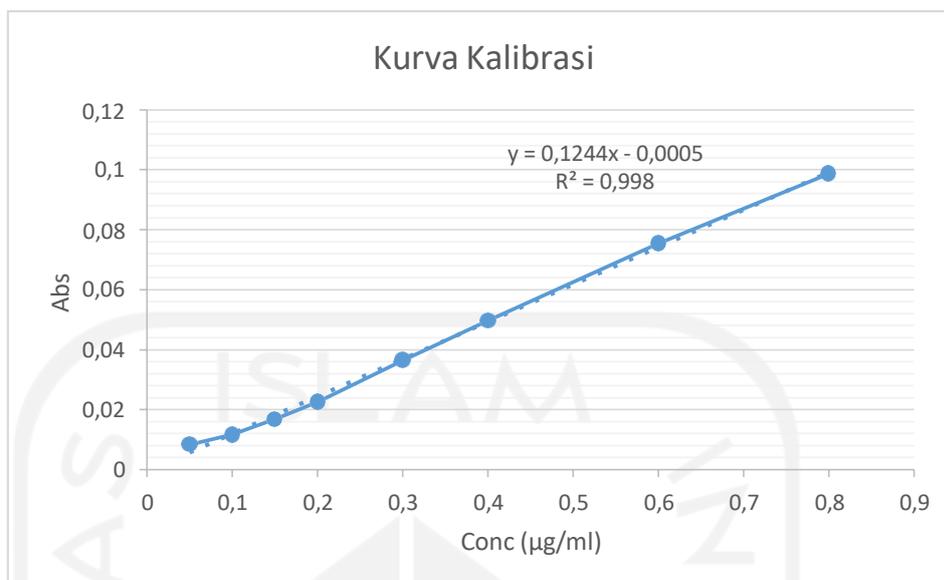
Logam Mn			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0459	0,2595	51,90
2	0,2236	1,4024	280,47
3	0,042	0,2344	46,88
4	0,0588	0,3425	68,49
5	0,0479	0,2724	54,47
6	0,0599	0,3495	69,91
7	0,0644	0,3785	75,69
8	0,0608	0,3553	71,06
9	0,0534	0,3077	61,55
10	0,065	0,3823	76,47
11	0,1071	0,6531	130,62
12	0,0783	0,4679	93,57

3. Logam Pb



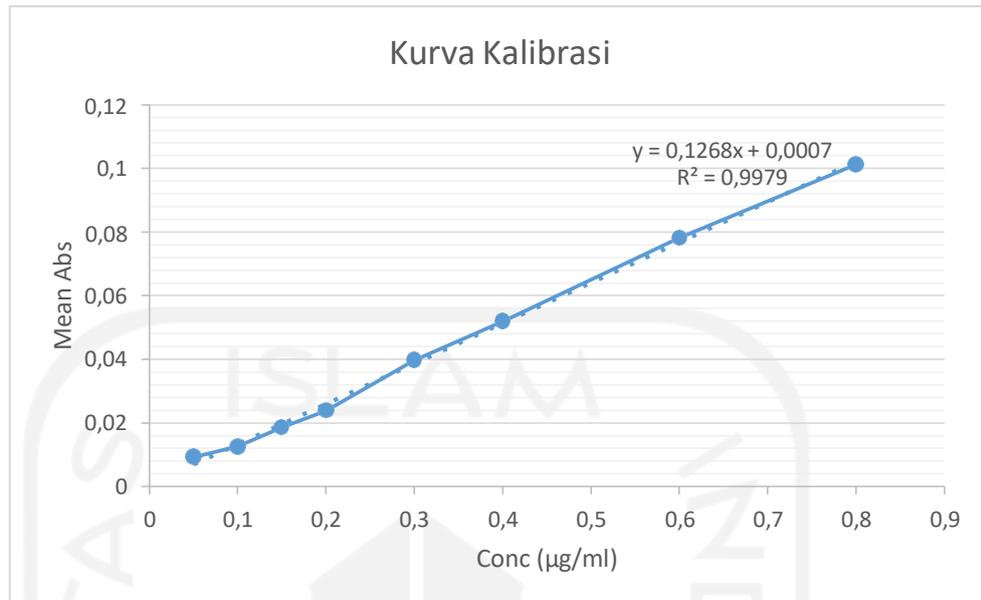
Logam Pb			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0083	0,2075	41,51
2	0,0077	0,1921	38,43
3	0,0055	0,1357	27,14
4	0,004	0,0972	19,44
5	0,0052	0,1280	25,60
6	0,0032	0,0767	15,33
7	0,0033	0,0792	15,84
8	0,0033	0,0792	15,84
9	0,0033	0,0792	15,84
10	0,0009	0,0176	3,53
11	0,0013	0,0279	5,58
12	0,0083	0,2075	41,51

4. Logam Cd



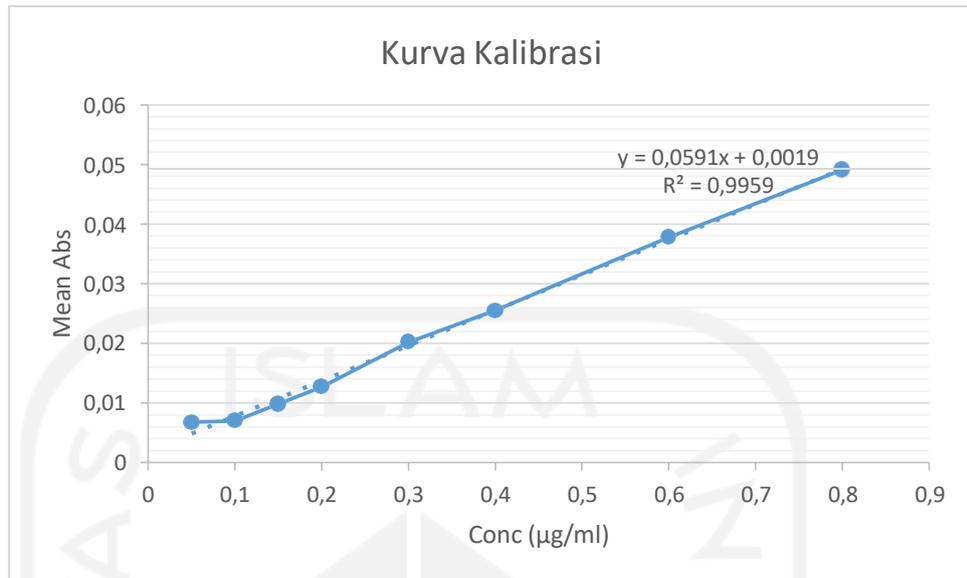
Logam Cd			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0088	0,0666	13,33
2	0,0079	0,0594	11,88
3	0,0029	0,0192	3,85
4	0,0031	0,0208	4,17
5	0,0029	0,0192	3,85
6	0,0025	0,0160	3,20
7	0,0036	0,0249	4,97
8	0,0031	0,0208	4,17
9	0,0028	0,0184	3,69
10	0,0017	0,0096	1,92
11	0,0028	0,0184	3,69
12	0,0011	0,0048	0,95

5. Logam Cu



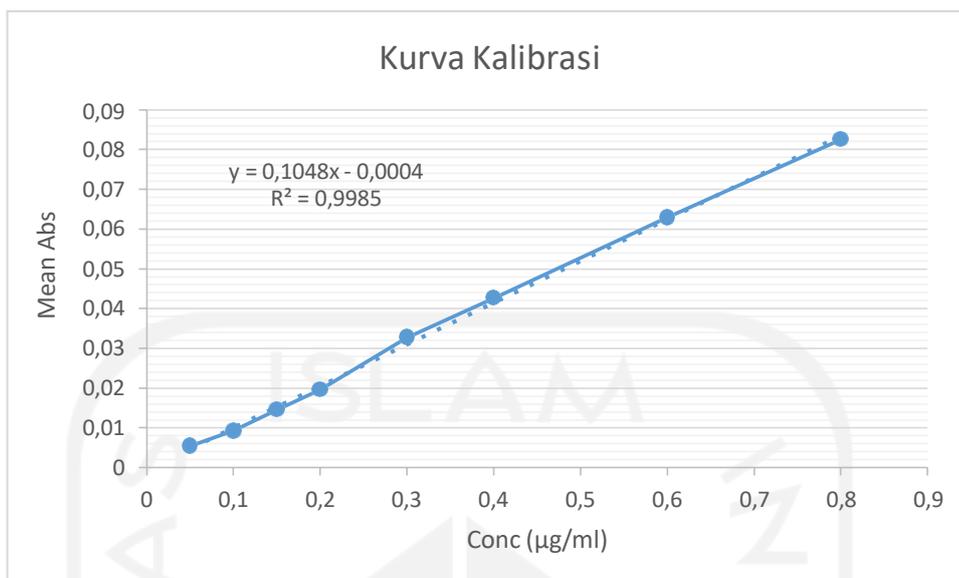
Logam Cu			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0077	0,0553	11,06
2	0,0078	0,0561	11,22
3	0,0028	0,0167	3,33
4	0,0012	0,0040	0,81
5	0,0016	0,0072	1,44
6	0,0019	0,0096	1,91
7	0,0024	0,0135	2,70
8	0,0019	0,0096	1,91
9	0,0016	0,00719	1,44
10	0,0008	0,0009	0,18
11	0,0019	0,0096	1,91
12	0,0007	0,0001	0,02

6. Logam Ni



Logam Ni			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0082	0,1066	21,32
2	0,0093	0,1252	25,04
3	0,0104	0,1438	28,76
4	0,0081	0,1049	20,98
5	0,0068	0,0829	16,58
6	0,0084	0,1100	21,99
7	0,0084	0,1100	21,99
8	0,0085	0,1117	22,33
9	0,0068	0,0829	16,58
10	0,0071	0,0880	17,60
11	0,01	0,1370	27,41
12	0,0103	0,1421	28,42

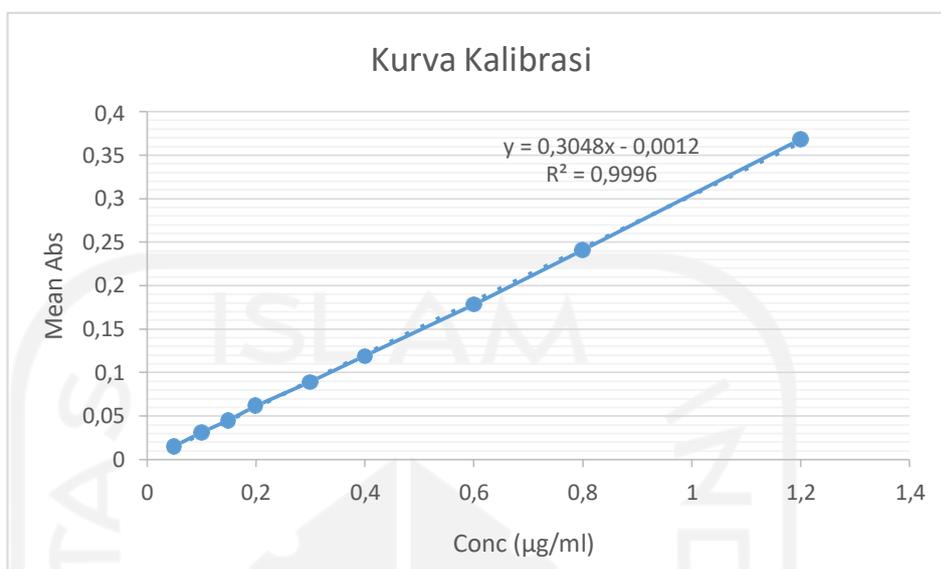
7. Logam Cr



Logam Cr			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	-0,0011	-0,0143	-2,85
2	-0,0018	-0,0209	-4,19
3	-0,001	-0,0133	-2,66
4	-0,0012	-0,0152	-3,04
5	-0,0021	-0,0238	-4,76
6	-0,0015	-0,0181	-3,62
7	-0,0019	-0,0219	-4,38
8	-0,002	-0,0229	-4,57
9	-0,0026	-0,0286	-5,72
10	-0,0022	-0,0248	-4,95
11	-0,003	-0,0324	-6,48
12	-0,0032	-0,0343	-6,86

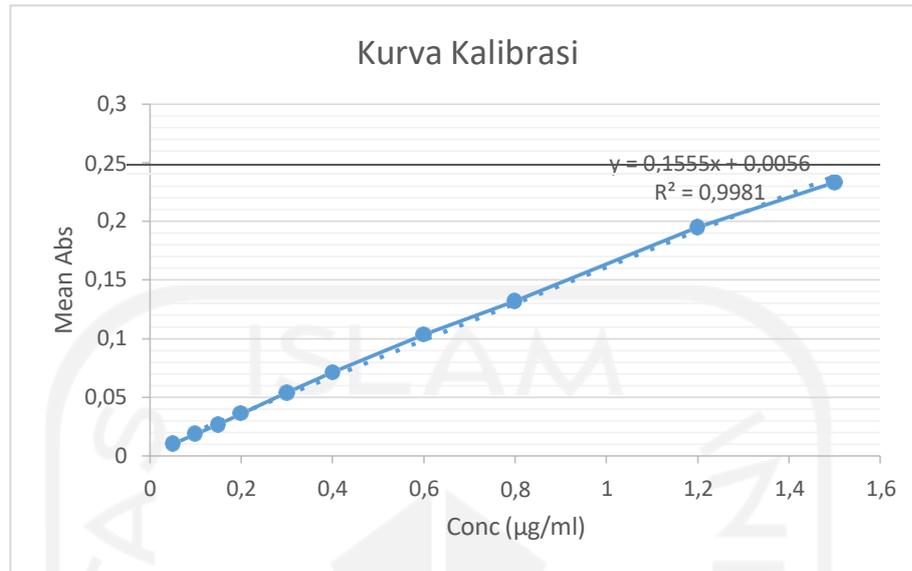
C2. Hasil Uji AAS Sampling 2

1. Logam Fe



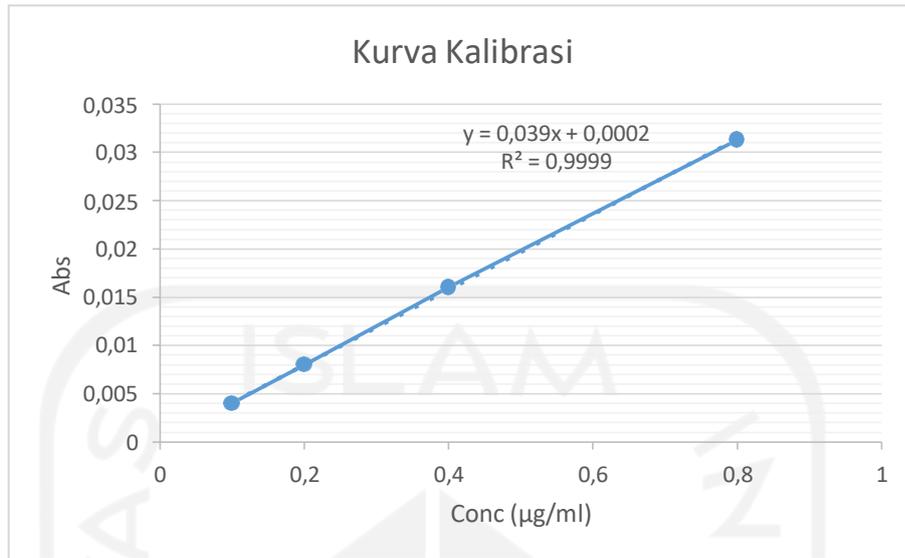
Logam Fe			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,1818	0,5926	118,52
2	0,1716	0,5591	111,82
3	0,1454	0,4732	94,63
4	0,0825	0,2668	53,37
5	0,0659	0,2124	42,48
6	0,1375	0,4473	89,45
7	0,0705	0,2275	45,49
8	0,0795	0,2570	51,40
9	0,1726	0,5624	112,48
10	0,067	0,2160	43,20
11	0,0648	0,2088	41,75
12	0,0644	0,2075	41,49

2. Logam Mn



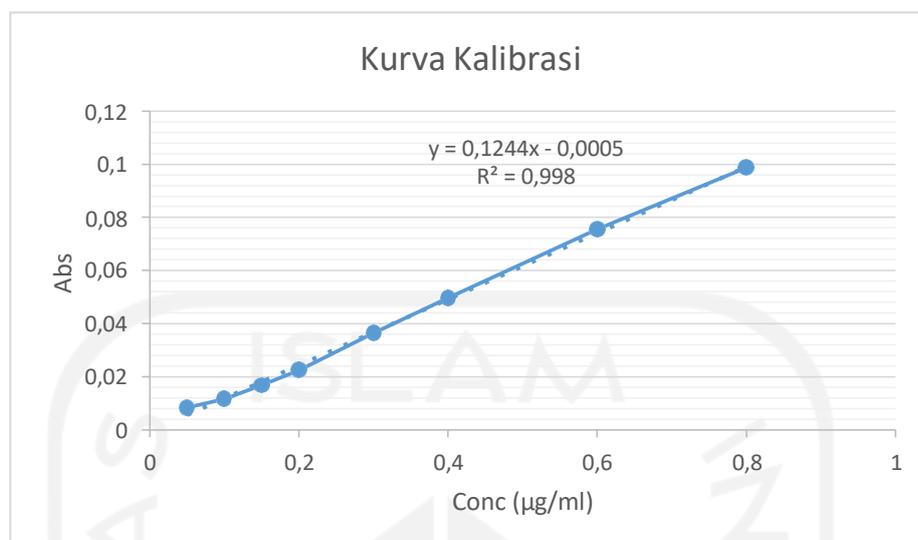
Logam Mn			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0536	0,3090	61,80
2	0,0358	0,1945	38,91
3	0,0489	0,2788	55,76
4	0,034	0,1830	36,59
5	0,0298	0,1559	31,19
6	0,0485	0,2762	55,24
7	0,0346	0,1868	37,36
8	0,0405	0,2248	44,95
9	0,0762	0,4544	90,87
10	0,0461	0,2608	52,16
11	0,0489	0,2788	55,76
12	0,0532	0,3064	61,29

3. Logam Pb



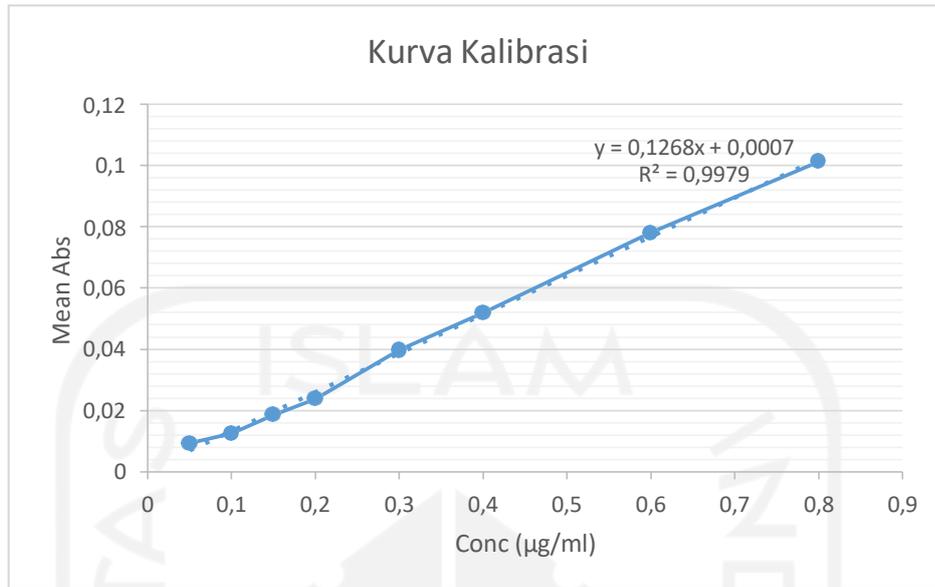
Logam Pb			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0096	0,2409	48,18
2	0,0093	0,2332	46,64
3	0,0095	0,2383	47,67
4	0,0095	0,2383	47,67
5	0,0137	0,3461	69,23
6	0,0108	0,2717	54,34
7	0,0115	0,2897	57,93
8	0,0185	0,4693	93,86
9	0,012	0,3025	60,50
10	0,0125	0,3153	63,07
11	0,0097	0,2435	48,69
12	0,0157	0,3975	79,49

4. Logam Cd



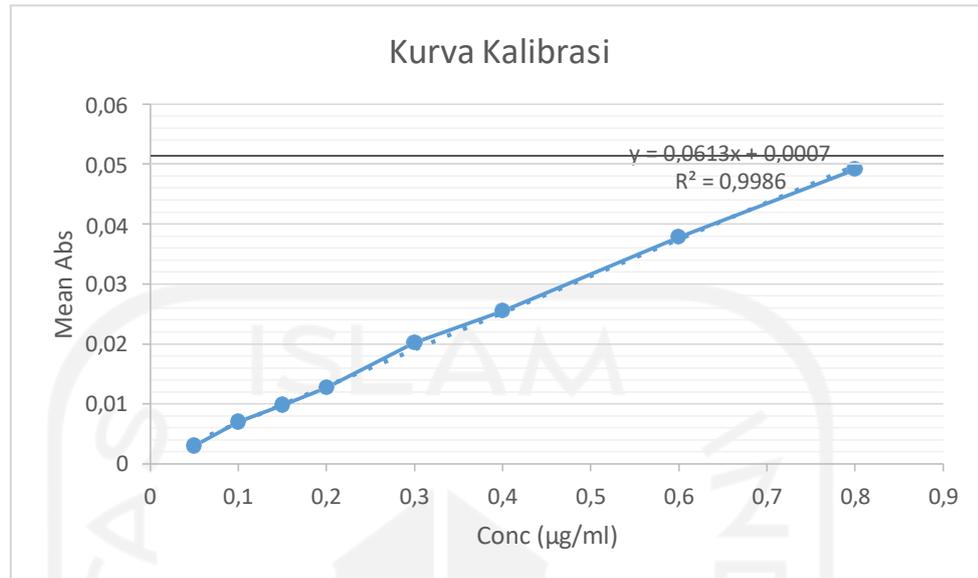
Logam Cd			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0063	0,0466	9,31
2	0,0069	0,0514	10,28
3	0,0072	0,0538	10,76
4	0,0069	0,0514	10,28
5	0,007	0,0522	10,44
6	0,0049	0,0353	7,06
7	0,0072	0,0538	10,76
8	0,007	0,0522	10,44
9	0,0076	0,0570	11,40
10	0,0084	0,0634	12,69
11	0,0056	0,0409	8,19
12	0,0057	0,0417	8,35

5. Logam Cu



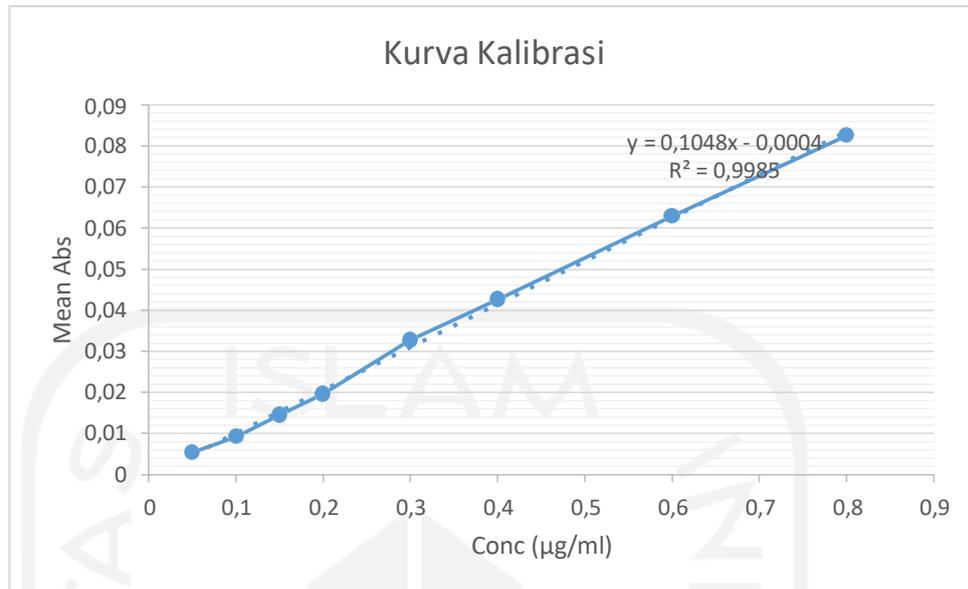
Logam Cu			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0027	0,0159	3,17
2	0,0024	0,0135	2,70
3	0,0024	0,0135	2,70
4	0,0038	0,0245	4,91
5	0,002	0,0103	2,07
6	0,003	0,0182	3,65
7	0,0017	0,0080	1,60
8	0,003	0,0182	3,65
9	0,0025	0,0143	2,86
10	0,0013	0,0048	0,96
11	0,0017	0,0080	1,60
12	0,0022	0,0119	2,38

6. Logam Ni



Logam Ni			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0004	-0,0052	-1,03
2	0,0016	0,0144	2,88
3	0,001	0,0046	0,93
4	0,0017	0,0161	3,21
5	0,0016	0,0144	2,88
6	0,0011	0,0063	1,25
7	0,0009	0,0030	0,60
8	0,0021	0,0226	4,52
9	-0,003	-0,0606	-12,12
10	0,0001	-0,0100	-2,01
11	0,0005	-0,0035	-0,70
12	-0,0018	-0,0410	-8,21

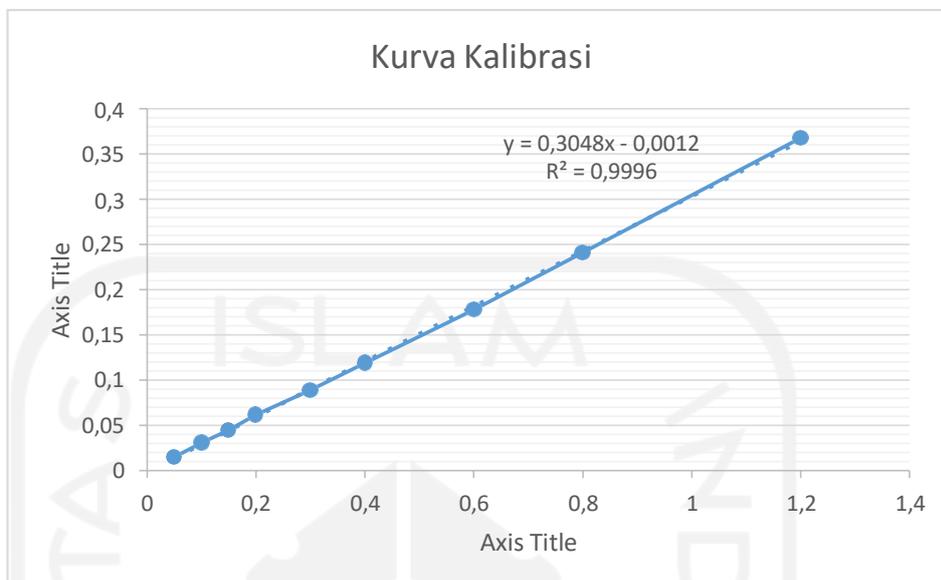
7. Logam Cr



Logam Cr			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	-0,0023	-0,0257	-5,14
2	-0,0029	-0,0314	-6,29
3	-0,0031	-0,0333	-6,67
4	-0,0037	-0,0391	-7,81
5	-0,0034	-0,0362	-7,24
6	-0,0042	-0,0438	-8,77
7	-0,0048	-0,0496	-9,91
8	-0,0033	-0,0353	-7,05
9	-0,0037	-0,0391	-7,81
10	-0,0037	-0,0391	-7,81
11	-0,0037	-0,0391	-7,81
12	-0,0036	-0,0381	-7,62

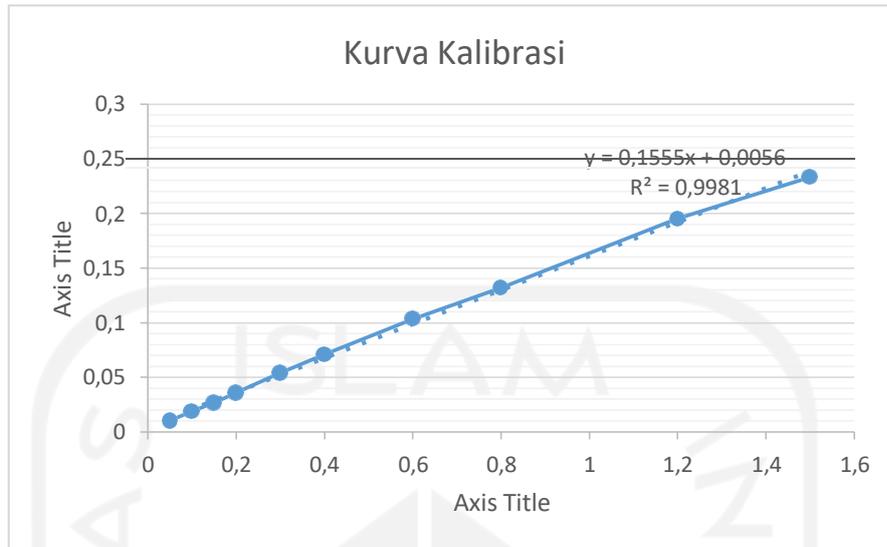
C3. Hasil Uji AAS Sampling 3

1. Logam Fe



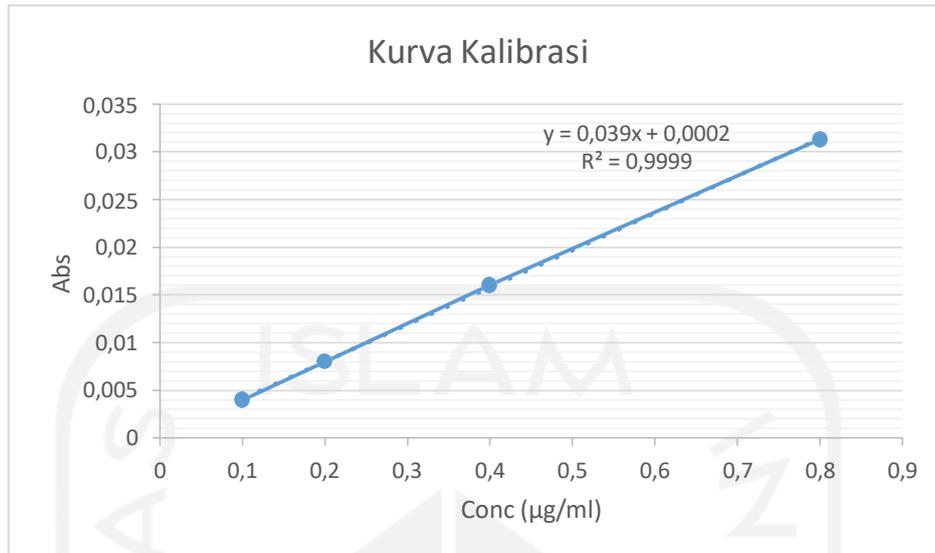
Logam Fe			
Titik	Mean Abs	Conc ($\mu\text{g/ml}$)	Kadar Logam ($\mu\text{g/l}$)
1	0,1811	0,5903	118,06
2	0,1632	0,5316	106,31
3	0,2704	0,8832	176,64
4	0,0809	0,2616	52,32
5	0,0712	0,2298	45,95
6	0,1246	0,4049	80,99
7	0,0837	0,2708	54,15
8	0,0739	0,2386	47,72
9	0,0806	0,2606	52,12
10	0,0999	0,3239	64,78
11	0,0996	0,3229	64,59
12	0,1197	0,3889	77,77

2. Logam Mn



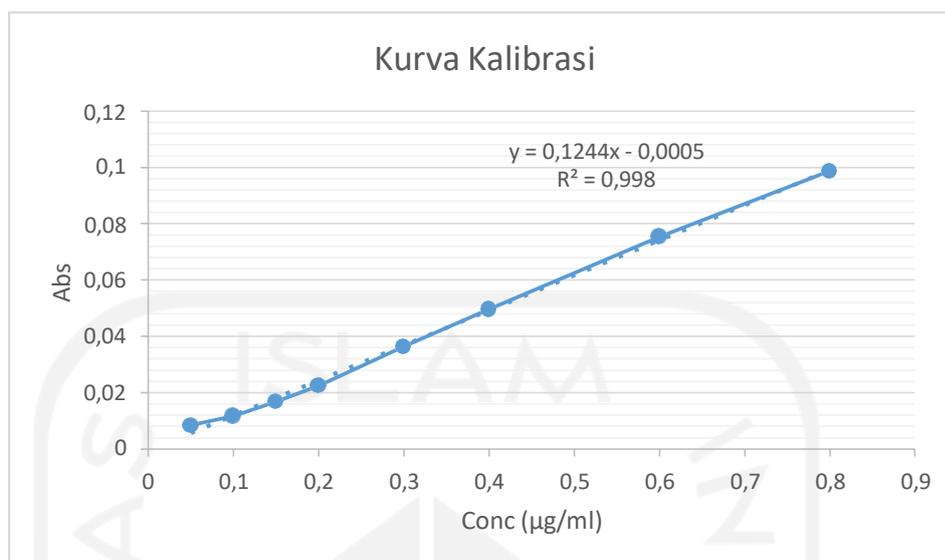
Logam Mn			
Titik	Mean Abs	Conc ($\mu\text{g/ml}$)	Kadar Logam ($\mu\text{g/l}$)
1	0,0548	0,3167	63,35
2	0,0666	0,3926	78,52
3	0,1058	0,6447	128,95
4	0,0242	0,1199	23,98
5	0,0229	0,1116	22,31
6	0,0327	0,1746	34,92
7	0,0255	0,1283	25,66
8	0,0233	0,1141	22,83
9	0,0245	0,1219	24,37
10	0,0562	0,3257	65,15
11	0,0502	0,2871	57,43
12	0,0368	0,2010	40,19

3. Logam Pb



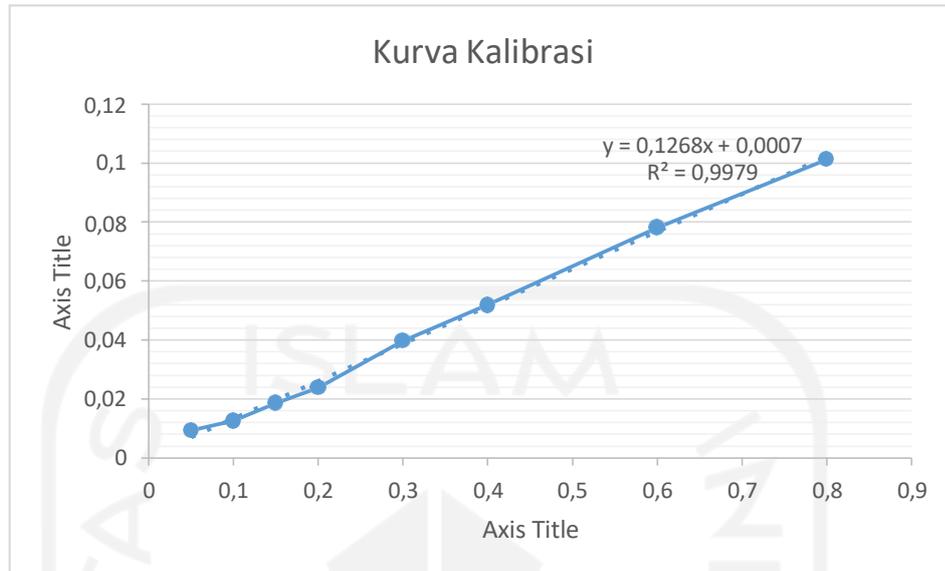
Logam Pb			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0019	0,0433	8,66
2	0,0021	0,0484	9,69
3	0,0029	0,0690	13,79
4	0,0013	0,0279	5,58
5	0,0009	0,0176	3,53
6	0,0008	0,0151	3,01
7	0,0005	0,0074	1,47
8	0,0018	0,0407	8,15
9	0,0018	0,0407	8,15
10	0,0009	0,0176	3,53
11	0,0007	0,0125	2,50
12	0,0011	0,0228	4,55

4. Logam Cd



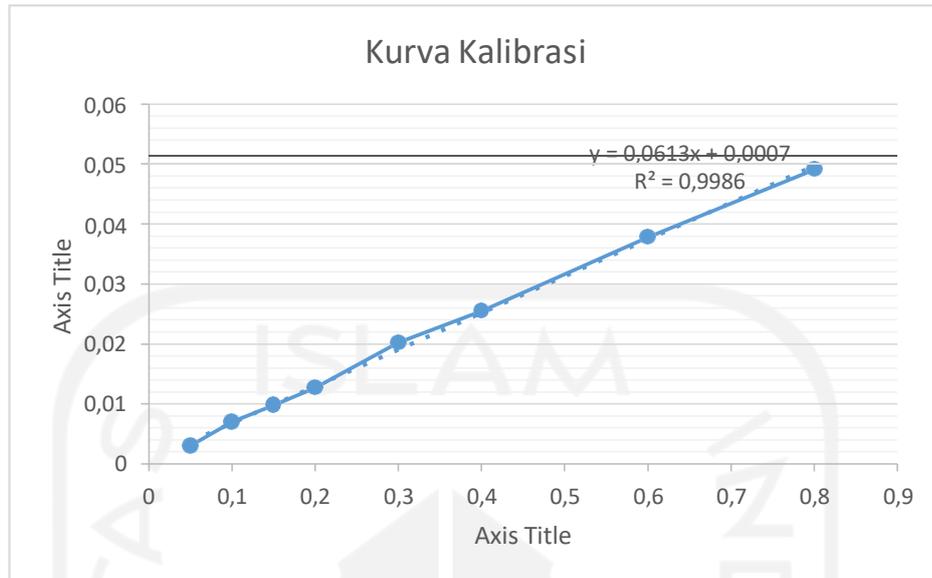
Logam Cd			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0039	0,0273	5,45
2	0,003	0,0200	4,01
3	0,0037	0,0257	5,13
4	0,0038	0,0265	5,29
5	0,0034	0,0233	4,65
6	0,0043	0,0305	6,10
7	0,0043	0,0305	6,10
8	0,0031	0,0208	4,17
9	0,005	0,0361	7,22
10	0,0038	0,0265	5,29
11	0,0036	0,0249	4,97
12	0,0054	0,0393	7,86

5. Logam Cu



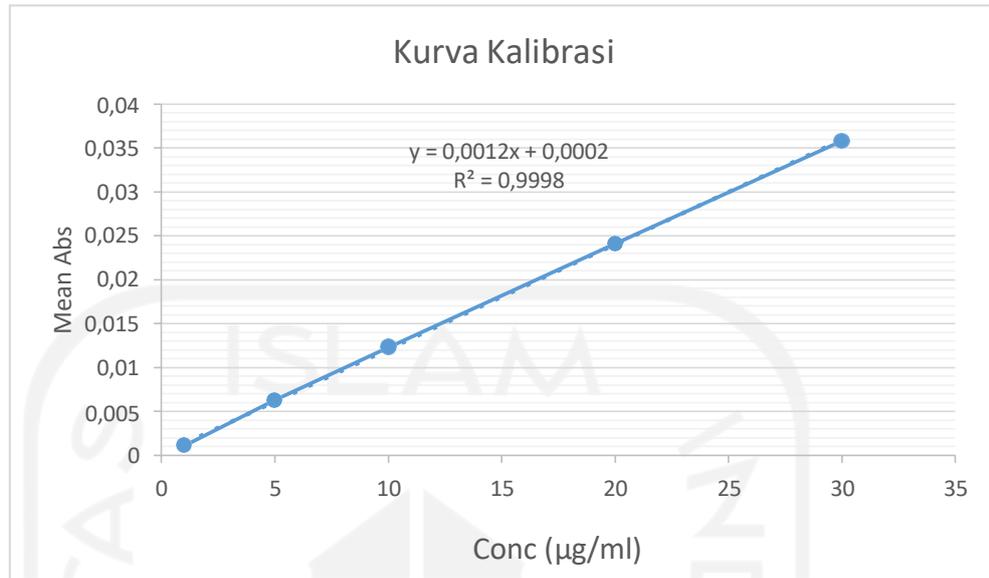
Logam Cu			
Titik	Mean Abs	Conc ($\mu\text{g/ml}$)	Kadar Logam ($\mu\text{g/l}$)
1	0,0006	-0,0007	-0,14
2	0,0007	0,0001	0,02
3	0,005	0,0340	6,80
4	0,001	0,0025	0,49
5	0,001	0,0025	0,49
6	0,0008	0,0009	0,18
7	0,0008	0,0009	0,18
8	0,0008	0,0009	0,18
9	0,0008	0,0009	0,18
10	0,0009	0,0017	0,33
11	0,0009	0,0017	0,33
12	0,0007	0,0001	0,02

6. Logam Ni



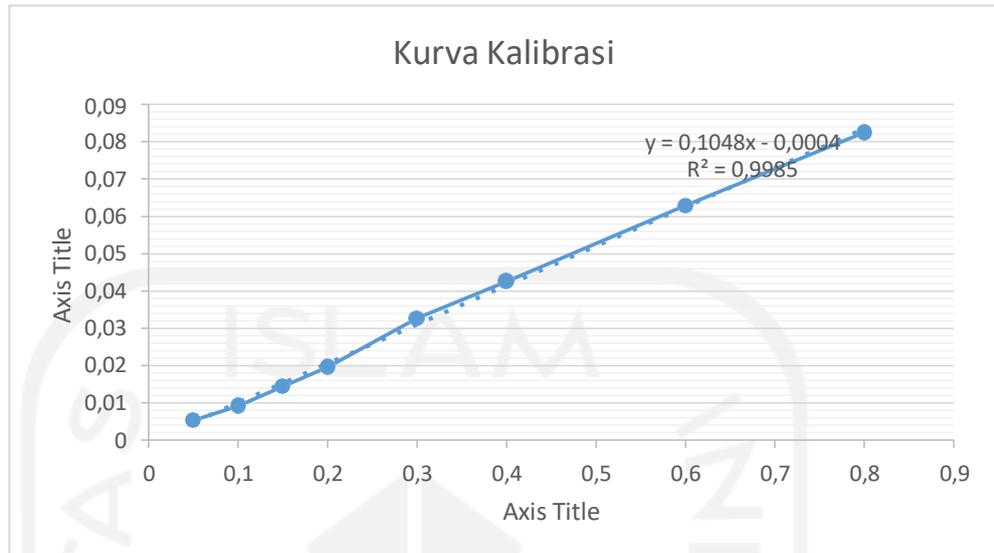
Logam Ni			
Titik	Mean Abs	Conc ($\mu\text{g/ml}$)	Kadar Logam ($\mu\text{g/l}$)
1	0,001	0,0046	0,93
2	0,0005	-0,0035	-0,70
3	0,0015	0,0128	2,56
4	0,0013	0,0095	1,91
5	0,001	0,0046	0,93
6	0,0013	0,0095	1,91
7	0,0001	-0,0100	-2,01
8	0,0004	-0,0052	-1,03
9	0,0008	0,0014	0,27
10	0,0009	0,0030	0,60
11	0,0006	-0,0019	-0,38
12	0,0006	-0,0019	-0,38

7. Logam Al



Titik	Mean Abs	Kadar Logam
1	0,0031	2,4493
2	0,0052	4,1856
3	0,0119	9,7865
4	0,005	4,0175
5	0,0054	4,3256
6	0,007	5,6978
7	0,0071	5,7818
8	0,0069	5,6138
9	0,0085	6,9300
10	0,0096	7,8822
11	0,0108	8,9183
12	0,0122	10,0665

8. Logam Cr



Logam Cr			
Titik	Mean Abs	Conc ($\mu\text{g/ml}$)	Kadar Logam ($\mu\text{g/l}$)
1	-0,0032	-0,0343	-6,86
2	-0,0043	-0,0448	-8,96
3	-0,0041	-0,0429	-8,58
4	-0,0037	-0,0391	-7,81
5	-0,0034	-0,0362	-7,24
6	-0,0042	-0,0438	-8,77
7	-0,004	-0,0419	-8,39
8	-0,004	-0,0419	-8,39
9	-0,0033	-0,0353	-7,05
10	-0,0037	-0,0391	-7,81
11	-0,0036	-0,0381	-7,62
12	-0,0033	-0,0353	-7,05

C4. Contoh Perhitungan Kadar Logam Besi (Fe) dalam Cuplikan Air Sungai
Sampling 1

1. Faktor Pemekatan (Fp)

Dik :

(Volume awal) $V_a = 10$

(Volume akhir) $V_o = 50$

Jwb :

$$\begin{aligned} F_p &= V_a / V_o \\ &= 10 / 50 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

2. Menentukan Konsentrasi logam (x)

$$x = \frac{y \pm a}{b}$$

Keterangan :

x = konsentrasi logam ($\mu\text{g/ml}$)

y = respons instrumen

a = intersep (*intercept*)

b = kemiringan (*slope*)

Dik:

$$y = 0,097$$

$$a = -0,0012$$

$$b = 0,3048$$

Jwb:

$$x = \frac{y \pm a}{b}$$

$$x = \frac{0,097 - 0,0012}{0,3048}$$

$$x = 0,3144 \mu\text{g/ml}$$

3. Menentukan konsentrasi logam berat ($\mu\text{g/l}$)

$$\text{Fe (mg/L)} = C \times fp$$

Dik :

$$C = 0,3144 \mu\text{g/ml}$$

$$Fp = 0,2$$

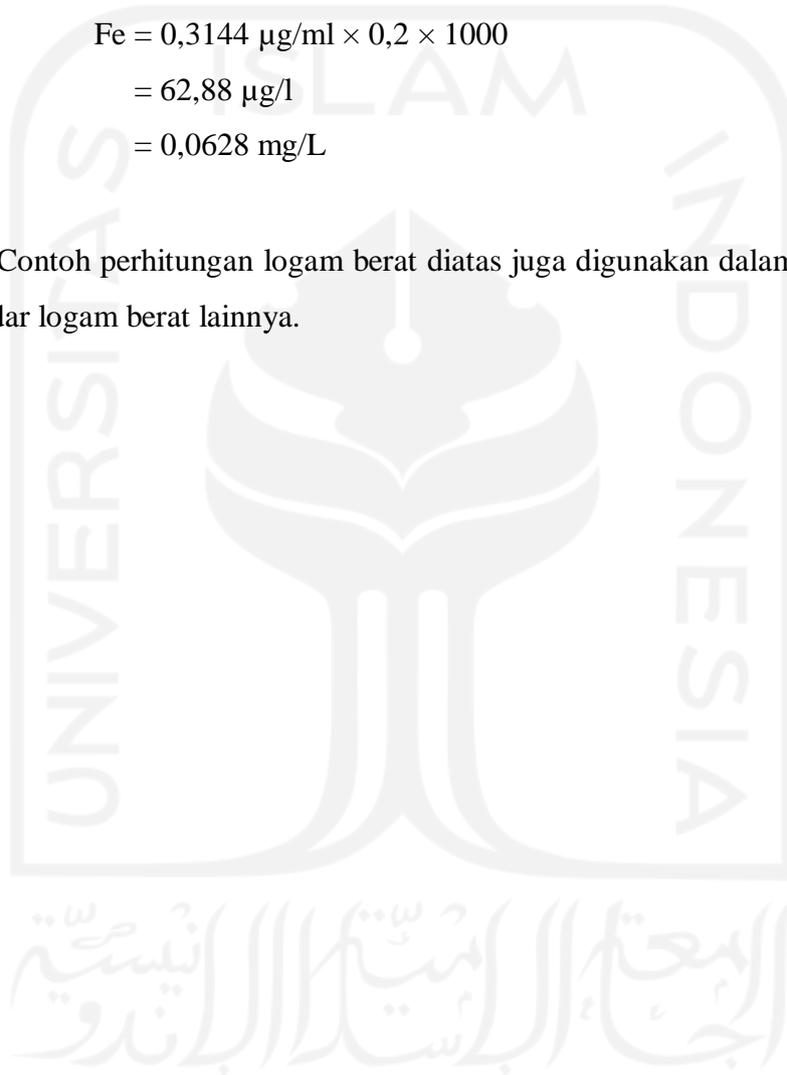
Jwb :

$$\text{Fe} = 0,3144 \mu\text{g/ml} \times 0,2 \times 1000$$

$$= 62,88 \mu\text{g/l}$$

$$= 0,0628 \text{ mg/L}$$

Contoh perhitungan logam berat diatas juga digunakan dalam menghitung kadar logam berat lainnya.



LAMPIRAN D
(Perhitungan dan Hasil HMPI)

D1. Menentukan Nilai HMPI Sampling 1

1. Menentukan nilai W_i

$$W_i = \frac{1}{S_i}$$

Keterangan:

S_i = batas maksimum yang diizinkan oleh PP No 22 Tahun 2021 (Kelas 1)

Dik:

- S_i besi (Fe) = 300 $\mu\text{g/l}$
- S_i mangan (Mn) = 100 $\mu\text{g/l}$
- S_i timbal (Pb) = 30 $\mu\text{g/l}$
- S_i kadmium (Cd) = 10 $\mu\text{g/l}$
- S_i tembaga (Cu) = 20 $\mu\text{g/l}$
- S_i nikel (Ni) = 50 $\mu\text{g/l}$
- S_i kromium (Cr) = 50 $\mu\text{g/l}$

Jwb:

- W_i besi = $1/300 \mu\text{g/l} = 0,003 \mu\text{g/l}$
- W_i mangan = $1/100 \mu\text{g/l} = 0,010 \mu\text{g/l}$
- W_i timbal = $1/30 \mu\text{g/l} = 0,033 \mu\text{g/l}$
- W_i cadmium = $1/10 \mu\text{g/l} = 0,100 \mu\text{g/l}$
- W_i tembaga = $1/20 \mu\text{g/l} = 0,050 \mu\text{g/l}$
- W_i nikel = $1/50 \mu\text{g/l} = 0,020 \mu\text{g/l}$
- W_i kromium = $1/50 \mu\text{g/l} = 0,020 \mu\text{g/l}$

2. Menentukan nilai Q_i

$$Q_i = \frac{M_i}{S_i} \times 100$$

Keterangan :

M_i = Rata-rata konsentrasi logam ($\mu\text{g/l}$)

Dik :

- M_i besi = 89,260 $\mu\text{g/l}$
- M_i mangan = 90,09 $\mu\text{g/l}$
- M_i timbal = 22,132 $\mu\text{g/l}$
- M_i cadmium = 4,972 $\mu\text{g/l}$
- M_i tembaga = 3,160 $\mu\text{g/l}$
- M_i nikel = 22,42 $\mu\text{g/l}$
- M_i kromium = 0,016 $\mu\text{g/l}$

Jwb :

- Q_i besi = $(89,260 \mu\text{g/l} / 300 \mu\text{g/l}) * 100$
= 29,75
- Q_i mangan = $(90,09 \mu\text{g/l} / 100 \mu\text{g/l}) * 100$
= 90,09
- Q_i timbal = $(22,132 \mu\text{g/l} / 30 \mu\text{g/l}) * 100$
= 73,77
- Q_i cadmium = $(4,972 \mu\text{g/l} / 10 \mu\text{g/l}) * 100$
= 49,72
- Q_i tembaga = $(3,160 \mu\text{g/l} / 20 \mu\text{g/l}) * 100$
= 15,80
- Q_i nikel = $(22,42 \mu\text{g/l} / 50 \mu\text{g/l}) * 100$
= 44,83
- Q_i kromium = $(0,016 \mu\text{g/l} / 50 \mu\text{g/l}) * 100$
= 0,03

3. Menghitung nilai $W_i \times Q_i$

- Besi $= W_i \times Q_i = 0,003 \mu\text{g/l} \times 29,75 = 0,0992$
- Mangan $= W_i \times Q_i = 0,010 \mu\text{g/l} \times 90,09 = 0,9009$
- Timbal $= W_i \times Q_i = 0,033 \mu\text{g/l} \times 73,77 = 2,4591$
- Kadmium $= W_i \times Q_i = 0,100 \mu\text{g/l} \times 49,72 = 4,9720$
- Tembaga $= W_i \times Q_i = 0,050 \mu\text{g/l} \times 15,80 = 0,7900$
- Nikel $= W_i \times Q_i = 0,020 \mu\text{g/l} \times 44,83 = 0,8967$
- Kromium $= W_i \times Q_i = 0,020 \mu\text{g/l} \times 0,03 = 0,0006$

4. Menghitung nilai HMPI Sampling 1

$$HMPI = \frac{\sum W_i Q_i}{\sum W_i}$$

Dik :

$$\sum W_i Q_i = 10,1186$$

$$\sum W_i = 0,237$$

Jwb :

$$\begin{aligned} HMPI &= \frac{\sum W_i Q_i}{\sum W_i} \\ &= \frac{10,1186}{0,237} \\ &= 42,754 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan pada lampiran D juga digunakan untuk menghitung nilai HMPI pada sampling 2 dan 3.

LAMPIRAN E
(Dokumentasi)









