

TUGAS AKHIR

**HUBUNGAN KADAR LOGAM BERAT (Cu, Cr, Pb, Ni,
Cd, Al, Fe dan Mn) DALAM PADATAN TERSUSPENSI
DAN SEDIMEN DI SUNGAI WINONGO**

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



**MUHAMMAD RAMI RAMADHAN
17513069**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

TUGAS AKHIR

HUBUNGAN KADAR LOGAM BERAT (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn) DALAM PADATAN TERSUSPENSISI DAN SEDIMEN DI SUNGAI WINONGO

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



Disusun Oleh:

Muhammad Rami Ramadhan
17513069

Disetujui,
Dosen Pembimbing


Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.
NIK. 155131313
Tanggal: 15 Oktober 2021


Nelly Marlina, S.T., M.T.
NIK. 125130401
Tanggal: 15 Oktober 2021

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal: 03 Desember 2021

HALAMAN PENGESAHAN

HUBUNGAN KADAR LOGAM BERAT (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe dan Mn) DALAM PADATAN TERSUSPENSI DAN SEDIMEN DI SUNGAI WINONGO

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : ~~Senin~~
Tanggal : ~~25~~ Oktober 2021

Disusun Oleh:

MUHAMMAD RAMI RAMADHAN
17513069

Tim Penguji :

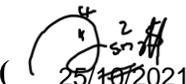
Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Nelly Marlina, S.T., M.T.

Luthfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc.

()

()

(
25/10/2021)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 15 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rami Ramadhan

NIM : 17513069

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Oktober 2020 ini ialah Hubungan Kadar Logam Berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, Dan Mn) Dalam Padatan Tersuspensi Dan Sedimen di Sungai Winongo.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T., dan Ibu Nelly Marlina, S.T., M.T., selaku pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Ibu Lutfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc., yang telah banyak memberi saran. Di samping itu, penulis juga sampaikan terima kasih kepada Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII beserta staff jajaran Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII yang telah banyak memberi ilmu selama masa kuliah penulis. Tak lupa penulis ucapkan banyak terima kasih kepada Orang Tua penulis serta seluruh anggota keluarga atas segala do'a dan kasih sayang.

Semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi seluruh umat manusia, aamiin.

Yogyakarta, 15 Oktober 2021



Muhammad Rami Ramadhan

ABSTRACT

Comprehensive research on the content of heavy metals in suspended solids and sediments and their correlation is still lacking. Studies and monitoring of river water quality, especially in Indonesia, have so far focused more on pollutant content in the river water phase, whereas suspended solids and sediments are also important to monitor. The study of the relationship of heavy metal levels of Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe and Mn in suspended solids and sediments in the Winongo River which was carried out in the period December 2020 - February 2021 aimed to determine the concentration of heavy metals using the Atomic Absorption Spectrophotometry method (SSA) and determine the correlation (relationship) of these heavy metals in suspended solids and sediment using Pearson Correlation analysis. Sampling in this study was carried out at 12 points with the results of heavy metal concentrations of Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Fe, Mn and Al in suspended solids, respectively, ie 0.20 – 5.89 mg/kg; 0.02 – 2.44 mg/kg; 13.10 – 87.05 mg/kg; 0.07 – 3.44 mg/kg; 0.46 – 7.92 mg/kg; 31.08 – 193.44 mg/kg; 3.99 – 79.28 mg/kg; and 755.49 – 6301.44 mg/kg. Meanwhile, the concentrations of heavy metals Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Fe, Mn and Al in sediments were 7.81 – 111.74 mg/kg, respectively; 0.44 – 12.95 mg/kg; 7.04 – 51.69 mg/kg; 0.02 – 7.69 mg/kg; 0.79 – 4.29 mg/kg; 1501.22 – 3257.51 mg/kg; and 0.04 – 431.37 mg/kg. The results of the Pearson correlation analysis between the two parameters, it was found that Mn metal has the strongest correlation than other heavy metals with a negative correlation value of 0.668. This indicates that the presence of manganese in the sediment is strongly influenced by the presence of manganese in suspended solids (with a coefficient of determination reaching 44.62%).

Keywords: Suspended Solids, Sediment, Heavy Metals, Winongo River.

ABSTRAK

Penelitian yang komprehensif mengenai kandungan logam berat pada padatan tersuspensi dan sedimen serta hubungannya masih sedikit. Studi maupun monitoring kualitas air sungai terutama di Indonesia selama ini masih lebih difokuskan pada kandungan pencemar di fasa air sungai, padahal padatan tersuspensi dan sedimen juga penting untuk dipantau. Penelitian hubungan kadar logam berat Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe dan Mn dalam padatan tersuspensi dan sedimen di Sungai Winongo yang dilakukan pada periode Desember 2020 – Februari 2021 ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dan mengetahui korelasi (hubungan) logam berat tersebut pada padatan tersuspensi dan sedimen menggunakan analisis Korelasi Pearson. Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan pada 12 titik dengan hasil konsentrasi logam berat Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Fe, Mn dan Al pada padatan tersuspensi secara berturut-turut yaitu 0,20 – 5,89 mg/kg; 0,02 – 2,44 mg/kg; 13,10 – 87,05 mg/kg; 0,07 – 3,44 mg/kg; 0,46 – 7,92 mg/kg; 31,08 – 193,44 mg/kg; 3,99 – 79,28 mg/kg; dan 755,49 – 6301,44 mg/kg. Sedangkan untuk konsentrasi logam berat Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Fe, Mn dan Al pada sedimen secara berturut-turut yaitu 7,81 – 111,74 mg/kg; 0,44 – 12,95 mg/kg; 7,04 – 51,69 mg/kg; 0,02 – 7,69 mg/kg; 0,79 – 4,29 mg/kg; 1501,22 – 3257,51 mg/kg; dan 0,04 – 431,37 mg/kg. Hasil analisis korelasi Pearson antara kedua parameter tersebut, diperoleh bahwa logam Mn memiliki korelasi yang paling kuat dibanding logam berat lainnya dengan nilai korelasinya adalah negatif 0,668. Hal ini menandakan keberadaan mangan di sedimen sangat dipengaruhi oleh keberadaan mangan di padatan tersuspensi (dengan koefisien determinasi mencapai 44,62%).

Kata Kunci: Padatan Tersuspensi, Sedimen, Logam Berat, Sungai Winongo.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Limbah	5
2.1.1 Air Limbah Domestik	5
2.1.2 Air Limbah Industri.....	6
2.2 Logam Berat di Padatan Tersuspensi dan Sedimen	6
2.3 Logam Berat	7
2.3.1 Logam Berat Cu (Tembaga)	8
2.3.2 Logam Berat Cr (Kromium).....	9
2.3.3 Logam Berat Pb (Timbal)	9

2.3.4	Logam Berat Ni (Nikel)	10
2.3.5	Logam Berat Cd (Kadmium)	10
2.3.6	Logam Berat Al (Aluminium).....	11
2.3.7	Logam Berat Fe (Besi/ <i>Ferrum</i>).....	12
2.3.8	Logam Berat Mn (Mangan)	12
2.4	Indikator Pencemaran Perairan.....	13
2.4.1	Parameter Fisika.....	13
2.4.2	Parameter Kimia.....	14
2.5	Sungai Winongo	16
2.6	Analisis Logam Berat	17
2.6.1	Destruksi	17
2.6.2	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	18
2.6.3	Korelasi <i>Pearson Product Moment</i>	19
2.6.4	IBM SPSS	19
BAB III METODE PENELITIAN		21
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	22
3.3	Jenis dan Variabel Penelitian	23
3.4	Alat dan Bahan	24
3.5	Metode Pengambilan Sampel.....	24
3.6	Prosedur Kerja.....	25
3.6.1	Tahap Persiapan	25
3.6.2	Tahap Pengambilan dan Preparasi Sampel	25
3.6.3	Penentuan Konsentrasi Logam Berat	26
3.7	Analisis Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Deskripsi Daerah Penelitian	29
4.1.1	Titik Sampling 1 (Jembatan Jambon)	29

4.1.2	Titik Sampling 2 (Panggung)	30
4.1.3	Titik Sampling 3 (Jembatan Jatimulyo)	30
4.1.4	Titik Sampling 4 (Bumijo)	31
4.1.5	Titik Sampling 5 (Jembatan Kyai Mojo)	32
4.1.6	Titik Sampling 6 (Jembatan Merah)	32
4.1.7	Titik Sampling 7 (Ngampilan)	33
4.1.8	Titik Sampling 8 (Gedungkiwo)	34
4.1.9	Titik Sampling 9 (Mantrijeron)	34
4.1.10	Titik Sampling 10 (Tirtonirmolo)	35
4.1.11	Titik Sampling 11 (Jogonalan Kidul)	36
4.1.12	Titik Sampling 12 (Jembatan Winongo)	36
4.2	Analisis Parameter Fisika dan Kimia	37
4.2.1	Suhu	37
4.2.2	<i>Total Dissolved Solid (TDS)</i>	40
4.2.3	Konduktivitas/Daya Hantar Listrik	42
4.2.4	Derajat Keasaman (pH)	45
4.2.5	<i>Oxidation Reduction Potensial (ORP)</i>	47
4.3	Analisis Kandungan Logam Berat Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	49
4.3.1	Logam Berat Besi (Fe)	50
4.3.2	Logam Berat Mangan (Mn)	54
4.3.3	Logam Berat Nikel (Ni)	57
4.3.4	Logam Berat Tembaga (Cu)	61
4.3.5	Logam Berat Kadmium (Cd)	65
4.3.6	Logam Berat Timbal (Pb)	69
4.3.7	Logam Berat Kromium (Cr)	73
4.3.8	Logam Berat Aluminium (Al)	76
4.4	Analisis Korelasi Logam Berat Antara Padatan Tersuspensi dan Sedimen	80
BAB V KESIMPULAN		87

5.1	Simpulan.....	87
5.2	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN.....		97



DAFTAR TABEL

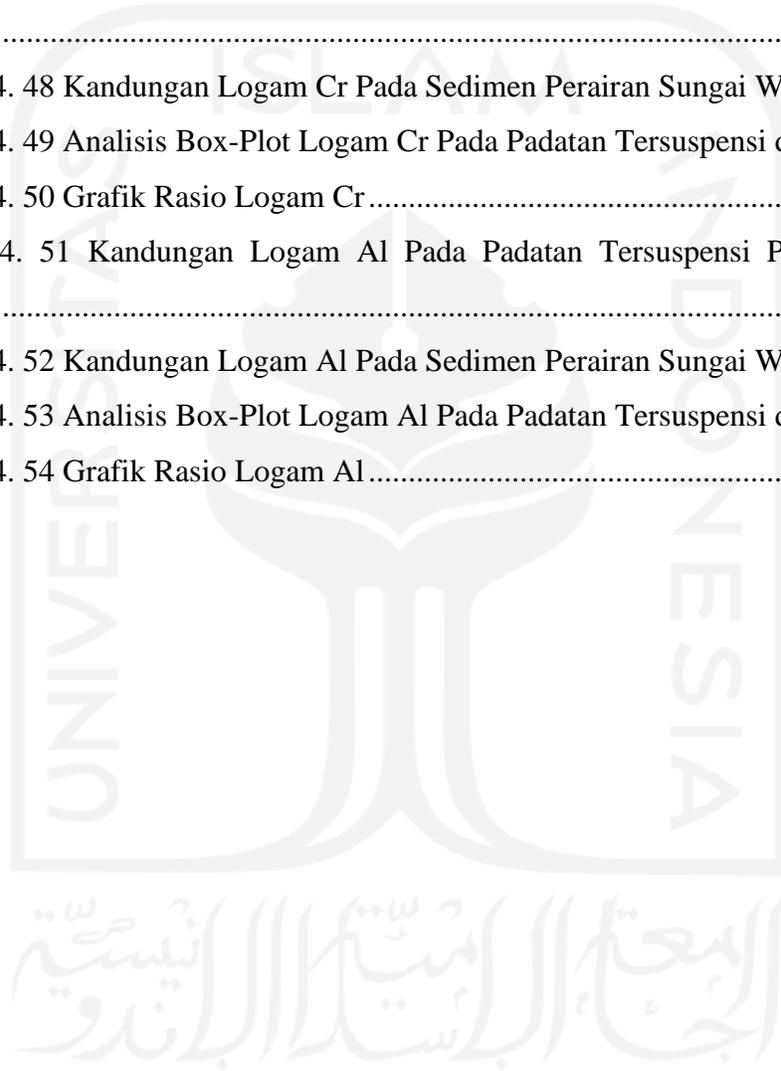
Tabel 3. 1 Koordinat Titik Sampling	22
Tabel 3. 2 Parameter Fisik & Kimia, Logam Berat Beserta Metode dan Acuannya ..	25
Tabel 3. 3 Nilai Latar Logam.....	27
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Sampling 1	80
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Sampling 2	81
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Sampling 3	82
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Keseluruhan Sampling	82
Tabel 4. 5 Nilai Korelasi Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen Tiap Periode Sampling	83
Tabel 4. 6 Nilai Korelasi Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen Keseluruhan.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Titik Sampling	23
Gambar 4. 1 Kondisi Titik Sampling 1	29
Gambar 4. 2 Kondisi Titik Sampling 2	30
Gambar 4. 3 Kondisi Titik Sampling 3	31
Gambar 4. 4 Kondisi Titik Sampling 4	31
Gambar 4. 5 Kondisi Titik Sampling 5	32
Gambar 4. 6 Kondisi Titik Sampling 6	33
Gambar 4. 7 Kondisi Titik Sampling 7	33
Gambar 4. 8 Kondisi Titik Sampling 8	34
Gambar 4. 9 Kondisi Titik Sampling 9	35
Gambar 4. 10 Kondisi Titik Sampling 10	35
Gambar 4. 11 Kondisi Titik Sampling 11	36
Gambar 4. 12 Kondisi Titik Sampling 12	37
Gambar 4. 13 Hasil Pengukuran Suhu	38
Gambar 4. 14 Diagram Box-Plot Suhu	38
Gambar 4. 15 Hasil Pengukuran TDS	40
Gambar 4. 16 Diagram Box-Plot TDS	41
Gambar 4. 17 Hasil Pengukuran Konduktivitas	43
Gambar 4. 18 Diagram Box-Plot Konduktivitas	43
Gambar 4. 19 Hasil Pengukuran pH	45
Gambar 4. 20 Diagram Box-Plot pH	46
Gambar 4. 21 Hasil Pengukuran ORP	47
Gambar 4. 22 Diagram Box-Plot ORP	48

Gambar 4. 23 Kandungan Logam Fe Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	50
Gambar 4. 24 Kandungan Logam Fe Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo	50
Gambar 4. 25 Analisa Box-Plot Logam Fe Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen.	51
Gambar 4. 26 Grafik Rasio Logam Fe	51
Gambar 4. 27 Kandungan Logam Mn Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	54
Gambar 4. 28 Kandungan Logam Mn Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo	54
Gambar 4. 29 Analisis Box-Plot Logam Mn Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	55
Gambar 4. 30 Grafik Rasio Logam Mn	55
Gambar 4. 31 Kandungan Logam Ni Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	58
Gambar 4. 32 Kandungan Logam Ni Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo	58
Gambar 4. 33 Analsia Box-Plot Logam Ni Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen.	59
Gambar 4. 34 Grafik Rasio Logam Ni	59
Gambar 4. 35 Kandungan Logam Cu Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	62
Gambar 4. 36 Kandungan Logam Cu Pada Sedimen Sungai Winongo.....	62
Gambar 4. 37 Analisis Box-Plot Logam Cu Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	63
Gambar 4. 38 Grafik Rasio Logam Cu	63
Gambar 4. 39 Kandungan Logam Cd Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	66
Gambar 4. 40 Kandungan Logam Cd Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo	66
Gambar 4. 41 Analisis Box-Plot Logam Cd Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	67
Gambar 4. 42 Grafik Rasio Logam Cd	67
Gambar 4. 43 Kandungan Logam Pb Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	70

Gambar 4. 44 Kandungan Logam Pb Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo.....	70
Gambar 4. 45 Analisis Box-Plot Logam Pb Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	71
Gambar 4. 46 Grafik Rasio Logam Pb.....	71
Gambar 4. 47 Kandungan Logam Cr Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	73
Gambar 4. 48 Kandungan Logam Cr Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo.....	74
Gambar 4. 49 Analisis Box-Plot Logam Cr Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	74
Gambar 4. 50 Grafik Rasio Logam Cr.....	75
Gambar 4. 51 Kandungan Logam Al Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo.....	76
Gambar 4. 52 Kandungan Logam Al Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo.....	77
Gambar 4. 53 Analisis Box-Plot Logam Al Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen	77
Gambar 4. 54 Grafik Rasio Logam Al.....	78



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	98
LAMPIRAN B	102
LAMPIRAN C	119



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Au	= Emas
Ag	= Perak
Al	= Aluminium
As	= Arsen
Ba	= Barium
Be	= Berilium
Ca	= Kalsium
Cu	= Tembaga
Co	= Kobalt
Cd	= Kadmium
Cr	= Cromium
DHL	= Daya Hantar Listrik
Fe	= Besi
Hg	= Merkuri
K	= Kalium
Km	= Kilometer
Li	= Litium
MCK	= Mandi Cuci Kakus
Mg	= Magnesium
Mn	= Mangan
Na	= Natrium

Ni	=	Nikel
ORP	=	<i>Oxidation Reduction Potensial</i>
Pb	=	Timbal
pH	=	Power of Hydrogen (Derajat Keasaman)
Rb	=	Rubidium
Se	=	Selenium
Sb	=	Antimon
SS	=	<i>Suspended Solid</i> (Padatan Tersuspensi)
Sr	=	Stronsium
Ti	=	Titanium
Te	=	Telurium
TDS	=	<i>Total Dissolved Solid</i>
TSS	=	<i>Total Suspended Solid</i>
U	=	Uranium
Va	=	Vanadium
Zn	=	Seng
°C	=	Derajat Celcius
<	=	Kurang dari
C-H	=	Karbon-Hidrogen

BAB I

PENDAHULUAN

Pada Bab Pendahuluan ini memuat latar belakang atau alasan kuat dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup penelitian, tujuan, dan manfaat penelitian.

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan jaringan pengaliran air yang bermula dari mata air hingga muara dengan dibatasi oleh garis sempadan. Sungai mengalir dari hulu ke hilir dengan kondisi kemiringan lahan yang curam menjadi agak curam, agak landai, dan relatif rata. Pada umumnya daerah hulu sungai memiliki kualitas air yang lebih baik daripada daerah hilir, hal ini disebabkan dari segi pemanfaatan lahannya, daerah hulu sungai relatif lebih sederhana dan bersifat alami seperti hutan dan pemukiman kecil, sedangkan daerah menuju hilir memiliki keragaman pemanfaatan lahan. Sejalan dengan hal tersebut, suplai limbah cair dari daerah hulu yang menuju daerah hilir pun menjadi meningkat. Pada akhirnya daerah hilir sungai menjadi tempat akumulasi dari proses pembuangan limbah cair (Wiwoho, 2005).

Sungai Winongo termasuk salah satu sungai penting yang berada di daerah Yogyakarta. Sungai Winongo memiliki panjang 43,75 km, luas daerah aliran sungai \pm 118 km², bermata air di Lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak. Sungai Winongo mengalir dari hulu ke hilir melalui tiga wilayah administrasi yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul (Widyastuti, 2009).

Sungai Winongo menjadi tempat pembuangan limbah yang berasal dari rumah tangga, aktivitas perkotaan, industri, maupun pertanian (Widyastuti, 2009). Adanya limbah dari kegiatan manusia (antropogenik) akan mencemari air sungai, baik itu limbah organik maupun anorganik. Polutan antropogenik seperti kandungan logam berat turut mencemari sungai. Beberapa logam berat banyak digunakan dalam berbagai

kegiatan, secara rutin diproduksi pada kegiatan industri. Secara alamiah logam berat sudah terdapat di alam yang bersumber dari pelapukan secara kimiawi bebatuan, debu yang mengandung logam dari aktivitas gunung berapi, erosi dan pelapukan tebing dan tanah.

Adanya logam berat pada badan air akan berbahaya terhadap kehidupan organisme, serta efek yang secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Seperti yang disebutkan oleh Mustafa *et al.* (2019), logam berat tidak dapat terurai dan berpotensi masuk ke rantai makanan dan terakumulasi di lingkungan. Logam berat merupakan salah satu polutan beracun yang dapat menyebabkan kematian (*lethal*), dan non-kematian (*sublethal*) seperti gangguan pertumbuhan, perilaku, dan karakteristik morfologi berbagai organisme akuatik (Effendi *et al.*, 2012).

Logam berat yang memasuki air sungai bereaksi dengan polimer organik atau mineral lempung, membentuk kompleks atau kelat, yang akhirnya terakumulasi dalam Padatan Tersuspensi (*Suspended Solid*). Logam berat dalam SS pada akhirnya akan memasuki sedimen melalui adsorpsi dan presipitasi, sehingga menjadi lebih stabil dan metalogenik (Islam *et al.*, 2015). Padatan tersuspensi bertindak sebagai pengikat transportasi logam berat dari air ke sedimen, komposisi dan sifatnya memainkan peran yang menentukan dalam kadar logam berat di sungai (Fu *et al.*, 2014; Kadhum *et al.*, 2015). Selain itu, SS juga mengakumulasi sejumlah besar logam berat, dapat menyebabkan risiko ekologi yang serius. Hasil penelitian yang dilakukan Aringstrom *et al* (2012) menunjukkan bahwa pengaruh SS pada distribusi logam di sungai sangat besar signifikan. Logam berat dalam air mudah bertransmisi dan terakumulasi pada organisme hewan yang memasuki rantai makanan (Zhuang *et al*, 2009a, 2009b).

Logam berat yang terakumulasi dalam sedimen dapat dilepaskan ke air melalui resuspensi sedimen, desorpsi, reaksi reduksi atau oksidasi, dan degradasi jaringan organik (Dong *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2013). Proses semacam itu meningkatkan konsentrasi logam terlarut yang mengancam ekosistem dan kesehatan manusia. Logam berat akan terakumulasi dalam tubuh biota air (ikan) yang nantinya ikan tersebut akan

dikonsumsi manusia. Secara keseluruhan, logam berat yang terkandung dalam air limbah yang masuk ke badan air (sungai) akan terdistribusi dalam berbagai fasa, yaitu air sungai, sedimen, air pori (*pore water*) dan padatan tersuspensi (*suspended solid*) berpartisipasi dalam migrasi dinamis dan proses transmisi yang berkelanjutan (Liao *et al.*, 2017). Hal tersebut menjalani serangkaian transformasi fisik, kimia dan biologis, menyebabkan risiko terhadap populasi biotik air.

Penelitian kali ini berfokus pada uji kandungan logam berat Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn pada padatan tersuspensi dan sedimen serta korelasinya. Hal ini dikarenakan logam berat tersebut merupakan logam berat yang sering atau mudah ditemukan pada badan air serta perlu diwaspadai apabila melebihi baku mutu, maka dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan biota air, ekosistem air, dan kesehatan manusia. Sampai saat ini, penelitian yang komprehensif tentang deteksi logam berat pada padatan tersuspensi (SS) dan sedimen serta hubungannya masih sedikit. Studi maupun monitoring kualitas air sungai terutama di Indonesia selama ini masih lebih difokuskan pada kandungan pencemar di fasa air sungai padahal padatan tersuspensi dan sedimen juga penting untuk dipantau. Selain itu, studi tentang kualitas air Sungai Winongo masih terbatas dibandingkan sungai lainnya di Yogyakarta. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk dapat melengkapi kekurangan tersebut dengan mengidentifikasi dan menghubungkan konsentrasi logam berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn) pada padatan tersuspensi (SS) dan sedimen di Sungai Winongo serta diharapkan dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk pengelolaan Sungai Winongo di masa yang akan datang terkait dengan kandungan logam tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian berikut:

1. Berapa konsentrasi logam berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn) pada padatan tersuspensi (SS) dan sedimen di Sungai Winongo?

2. Bagaimana hubungan antara tingkat konsentrasi logam berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn) pada padatan tersuspensi dan sedimen?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian dilakukan pada sepanjang Sungai Winongo (12 titik) yang tersebar dari hulu sampai hilir.
2. Pengambilan sampel padatan tersuspensi (SS) dan sedimen dilakukan pada bulan Desember 2020 sampai Februari 2021
3. Metode pengukuran logam berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, Mn) yang digunakan adalah Spektrometri Serapan Atom (SSA).
4. Metode korelasi yang digunakan yaitu menggunakan *Pearson Product Moment Correlation*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan konsentrasi logam berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, Mn) pada padatan tersuspensi (SS) dan sedimen di Sungai Winongo.
2. Menentukan hubungan antara tingkat konsentrasi logam berat (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn) pada padatan tersuspensi dan sedimen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang meliputi:

1. Memperoleh dan memberikan informasi kepada penduduk sekitar Sungai Winongo mengenai pencemaran logam berat di badan air sungai.
2. Meningkatkan perhatian Pemda Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul, masyarakat sekitar, dan industri sekitar aliran Sungai Winongo terkait penanganan dan pengolahan limbah domestik maupun industri.
3. Menjadi acuan terhadap penelitian selanjutnya di berbagai bidang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pustaka yang digunakan dalam bab ini merupakan acuan primer yang didapatkan dari berbagai macam sumber, seperti artikel jurnal dan paten yang relevan dengan bidang yang diteliti, terkini, dan asli (*state of art*).

2.1 Air Limbah

Air limbah adalah air buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi industri maupun domestik, yang terkadang kehadirannya pada suatu waktu dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Dalam konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama kesehatan manusia. Limbah cair baik domestik maupun non domestik mempunyai beberapa karakteristik sesuai dengan sumbernya, karakteristik limbah cair dapat digolongkan pada karakteristik fisik, kimia dan biologi (Metcalf & Eddy, 2003). Karakteristik air limbah ini sangatlah bervariasi, sehingga tergantung pada sumber air limbah tersebut. Adapun faktor waktu serta metoda pengambilan sampel juga berpengaruh pada karakteristik air limbah (Said, 2000).

2.1.1 Air Limbah Domestik

Menurut Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah adalah air sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan dan air limbah domestik adalah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Ada 3 jenis limbah domestik, yaitu limbah yang berupa sampah, limbah yang dihasilkan dari kegiatan MCK, kemudian limbah dari kotoran yang dihasilkan manusia.

2.1.2 Air Limbah Industri

Limbah industri merupakan segala jenis bahan sisa atau bahan buangan yang berasal dari hasil samping suatu proses perindustrian. Industri dan kegiatan lainnya yang mempunyai air buangan yang berbentuk cair dalam skala besar harus melakukan penanganan agar tidak berdampak pada lingkungan sekitar. Apabila limbah cair tersebut tidak dilakukan pengolahan dan langsung dibuang ke lingkungan (sungai) maka akan berdampak pada lingkungan sekitar karena jumlah polutan di dalam air sungai semakin tinggi. Limbah industri dapat menjadi limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan hidup dan manusia (Notoatmodjo, 2011).

2.2 Logam Berat di Padatan Tersuspensi dan Sedimen

Aktivitas manusia dapat meningkatkan konsentrasi logam menjadi lebih tinggi. Pertambangan dan pengolahan biji, limbah domestik, limbah air, limpasan air hujan dan pembuangan limbah industri merupakan sumber utama pencemaran logam berat. Pada beberapa kasus, logam berat terdapat secara alami dalam badan air pada tingkat dibawah ambang batas beracun, namun sifat logam yang tidak bisa didegradasi walaupun dalam konsentrasi rendah masih mungkin menimbulkan resiko kerusakan melalui penyerapan dan bioakumulasi oleh organisme (Savendra Y, 2004 dalam Joseph T, 2016).

Logam berat di badan air akan terakumulasi dalam padatan, terutama Padatan Tersuspensi dan Sedimen. Padatan tersuspensi merupakan partikel-partikel yang melayang dalam air, yang terdiri dari komponen hidup dan komponen mati. Komponen hidup terdiri dari fitoplankton, bakteri, fungi, dan sebagainya. Sedangkan komponen mati terdiri dari detritus dan partikel-partikel anorganik (Riyono, 1997 dalam Hutagulung *et al*, 1997). Padatan tersuspensi dapat diklasifikasikan menjadi zat padat terapung yang selalu bersifat organik dan zat padat terendap yang dapat bersifat organik dan anorganik.

Logam berat yang memasuki air sungai bereaksi dengan polimer organik atau mineral lempung, membentuk kompleks atau kelat, yang akhirnya terakumulasi dalam

dalam padatan tersuspensi. Logam berat dalam padatan tersuspensi pada akhirnya akan memasuki sedimen melalui adsorpsi dan presipitasi, sehingga menjadi lebih stabil dan metalogenik (Islam *et al.*, 2015). Padatan tersuspensi bertindak sebagai pengikat transportasi logam berat dari air ke sedimen, komposisi dan sifatnya memainkan peran yang menentukan dalam kadar logam berat di sungai (Fu *et al.*, 2014; Kadhum *et al.*, 2015). Selain itu, padatan tersuspensi juga mengakumulasi sejumlah besar logam berat, dapat menyebabkan risiko ekologi yang serius. Hasil penelitian yang dilakukan Aringstrom *et al* (2012) menunjukkan bahwa pengaruh padatan tersuspensi pada distribusi logam di sungai sangat besar signifikan. Logam berat dalam air mudah bertransmisi dan terakumulasi pada organisme hewan yang memasuki rantai makanan (Zhuang *et al*, 2009a, 2009b).

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat dalam badan air sungai termasuk pada padatan tersuspensi dan sedimen adalah jenis logam berat, jenis atau ukuran organisme, lama pemaparan, serta kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH, dan salinitas. Hasil penelitian Vernberg *et al* (1974) dalam Hutagalung (1991) menunjukkan bahwa kenaikan suhu, penurunan pH, dan penurunan salinitas perairan menyebabkan tingkat bioakumulasi semakin besar.

2.3 Logam Berat

Logam berat merupakan kelompok unsur logam yang memiliki massa jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 . Beberapa logam berat bersifat toksik meskipun dalam konsentrasi yang rendah (Duruibe *et al.*, 2007). Efek toksik yang disebabkan oleh logam berat terjadi karena logam tersebut akan berikatan dengan senyawa organik, seperti enzim dan protein. Logam berat akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim dalam proses metabolisme tubuh, sehingga proses metabolisme terputus. Di samping itu, logam berat bersifat tidak dapat dirombak atau dihancurkan oleh organisme hidup serta dapat terakumulasi dalam tubuh, akibatnya timbul permasalahan keracunan kronis.

Menurut Faisal & Nuraini (2010) ada beberapa tingkatan logam berat, yaitu:

1. Sangat beracun, dapat menyebabkan kematian atau gangguan kesehatan yang tidak pulih dalam waktu singkat. Adapun logam yang termasuk dalam kategori ini adalah Pb, Hg, Cd, Cr, As, Sb, Ti, dan U.
2. Moderat, dapat mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang dapat pulih maupun yang tidak dapat pulih dalam jangka waktu relatif lama. Adapun logam yang termasuk dalam kategori ini adalah Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Va, Co, dan Rb.
3. Kurang beracun, logam ini dalam jumlah yang besar dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Logam-logam yang termasuk dalam kategori ini adalah Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti, Zn.
4. Tidak beracun, yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan, misalnya Na, Al, Sr dan Ca.

Logam berat termasuk kontaminan lingkungan yang stabil dan selalu ada di lingkungan perairan karena merupakan komponen alami dari tanah. Akan tetapi, peningkatan kadar logam berat terjadi karena banyaknya logam berat yang dilepas ke lingkungan perairan akibat kegiatan industri. Melalui sungai, logam berat diangkut sebagai zat terlarut dalam air kemudian akan mengendap bersama sedimen di sungai atau meresap ke dalam tanah sehingga akan mencemari air bawah tanah, terutama air sumur. Makhluk hidup yang habitatnya berada di sepanjang aliran sungai memiliki potensi yang lebih besar terkontaminasi logam berat. Manusia akhirnya juga akan terkontaminasi logam berat melalui siklus rantai makanan (Duruibe *et al.*, 2007).

2.3.1 Logam Berat Cu (Tembaga)

Tembaga merupakan salah satu unsur logam transisi yang berwarna coklat kemerahan dan merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik (Sunardi, 2006). Logam berat Cu adalah salah satu logam berat yang termasuk bahan beracun dan berbahaya, namun logam ini merupakan logam yang banyak dimanfaatkan dalam industri, terutama industri elektroplating, tekstil, dan industri logam (alloy). Ion Cu(II)

dapat pula terakumulasi di otak, jaringan kulit, hati, pankreas, dan miokardium (Fitriyah dkk., 2013).

Keberadaan unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan. Logam Cu termasuk dalam kelompok logam esensial, yang mana dalam kadar rendah, logam ini dibutuhkan oleh organisme sebagai kofaktor enzim dalam proses metabolisme tubuh, sedangkan dalam kadar yang tinggi bersifat racun (Fitriyah dkk., 2013).

2.3.2 Logam Berat Cr (Kromium)

Kromium memiliki nomor atom 51,996 g/mol, titik leleh sebesar 1875 °C, titik didih sebesar 2658 °C. Ada dua cara logam Cr dapat masuk ke dalam badan air, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah logam ini masuk ke perairan melalui beberapa faktor fisika, seperti proses pengikisan (erosi) batuan mineral dari daerah tangkapan air di sekitar sungai, sedangkan masuknya Cr ke perairan secara non alamiah yaitu sebagai dampak atau efek dari aktivitas manusia seperti limbah sabun detergen maupun produk konsumen lainnya (Hidayah, Purwanto, & Soeprbowati, 2014).

2.3.3 Logam Berat Pb (Timbal)

Timbal (Pb) sebagai logam berat yang disebut timah hitam ini memiliki ciri-ciri morfologi berwarna abu-abu kebiruan dan mengkilat serta memiliki bilangan oksidasi +2, titik lebur rendah, mudah dibentuk dan dapat digunakan untuk melapisi logam agar tidak mudah karatan (Sunarya, 2007). Pb memiliki nomor atom 82 dan berat atom 207,20. Titik leleh Pb adalah 1740 °C dan memiliki massa jenis 11,34 g/cm³ (Widowati, 2008).

Pencemaran lingkungan perairan yang disebabkan oleh Pb berasal dari asap kapal motor, pembuangan limbah pabrik, baterai, cat, tekstil dan buruknya sanitasi makanan. Sumber pencemaran transportasi yaitu pembakaran bensin pada motor, mobil, truk, pesawat terbang menghasilkan pencemaran ke udara dan partikel dari penggunaan ban menghasilkan pancaran ke udara, tanah dan air (Munandar & Eurika, 2016). Timbal

adalah logam berat yang terdapat secara alamiah di dalam kerak bumi dan tersebar ke alam dalam jumlah kecil melalui proses alami. Timbal dalam keseharian lebih dikenal sebagai timah hitam. Timbal terakumulasi di lingkungan, tidak dapat terurai secara biologis dan toksisitasnya tidak berubah sepanjang waktu. Timbal bersifat toksik jika terhirup atau tertelan oleh manusia dan di dalam tubuh akan beredar mengikuti aliran darah, diserap kembali di dalam ginjal dan otak, dan disimpan di dalam tulang dan gigi (Cahyadi, 2004).

2.3.4 Logam Berat Ni (Nikel)

Nikel adalah unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras.

Sebagian besar dari nikel yang digunakan untuk produksi *stainless steel* dan paduan nikel lainnya dengan korosi tinggi dan tahan suhu. *Plating* nikel digunakan di kendaraan, mesin pengolahan, persenjataan, peralatan, peralatan listrik, peralatan rumah tangga dan mata uang. Senyawa nikel juga digunakan sebagai katalis, pigmen dan dalam baterai (Fernanda, 2012).

2.3.5 Logam Berat Cd (Kadmium)

Kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik. Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Palar, 2004).

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang paling banyak ditemukan pada lingkungan, khususnya lingkungan perairan, serta memiliki efek toksik yang tinggi,

bahkan pada konsentrasi yang rendah (Almeida *et al*, 2009). Kadmium diketahui memiliki waktu paruh yang panjang dalam tubuh organisme hidup dan umumnya terakumulasi di dalam hepar dan ginjal (Flora, 2009; Patrick, 2003). Pada manusia, kadmium dapat bersifat karsinogenik, merusak kelenjar endokrin, sistem kardiovaskular dan juga terdapat pada sistem saraf yang memicu kerusakan neurologis dan berasosiasi dengan kanker paru-paru, prostat, pankreas dan ginjal (Bobocea *et al.*, 2008; Flora, 2009).

2.3.6 Logam Berat Al (Aluminium)

Aluminium (Al) merupakan salah satu hasil buangan limbah yang berasal dari industri. Logam ini biasa digunakan pada proses pengolahan air limbah sebagai bahan penggumpal dan dalam pemurnian air minum. Keberadaan logam Al di badan air dapat membahayakan organisme-organisme serta pada kadar tertentu dapat merusak organ-organ tertentu seperti insang serta mematikan organisme. Aluminium merupakan sumber keasaman air dikarenakan Al^{3+} hidrolisis menghasilkan ion H^+ . Reaksi yang bersifat asam terutama disebabkan oleh curah hujan tinggi dapat mengakibatkan basa-basa mudah tercuci, di samping itu hasil dekomposisi mineral aluminium silikat akan membebaskan ion aluminium (Al^{3+}). Ion tersebut dapat diserap kuat oleh koloid tanah dan bila dihidrolisis akan menyumbangkan ion H^+ akibatnya tanah bersifat asam. Tanah bersifat asam disebabkan oleh ion Al^{3+} dominan dan mudah dihidrolisis. Rendahnya pH air di rawa-rawa menyebabkan hanya beberapa jenis ikan saja yang bisa hidup, seperti kelompok ikan yang memiliki alat pernafasan tambahan berupa labyrinth (Huri, 2010).

Aluminium (Al) merupakan jenis logam yang paling melimpah, meliputi 8% kerak bumi dan sering diperoleh dalam batuan dan mineral dalam bentuk aluminosilicate (Na_3AlF_6). Toksisitas Al diperkirakan bermacam-macam sebagai fungsi dari aktivitas Al^{3+} bebas. Air yang kaya akan Al dalam kondisi asam juga mempengaruhi kesetimbangan ion dan air didalam tubuh organisme. Meskipun sensitivitas suatu organisme terhadap keasaman dan konsentrasi Al sangat bervariasi,

gangguan terhadap regulasi ion normal pada tubuh suatu organisme adalah efek toksik yang terpapar pada pH rendah dan konsentrasi Al (Ihsan, 2014).

2.3.7 Logam Berat Fe (Besi/*Ferrum*)

Logam Besi atau *Ferrum* (Fe) merupakan logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. *Ferrum* di dalam susunan unsur berkala termasuk golongan VIII, dengan berat atom $55,85 \text{ g/mol}^{-1}$, nomor atom 26, berat jenis $7,86 \text{ g/cm}^{-3}$ dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, 6). Besi biasa digunakan dalam proses produksi besi baja, yang bukan hanya unsur besi saja tetapi dalam bentuk alloy (campuran beberapa logam dan bukan logam, terutama karbon). Logam besi terdapat dalam tiga bentuk, yaitu α -iron (alpha-iron), γ -iron (gamma-iron), dan δ -iron (deltairon). Perbedaan yang dimiliki dari setiap bentuk tersebut adalah dari susunan atom-atom pada sisi kristal. Besi murni diperoleh dari proses elektroforesis dari larutan besi sulfat. Besi terdapat di alam dalam bentuk senyawa, misalnya pada mineral hematite (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), pirit (FeS_2), siderite (FeCO_3), dan limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Annisa *et al.*, 2013).

2.3.8 Logam Berat Mn (Mangan)

Logam Mangan (Mn) tidak terdapat dalam keadaan bebas di lingkungan, tetapi selalu bersenyawa dengan unsur lain seperti oksigen, sulfur, dan klorin. Mangan merupakan komponen alami di lingkungan sehingga mangan dapat dijumpai dimanapun, baik di air, tanah, udara, dan di dalam tubuh mikroorganisme (Setiawan, 2007).

Mangan (Mn) merupakan kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi. Mangan berada pada bentuk manganous (Mn^{2+}) dan manganik (Mn^{4+}). Di dalam tanah, Mn^{4+} berbentuk senyawa mangan dioksida. Pada perairan dengan kondisi anaerob akibat dekomposisi bahan organik dengan kadar yang tinggi, Mn^{4+} mengalami reduksi Mn^{2+} yang bersifat larut. Jika dalam perairan mengalami aerasi yang cukup,

Mn^{2+} akan mengalami reoksidasi membentuk Mn^{4+} dan mengalami presipitasi dan mengendap di dasar perairan (Effendi, 2003 dalam Damanik, 2017).

2.4 Indikator Pencemaran Perairan

Berikut merupakan indikator yang dapat dijadikan patokan untuk menilai bahwa suatu perairan tersebut tercemar atau tidak.

2.4.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Suhu merupakan suatu bentuk ukuran energi gerakan molekul. Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam proses kehidupan dan penyebaran organisme. Proses kehidupan yang vital secara kolektif disebut metabolisme, hanya dapat berfungsi di dalam kisaran suhu yang relatif sempit, sekitar 0-40 °C. Suhu pada perairan dipengaruhi oleh musim, sirkulasi udara, penutupan awan, lintang, ketinggian dari permukaan laut, waktu dalam hari, aliran dan kedalaman badan air.

Suhu memiliki pengaruh penting terhadap proses fisika, kimia, dan biologi di perairan apabila terjadi perubahan serta memiliki peran dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Menurut Pratiwi, *et al* (2013), adanya gabungan suhu air serta salinitas akan mempengaruhi peningkatan akumulasi logam berat pada air. Suhu yang semakin tinggi di perairan maka cenderung dapat meningkatkan kelarutan dan akumulasi logam berat. Sedangkan suhu yang semakin rendah (dingin) akan memudahkan logam mengendap di sedimen.

b. *Total Dissolve Solid* (TDS)

Total Dissolve Solid (TDS) merupakan padatan terlarut total yang dapat dijadikan acuan dalam mengukur kandungan material padatan di perairan.

Dalam Mukhtasor (2007) menyatakan kandungan material padatan di perairan dapat diukur berdasarkan padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid* (TDS)) dan padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid* (TSS)). TDS mengandung berbagai

zat terlarut (baik itu zat organik, anorganik, atau material lainnya) dengan diameter $< 10^{-3}$ μm yang terdapat pada sebuah larutan yang terlarut dalam air.

Sumber utama masuknya TDS ke badan air yaitu berasal dari limbah pertanian, limbah domestik, dan limbah industri. Apabila konsentrasi TDS dalam air tinggi, maka akan menimbulkan dampak yang berbahaya karena dapat menyebabkan perubahan pada salinitas, komposisi ion-ion, dan meningkatnya toksisitas masing-masing ion.

Menurut Ganiyu *et al* (2021), konsentrasi TDS dalam air memiliki hubungan yang erat dengan hadirnya logam berat, hal ini dikarenakan ketika kadar TDS meningkat dalam perairan, maka akan menyebabkan konsentrasi logam berat meningkat.

2.4.2 Parameter Kimia

a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat Keasaman (pH) merupakan ukuran asam atau basa suatu larutan maupun perairan. Tingkat keasaman atau basa suatu zat, larutan, atau benda dinyatakan dalam derajat keasaman atau pH. pH memiliki rentang nilai 0-14. Secara umum pH normal memiliki nilai 7, jika nilai $\text{pH} < 7$ memiliki sifat asam, dan untuk nilai $\text{pH} > 8$ memiliki sifat basa. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, sedangkan pH 14 menunjukkan derajat tingkat basa paling tinggi (Tri Joko, 2010).

pH memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap hewan dan tumbuhan akuatik dimana sering kali digunakan sebagai petunjuk yang menyatakan baik atau buruknya kondisi suatu perairan bagi lingkungan hidup. Menurut Hasim (2015), pH dibawah 4 dan diatas 4 dapat menyebabkan kematian pada ikan di perairan tersebut.

b. Konduktivitas (Daya Hantar Listrik)

Konduktivitas merupakan ukuran terhadap konsentrasi total elektrolit didalam air. Kandungan elektrolit yang pada prinsipnya merupakan garam-garam terlarut dalam air, berkaitan dengan kemampuan air di dalam menghantarkan arus listrik. Semakin banyak garam-garam yang terlarut semakin baik daya hantar listrik air tersebut. Air

suling yang tidak mengandung garam-garam terlarut dengan demikian bukan merupakan penghantar listrik yang baik. Selain dipengaruhi oleh sejumlah garam terlarut, konduktivitas juga dipengaruhi oleh nilai temperatur. (Zullazar, 2015 dalam Primawati, 2016).

Menurut Popek (2018), semakin tinggi konsentrasi ion dalam air, maka semakin tinggi pula konduktivitasnya. Ketika mengukur konduktivitas sampel air, maka secara tidak langsung peneliti juga mengukur konsentrasi garam, basa, dan asam terlarut. Konduktivitas bergantung pada suhu air, apabila suhu tinggi, maka akan membuat bentuk air berbeda sehingga menyebabkan perubahan kecepatan dimana ukuran dan ion muatan yang berbeda bergerak dalam air.

Menurut Arifonang (2014), apabila nilai konduktivitas perairan rendah yang diakibatkan oleh resistivitas yang tinggi, maka akan menyebabkan konsentrasi logam berat menjadi turun.

c. *Oxidation Reduction Potensial (ORP)*

ORP merupakan pengukuran kekuatan dari oksidasi atau reduksi pada suatu larutan. Reaksi oksidasi dan reduksi melibatkan pertukaran elektron. Selain menjadi ukuran dari aktivitas elektron, ORP adalah ukuran kapasitas antioksidan dari larutan. (Carpenter, 2009). ORP diukur dengan satuan volt (V) atau milivolt (mV). Hasil penelitian yang dilakukan Suksma, *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 banyak 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 karena itu, ketika nilai ORP tinggi maka akan menyebabkan kadar logam berat menurun.

2.5 Sungai Winongo

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai penting yang berada di daerah Yogyakarta, mempunyai bentuk memanjang, dengan panjang 43,75 km, luas daerah aliran sungai $\pm 118 \text{ km}^2$, bermata air di Lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak. Sungai Winongo mengalir dari hulu ke hilir melalui tiga wilayah administrasi yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul (Widyastuti, 2009).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Winongo terletak di tiga wilayah administratif kabupaten/kota di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu :

1. Kabupaten Sleman = Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, dan Kecamatan Mlati.
2. Kota Yogyakarta = Kecamatan Tegalrejo, Kecamatan Gedongtengen, Kecamatan Mantirejon, Kecamatan Wirobrajan dan Kraton (batas).
3. Kabupaten Bantul = Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis dan Kecamatan Kretek.

(BPLH, 2014).

Sungai Winongo memiliki 3 hulu, yaitu Sungai Deggung, Sungai Doso, dan Sungai Duren yang keberadaannya berada di wilayah Kecamatan Turi dan baru menjadi nama Sungai Winongo ketika sudah memasuki Kecamatan Mlati. Ditengah aliran sungai yang masuk ke kota ada aliran sungai kecil yang juga masuk ke dalam Sungai Winongo yang disebut dengan Sungai Buntung.

DAS Winongo erat kaitannya dengan aktivitas manusia, masing-masing daerah lintasan dari sungai tersebut dipengaruhi oleh kondisi penggunaan lahannya yang memberikan masukan limbah dengan kandungan bahan organik yang beragam sehingga peluang terhadap penurunan kualitas air sungai (Sari, 2014).

Menurut penelitian Handayani (2014), telah diketahui bahwa hasil uji Kromium (Cr) pada air Sungai Winongo di Yogyakarta yaitu sama pada tiga titik sampling sebesar $< 0,0213 \text{ mg/L}$ (Tabel 2.1). Hal ini menunjukkan bahwa kadar Cr pada Sungai Winongo masih dibawah ambang batas yang telah ditetapkan pada Peraturan

Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, yaitu sebesar 0,05 mg/L.

Tabel 2. 1 Hasil Uji Kromium (Cr) Air Sungai Winongo

Titik Sampling	Satuan	Hasil	PP No.82 Tahun 2001
I	mg/L	<0,0213	0,05
II	mg/L	<0,0213	0,05
III	mg/L	<0,0213	0,05

Adapun hasil pemantauan Sungai Winongo oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta (2019) menunjukkan bahwa terdapat kandungan logam berat seperti Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dengan masing-masing konsentrasi sebesar 0,27 mg/L dan 0,08 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kadar Fe dan Mn pada Sungai Winongo melebihi ambang batas yang telah ditetapkan pada Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001, yaitu sebesar 0,05 mg/L.

2.6 Analisis Logam Berat

Analisis logam berat yang dilakukan berupa destruksi dan pengukurannya menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

2.6.1 Destruksi

Menurut Kristianingrum, (2012). Destruksi merupakan suatu perlakuan sampel dengan tujuan untuk memecah senyawa menjadi unsur sehingga dapat dianalisis atau dapat disebut juga dengan perombakan dimana terdapat perubahan bentuk dari logam organik menjadi bentuk logam anorganik.

Ada dua jenis destruksi yang dapat dilakukan, yaitu metode destruksi basah dan destruksi kering. Destruksi basah merupakan destruksi yang prosesnya menggunakan pereaksi asam untuk mendekomposisi sampel, sedangkan destruksi kering merupakan destruksi yang dilakukan menggunakan pemanasan

atau penghancuran dengan memakai suhu yang sangat tinggi sekitar 400-800 °C. Pelarut yang dapat digunakan dalam proses destruksi yaitu, asam sulfat, asam nitrat, asam klorida, dan asam perklorat. Setelah proses destruksi dilakukan, diharapkan yang tersisa hanya logam-logam dengan bentuk ion.

Asam Nitrat (HNO_3) sering digunakan untuk mempercepat proses destruksi karena merupakan oksidator yang cukup kuat. Fungsi penambahan HNO_3 adalah untuk memutus ikatan senyawa kompleks pada organologam. Adanya pemanasan pada proses destruksi akan mempercepat pemutusan ikatan organologam menjadi anorganik dengan bantuan asam nitrat yang mempunyai sifat sebagai oksidator kuat (Wulandari, 2013).

2.6.2 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*). Penyerapan ini mengakibatkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Keadaan ini dapat bersifat labil, elektron akan kembali ke tingkat energi dasar sambil mengeluarkan energi yang berbentuk radiasi. Dalam SSA, atom bebas berinteraksi dengan berbagai bentuk energi, seperti energi panas, elektromagnetik, kimia, serta energi listrik. Interaksi ini menimbulkan proses-proses dalam atom bebas yang menghasilkan absorpsi dan emisi (pancaran) radiasi dan panas. Radiasi yang dipancarkan bersifat khas karena memiliki panjang gelombang yang berbeda untuk setiap atom bebas (Basset, 1994).

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan teknik analisa kuantitatif dari unsur-unsur yang pemakaiannya sangat luas karena prosedurnya selektif, spesifik, biaya analisa relatif murah, sensitif tinggi (ppm-ppb), dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai dengan standar, waktu analisa yang cepat dan mudah. Alat SSA mampu mengukur sebanyak 61 logam. Sumber cahaya pada alat SSA berasal dari lampu katoda yang sesuai dengan elemen logam yang sedang diukur kemudian dilewatkan ke dalam nyala api yang berisi sampel, kemudian radiasi tersebut diteruskan

ke detektor melalui monokromator. *Chopper* digunakan untuk membedakan radiasi yang berasal dari nyala api. Detektor akan menolak arah searah arus (DC) dari emisi nyala dan hanya mengukur arus bolak-balik dari sumber radiasi atau sampel. Atom dari suatu unsur pada keadaan dasar akan dikenai radiasi sehingga atom tersebut akan menyerap energi dan mengakibatkan elektron pada kulit terluar naik ke tingkat energi yang lebih tinggi atau tereksitasi. Atom-atom dari sampel akan menyerap sebagian sinar yang dipancarkan oleh sumber bahaya. Penyerapan energi cahaya terjadi pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom tersebut (Basset, 1994).

2.6.3 Korelasi *Pearson Product Moment*

Analisis korelasi adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk menentukan suatu besaran yang menyatakan seberapa kuat hubungan satu variabel dengan variabel lainnya tanpa mempersoalkan apakah satu variabel tertentu bergantung terhadap variabel lain (Sekaran, 2010). Ada dua jenis teknik korelasi yang sering digunakan atau populer di dalam dunia statistik, yaitu Korelasi *Pearson Product Moment* dan Korelasi *Rank Spearman*. Korelasi *Pearson* merupakan teknik korelasi sederhana dengan hanya melibatkan satu variabel terikat (*dependent*) dan satu variabel bebas (*independent*) dengan asumsi bahwa data terdistribusi normal.

Koefisien korelasi ini pertama kali diperkenalkan oleh Karl Pearson pada tahun 1990 (Firdaus, 2009). Korelasi *Pearson* menghasilkan nilai koefisien korelasi yang memiliki fungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan kedua variabel tidak linier, maka nilai koefisien korelasi *Pearson* tersebut tidak mencerminkan kekuatan hubungan kedua variabel yang diteliti, walaupun kedua variabel mempunyai hubungan kuat.

2.6.4 IBM SPSS

Statistical Product and Service Solution (SPSS) merupakan aplikasi program statistik dengan kemampuan perhitungan statistik yang tinggi, sehingga memudahkan

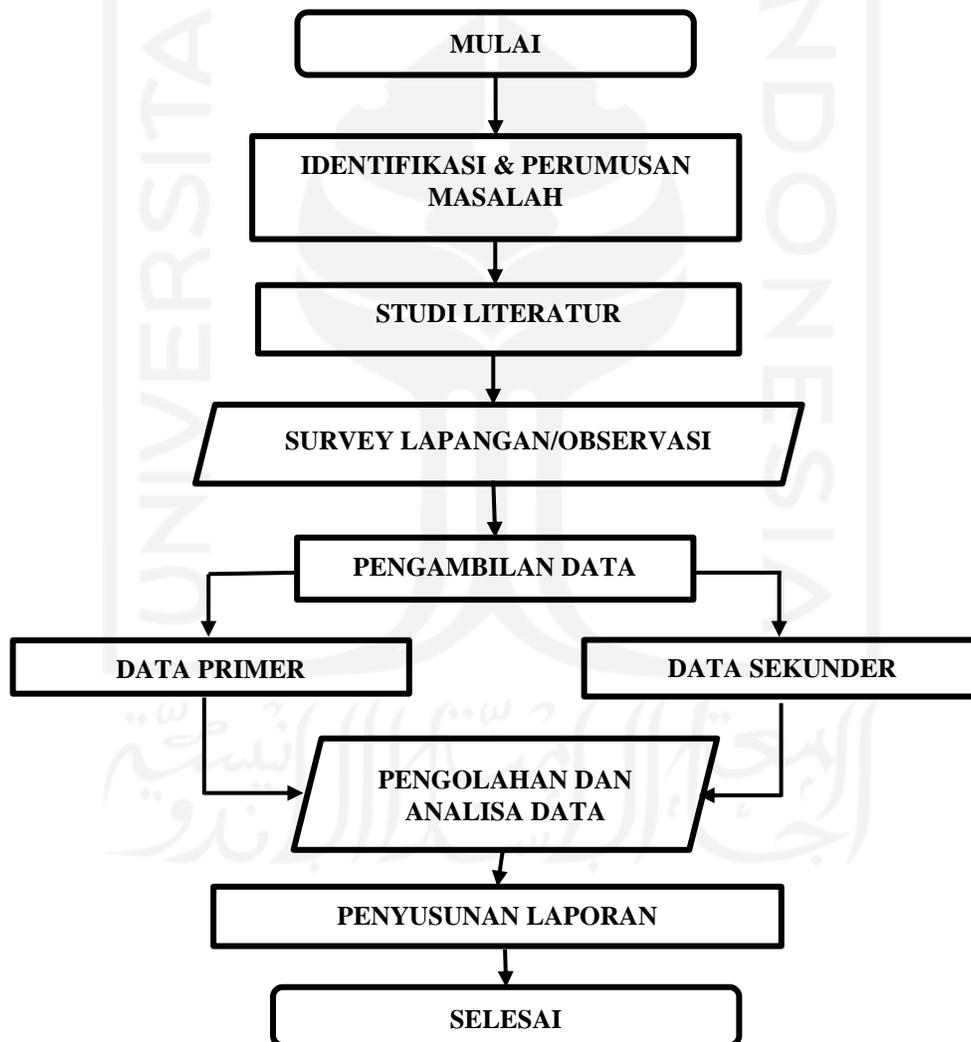
pengguna dalam analisis data (Riyanto, 2018). Aplikasi ini menjadi sangat populer karena memiliki bentuk pemaparan data yang sangat baik (berbentuk grafik dan tabel), bersifat dinamis (mudah dilakukan perubahan data dan *update* analisis), serta mudah dihubungkan dengan aplikasi lain (misalnya ekspor/impor data ke/dari Ms. Excel



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan bagan/diagram alir proses penelitian dari awal penelitian hingga akhir penelitian yang dijelaskan pada Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

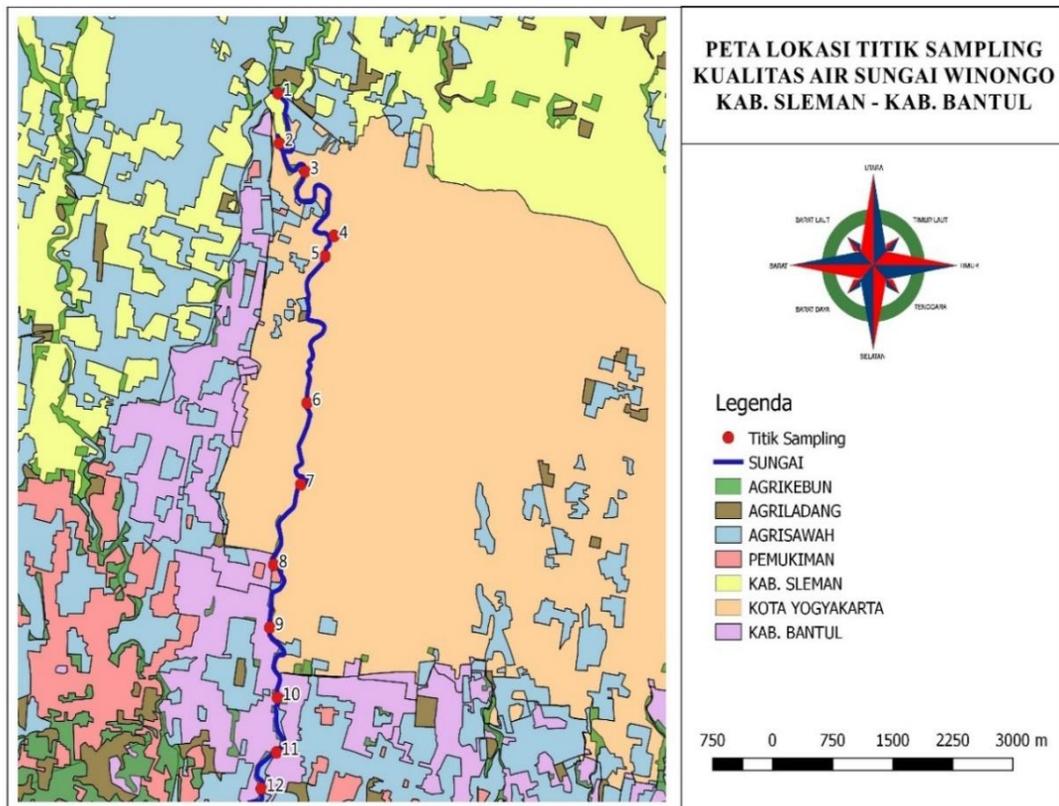
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Sungai Winongo dari Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, hingga Kabupaten Bantul yang dilaksanakan pada bulan Oktober 2020 sampai dengan April 2021. Sampel yang dianalisa adalah padatan tersuspensi dan sedimen pada Sungai Winongo dengan 12 titik pengambilan sampel dan dilakukan sebanyak 3 kali. Sampling dilakukan 3 kali sebagai upaya monitoring dan evaluasi serta untuk melihat konsentrasi logam dalam kurun waktu tersebut. Pemilihan lokasi titik sampling mewakili bagian hulu dengan perkiraan beban kegiatan dari aktivitas rumah tangga atau kegiatan industri yang masih kecil, bagian tengah dan hilir yang intensitas kegiatannya tinggi. Selain pertimbangan tersebut, pemilihan titik juga memperhitungkan keselamatan dan kemudahan akses pengambilan sampel. Sampling pertama dilaksanakan pada tanggal 7-8 Desember 2020. Sampling kedua dilaksanakan pada tanggal 19-20 Januari 2021. Sampling ketiga dilaksanakan pada tanggal 8-9 Februari 2021 dengan rentang waktu ketiga kali pengambilan sampel yaitu dari pukul 07:00 hingga 15:00 WIB. Sampel yang didapatkan selanjutnya diperiksa di Laboratorium Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Koordinat Titik Sampling

Titik Sampling	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lokasi
1	7°45'58.11"S	110°21'6.50"E	Jembatan Jambon
2.	7°46'16.61"S	110°21'7.06"E	Panggungan
3.	7°46'27.02"S	110°21'17.41"E	Jembatan Jatimulyo
4.	7°46'50.80"S	110°21'29.14"E	Bumi Ijo, Kec. Jetis
5.	7°46'58.38"S	110°21'25.44"E	Jembatan Kyai Mojo
6.	7°47'52.53"S	110°21'18.20"E	Jembatan Merah, Ngampilan
7.	7°48'22.67"S	110°21'15.67"E	Ngampilan
8	7°48'52.33"S	110°21'4.70"E	Kec. Mantrijeron
9.	7°49'15.54"S	110°21'3.17"E	Kec. Mantrijeron
10.	7°49'41.41"S	110°21'6.26" E	Jembatan Winongo, Dongkelan
11.	7°50'1.67"S	110°21'5.84"E	Jogonalan Kidul
12.	7°50'15.07"S	110°20'59.72"E	Tirtomalan, Bantul

Untuk lebih jelasnya berikut peta lokasi titik sampling kualitas air Sungai Winongo pada Gambar 3.2 yang dibuat menggunakan aplikasi *Quantum GIS* versi 2.18 dengan data peta yang didapat melalui *website* Inageoportal.



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Titik Sampling

Sumber : Dibuat menggunakan software QGIS 2.8

3.3 Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, karena penelitian ini mencakup survey, pengambilan sampel, analisis sampel, analisis laboratorium, dan pengolahan data menggunakan analisis statistika.

Dalam penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu Variabel Utama dan Variabel Pendukung. Variabel Utama yang dimaksud yaitu Logam Berat yang berupa Kadmium (Cd), Besi (Fe), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Aluminium (Al), Nikel (Ni),

Krom (Cr), dan Mangan (Mn). Untuk Variabel Pendukungnya yaitu Suhu, pH, Konduktivitas, TDS, dan ORP.

3.4 Alat dan Bahan

Alat sampling yang digunakan pada penelitian ini yaitu Jerigen (1L), Kantong Ziplock, *Coolbox*, Meteran, *Multi-Parameter Water Quality Meter Horiba* sebagai alat pengukuran *in-situ* untuk parameter pendukung berupa TDS, pH, ORP, suhu, dan DHL. Sedangkan alat pada saat pengujian di laboratorium adalah Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), gelas beaker (100 mL, Erlenmeyer (250 mL), corong kaca, pipet ukur (10 mL), gelas ukur (100 mL), kaca arloji, *hotplate*, desikator, oven (103-105 °C), timbangan analitik, penjepit, pinset, dan sendok sungs.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sampel air sungai, es batu, aquades, HNO₃, HClO₄, Kertas Saring Whatmann Grade 934 AH 1,5 μm, Gelman type A/E 1,0 μm, E-D Scientific Specialitis Grade 161 1,1 μm, Saringan 0,45 μm, HClO₄ dan larutan standar logam Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, dan Mn.

3.5 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel padatan tersuspensi dalam air Sungai Winongo dan Sedimen dilakukan di dua belas titik sampling sebanyak 3 kali yaitu pada bulan Desember 2020, Januari 2021, dan Februari 2021. Jumlah sampel padatan tersuspensi dalam air sungai sebanyak 1 Liter ke dalam derigen yang sudah disterilkan dan dimasukkan ke dalam *coolbox*. Kemudian diawetkan dengan asam nitrat ketika sampai di Laboratorium. Pengambilan sampel sedimen menggunakan *grab sampler* dan sekop, kemudian sedimen diawetkan di dalam *coolbox*. Pengukuran parameter fisik dan kimia dilakukan secara *in-situ* (secara langsung di lapangan) menggunakan alat multimeter. Analisa logam berat dilakukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Laboratorium Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Parameter fisik dan kimia, logam berat, alat/metode dan acuannya disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Parameter Fisik & Kimia, Logam Berat Beserta Metode dan Acuannya

Parameter	Metode/Alat	Acuan	Pengukuran
Logam Berat			
Cu	AAS	SNI 6989.6:2009	Laboratorium
Cr	AAS	SNI 6989.17:2004	Laboratorium
		Krom Total	
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
Kimia			
Konduktivitas (DHL)	<i>Conductivity Meter</i>	SNI 6989.1-2019	<i>In Situ</i>
pH	pH Meter/pH indikator	SNI 6989.11-2004	<i>In Situ</i>
ORP	ORP Meter	-	<i>In Situ</i>
Fisika			
Temperatur/Suhu	Termometer	SNI 6989.23-2005	<i>In Situ</i>
TDS	Gravimetri	SNI 6989.27-2019	

3.6 Prosedur Kerja

Prosedur kerja dalam penelitian ini yaitu meliputi preparasi sampel, dan penentuan konsentrasi logam berat pada padatan tersuspensi dan sedimen.

3.6.1 Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan berupa observasi pada lokasi penelitian untuk menentukan titik sampling, akses jalan menuju titik sampling, dan waktu pengambilan sampel. Selain itu dilakukan juga persiapan alat dan bahan yang akan dibawa saat sampling.

3.6.2 Tahap Pengambilan dan Preparasi Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 12 titik di Sungai Winongo yang berada pada Kab. Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kab. Bantul. Teknik sampling yang digunakan yaitu *purposive sampling*, dimana pengambilan atau penentuan sumber data atas adanya tujuan tertentu bukan didasarkan atas strata, random, atau daerah

(Arikunto, 2013). Sampel diambil dengan derigen, kemudian segera dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Berdasarkan jenis data yang dibutuhkan, maka tahap pengumpulan data dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari observasi (hasil pengamatan serta pengukuran langsung di lapangan dan pengukuran di laboratorium). Data primer berupa data parameter lapangan (Suhu, pH, Konduktivitas, TDS, dan ORP), dan data parameter laboratorium (Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Al, Fe, Mn).

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang dapat memenuhi penelitian ini. Data tersebut berupa data debit, lebar, panjang, dan kedalaman Sungai Winongo serta data BMKG DIY, Peta Per Wilayah Inageoportal

3.6.3 Penentuan Konsentrasi Logam Berat

Pengukuran logam berat dilakukan dengan menggunakan metode SSA (Spektrofotometri Serapan Atom), selanjutnya dihitung dengan formula:

$$\text{Logam Berat (ppm)} = \frac{\text{Conc} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \right) \times fp \times \left(\frac{10}{1000} \right)}{W(\text{gr}) \times 1000}$$

Keterangan:

Fp = Faktor Pemekatan

W = Berat sampel (gr)

3.7 Analisis Data

Data konsentrasi logam berat di setiap titik sampling selanjutnya akan diolah dengan statistik deskriptif dan ditampilkan dalam bentuk *box-whiskers plot*. Dengan adanya *box-whiskers plot* dapat diketahui tingkat penyebaran data dengan dilihat dari panjang box. Selain itu, box-plot juga dapat digunakan untuk menilai kesimetrisan

data. Apabila simetris, maka garis median akan berada di tengah box dan whisker 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 yang lainnya (Junaidi, 2014). Konsentrasi setiap titik sedimen akan dibandingkan juga dengan standar baku mutu yang ada. Dikarenakan Indonesia tidak memiliki standar baku mutu dari negara lain, pada *Ontarion Miinistry of Environmental and Energy* tentang *Guidelines for the protection and Management of Aquatic Sediment*.

Dalam menentukan tingkat pencemaran, digunakan Igeo dengan rumus persamaan sebagai berikut.

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times B_n)]$$

Dimana C_n merupakan konsentrasi logam n dalam sampel sedimen dan B_n merupakan konsentrasi logam n dalam sedimen latar atau nilai acuan. Nilai latar dapat diukur atau diambil dari pustaka untuk data latar sedimen (Tabel 3.3). Faktor 1,5 digunakan karena kemungkinan adanya variasi nilai dalam latar seperti adanya pengaruh antropogenik.

Tabel 3. 3 Nilai Latar Logam

Logam	Background ($\mu\text{g/g}$)
Al	25.000
Fe	3,12
Cr	35
Cd	1,1
Cu	400
Mn	31
Ni	25
Pb	23

(Sumber: A. Hayton, 1993).

Data logam berat pada padatan tersuspensi dan sedimen yang didapatkan akan dikorelasikan menggunakan software *SPSS Statistics* versi 22,0. Untuk mencari nilai

normal menggunakan metode *Saphiro Wilk Test* dan mencari nilai korelasi menggunakan metode *Korelasi Pearson Product Moment*.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV memuat hasil dan pembahasan dari penelitian ini yang berupa deskripsi daerah penelitian, konsentrasi logam berat, dan hubungan konsentrasi logam berat pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen di Sungai Winongo.

4.1 Deskripsi Daerah Penelitian

Lokasi pengambilan titik sampling terbagi menjadi 12 titik sampel yang mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir.

4.1.1 Titik Sampling 1 (Jembatan Jambon)

Lokasi titik sampling 1 terletak tepat dibawah Jembatan Jambon, Panggungan, Trihanggo, Kec. Gamping, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi pada pinggir sungai dipenuhi vegetasi liar dan kondisi air sungai keruh berwarna ke abu-abuan. Terdapat percabangan sungai pada bagian utara aliran sungai ini. Ditemukan banyak warga yang sedang memancing sebagai mata pencaharian maupun konsumsi pribadi. Terlihat juga banyak sampah yang menumpuk di pinggiran sungai yang terbawa oleh arus maupun yang dibuang sengaja ke sungai oleh warga. Pada titik ini terdapat beberapa *point source* berupa pipa pembuangan limbah dari pemukiman sekitar dan ditemukan beberapa bengkel serta industri percetakan di sekitar titik sampling.



Gambar 4. 1 Kondisi Titik Sampling 1

4.1.2 Titik Sampling 2 (Panggungan)

Lokasi titik sampling 2 berada di anak Sungai Winongo, Panggungan, Trihanggo, Kec. Gamping, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Letak dari anak sungai ini berada di tengah padatnya pemukiman dan pinggiran jalan umum. Kondisi sekitar sungai berupa rumah warga, pertokoan, dan jalan umum. Kondisi air cukup tenang dan terdapat banyak sampah pada dasar sungai maupun yang terbawa arus. Beberapa warga sekitar menggunakan sungai ini untuk mencuci pakaiannya langsung. Terdapat beberapa *point source* berupa pipa pembuangan limbah domestik yang berasal dari pemukiman.



Gambar 4. 2 Kondisi Titik Sampling 2

4.1.3 Titik Sampling 3 (Jembatan Jatimulyo)

Lokasi titik sampling 3 terletak di bawah Jembatan Jati Mulyo, Kricak, Kec. Tegalrejo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai berupa batuan dan vegetasi liar serta perumahan warga. Kondisi air sungai berbau tidak sedap, keruh dan aliran air cukup tenang. Pada dasar sungai banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang. Ada beberapa warga yang masih melakukan kegiatan memancing pada titik ini. Terdapat beberapa *point source* yang berupa pipa pembuangan limbah warga serta ditemukan juga beberapa bengkel, salon, dan usaha laundry.



Gambar 4. 3 Kondisi Titik Sampling 3

4.1.4 Titik Sampling 4 (Bumijo)

Lokasi titik sampling 4 berada di Bumijo, Kecamatan Jetis, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai berupa dinding penahan tanah, vegetasi liar, dan rumah warga. Kondisi air sungai keruh ke abu-abuan namun terdapat banyak biota yang hidup di sungai tersebut sehingga banyak warga yang memancing biota tersebut sebagai mata pencaharian ataupun konsumsi pribadi. Terdapat juga *point source* berupa pipa pembuangan limbah domestik dikarenakan lokasinya yang tepat ditengah padatnya pemukiman penduduk serta ditemukan juga warung makan, pertokoan, dan salon.



Gambar 4. 4 Kondisi Titik Sampling 4

4.1.5 Titik Sampling 5 (Jembatan Kyai Mojo)

Lokasi titik sampling 5 berada di dekat Jembatan Kyai Mojo, Bumijo, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai berupa vegetasi liar dan beberapa warga. Kondisi air sungai keruh, arus tenang, bau tak sedap dan berwarna ke abu-abuan. Terdapat juga beberapa biota yang hidup di dalam air sungai. Menurut warga sekitar, ketika malam hari terdapat banyak warga yang pergi memancing di titik ini. Ditemukan beberapa *point source* disekitar titik sampling ini serta ditemukan juga hotel, pertokoan, salon, dan usaha laundry.



Gambar 4. 5 Kondisi Titik Sampling 5

4.1.6 Titik Sampling 6 (Jembatan Merah)

Titik sampling 6 berlokasi disekitar Jembatan Merah, Ngampilan, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi air sungai cukup jernih dan berbau tidak sedap. Beberapa warga memanfaatkan aliran air sungai sebagai tambak ikan. Selain itu, sebagian warga juga masih memanfaatkan sungai untuk kebutuhan pribadi seperti mandi dan mencuci baju. Ditemukan juga beberapa *point source* berupa pipa pembuangan limbah warga serta ditemukan juga area perkantoran, pengrajin kayu, dan bengkel.



Gambar 4. 6 Kondisi Titik Sampling 6

4.1.7 Titik Sampling 7 (Ngampilan)

Titik sampling 7 berada pada daerah Notoprajan, Ngampilan, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai ditumbuhi beberapa vegetasi liar, terdapat banyak batuan, dan ada beberapa bekas tambak ikan. Kondisi air sungai berwarna keruh ke abu-abuan, banyak sampah, dan berbau kurang sedap Menurut pengamatan yang dilakukan, terdapat beberapa warga yang melakukan buang air besar di sungai. Terdapat beberapa *point source* berupa pipa pembuangan limbah warga dan ditemukan tempat penginapan, warung makan, dan pertokoan.



Gambar 4. 7 Kondisi Titik Sampling 7

4.1.8 Titik Sampling 8 (Gedongkiwo)

Lokasi titik 8 berada di Gedongkiwo, Kec. Mantrijeron, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai berupa tembok penahn tanah, rumah warga, dan terdapat sawah milik warga di dekat sungai. Kondisi air sungai cukup jernih dan di pinggiran sungai terdapat banyak sampah. Ditemukan juga beberapa warga yang memancing untuk mata pencaharian maupun atau konsumsi pribadi serta ada juga beberapa warga yang menambang pasir di titik ini. Terdapat input limbah yang masuk ke sungai ini berupa jalur irigasi dari persawahan dan juga pipa limbah domestik.



Gambar 4. 8 Kondisi Titik Sampling 8

4.1.9 Titik Sampling 9 (Mantrijeron)

Lokasi dari titik sampling 9 berada di Kec. Mantrijeron, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai berupa perumahan dan vegetasi liar dan di dasar sungai terdapat banyak pasir. Pada titik ini ada beberapa warga yang memancing dan disekitarnya ada industri pembuatan patung. Ditemukan banyak sampah pada pinggiran sungai dan kondisi air sungai cukup jernih. Terdapat banyak input yang masuk ke sungai berupa limbah domestik, limbah pertanian, limbah perikanan, limbah berbagai industri seperti industri pembuatan patung.



Gambar 4. 9 Kondisi Titik Sampling 9

4.1.10 Titik Sampling 10 (Tirtonirmolo)

Titik sampling 10 berlokasi di Jembatan Winongo, Jogonalan Lor, Tirtonirmolo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar sungai dipenuhi oleh vegetasi liar. Kondisi air sungai sedikit keruh dan arus sungai cukup kuat. Di badan air terdapat banyak sampah yang terbawa arus. Ditemukan beberapa warga yang memancing untuk mata pencaharian maupun konsumsi pribadi. Terdapat juga banyak input yang masuk ke dalam sungai yang berupa limbah domestik, limbah pabrik plastik, dan bengkel.



Gambar 4. 10 Kondisi Titik Sampling 10

4.1.11 Titik Sampling 11 (Jogonalan Kidul)

Lokasi sampling 11 berada di Jogonalan Kidul, Tirtonirmolo, Kec. Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi sekitar badan sungai dipenuhi oleh vegetasi liar. Banyak sampah ditemukan pada aliran sungai dan pinggir sungai. Ditemukan juga beberapa *point source* yang berasal dari limbah domestik. Kondisi air sungai keruh ke abu-abuan dengan aliran yang cukup tenang. Ditemukan juga beberapa warga yang memancing.



Gambar 4. 11 Kondisi Titik Sampling 11

4.1.12 Titik Sampling 12 (Jembatan Winongo)

Titik sampling 12 berlokasi di Tirtonirmolo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi air sungai berwarna keruh ke abu-abuan. Kondisi sekitar berupa vegetasi liar dan beberapa rumah warga. Ditemukan cukup banyak sampah di pinggir sungai dan ada warga yang menambang pasir dan memancing serta ada beberapa kandang hewan ternak, dan tidak jauh dari sungai ada persawahan. Terdapat input yang berasal dari limbah domestik dari perumahan warga.



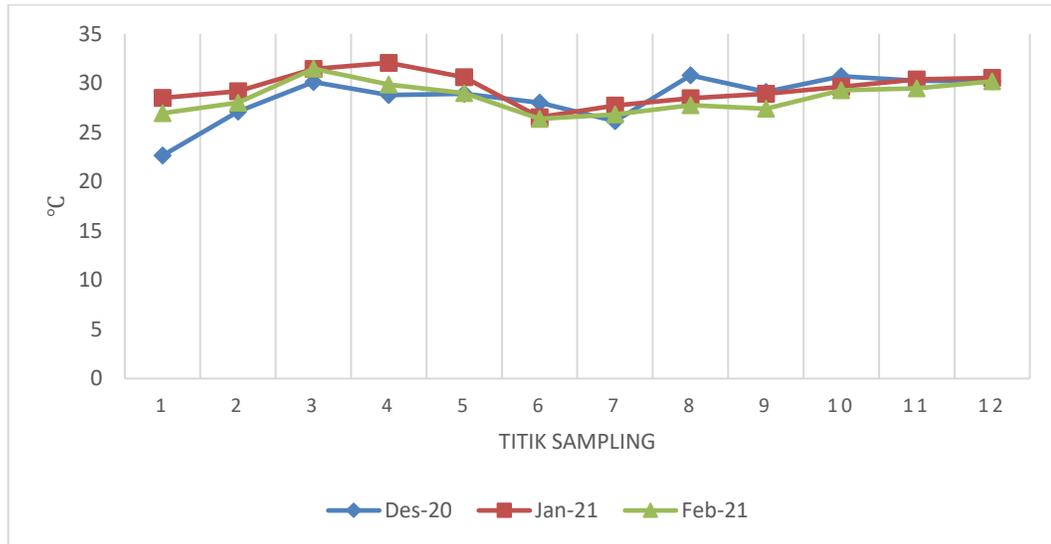
Gambar 4. 12 Kondisi Titik Sampling 12

4.2 Analisis Parameter Fisika dan Kimia

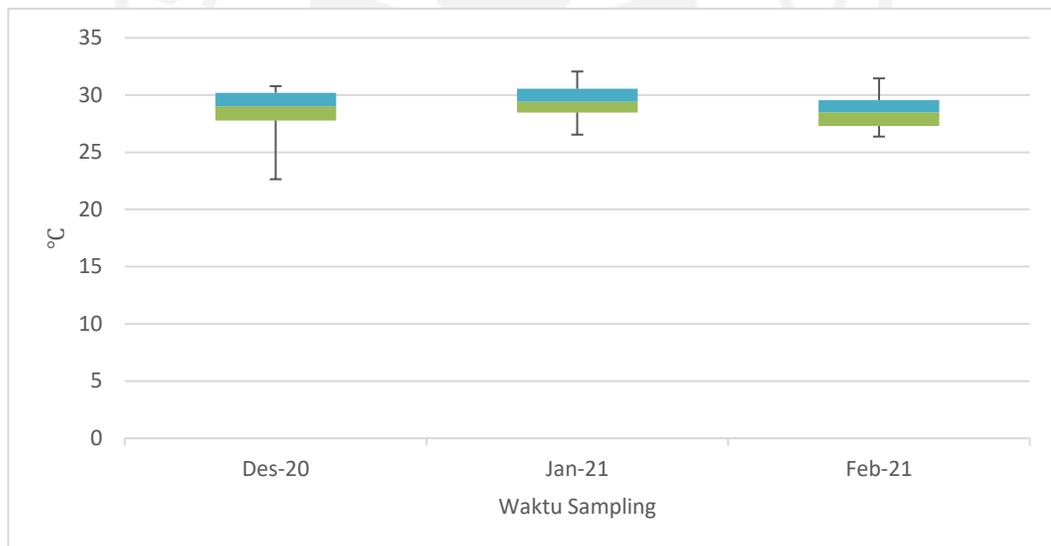
Parameter kualitas air Sungai Winongo yang dianalisis yaitu pH, temperatur, COD, konduktivitas, dan ORP. Hasil dari pengukuran parameter fisika menunjang informasi terkait kondisi Sungai Winongo di dua belas titik dengan 3 kali pengambilan sampling pada bulan Desember hingga Februari 2021, data disajikan dengan gambar grafik dan *box & whisker plot* pada masing-masing sub-bab pembahasan.

4.2.1 Suhu

Suhu adalah salah satu parameter fisika yang sangat penting bagi kehidupan organisme atau biota air. Masing-masing organisme mempunyai batas toleransi yang berbeda terhadap perubahan suhu dan juga suhu merupakan salah satu parameter fisika yang berperan penting dimana parameter ini dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di badan air. Menurut Sukoasih (2017), suhu tinggi badan air akan mempermudah untuk senyawa logam berat terlarut di badan air itu sendiri. Berikut hasil pengukuran suhu pada 12 titik sampling dan 3 kali pengambilan sampel sepanjang Sungai Winongo yang tersaji dalam diagram pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Hasil Pengukuran Suhu



Gambar 4. 14 Diagram Box-Plot Suhu

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.13, secara keseluruhan suhu dari titik 1 sampai titik 12 bersifat fluktuatif, yaitu suhu tergolong naik-turun tidak tetap namun dengan perbedaan yang tidak jauh. Hasil pengukuran suhu di sepanjang badan Sungai Winongo berkisar antara 22,64 – 32,06 °C. Suhu tertinggi terdapat pada Titik 4 sampling 2 sebesar 32,06°C dan suhu terendah berada pada Titik 1 sampling 1 sebesar

22,64 °C. Adanya perbedaan suhu pada Titik 4 dan Titik 1 disebabkan oleh kedalaman sungai yang berbeda. Pada Titik 1 memiliki kedalaman yang cukup dangkal sekitar 30-50 cm sedangkan Titik 4 memiliki kedalaman relatif cukup dalam sekitar 140 cm. Hal ini dapat mempengaruhi intensitas cahaya yang masuk ke dalam badan air, dimana dengan kondisi kedalaman dangkal cahaya matahari dapat masuk ke dasar perairan sedangkan pada kondisi yang cukup dalam, cahaya matahari hanya sampai pada permukaan (Sidabutar, 2019).

Pada Diagram Box-Plot (Gambar 4.14) menunjukkan data konsentrasi suhu terhadap waktu. Persebaran data antara bulan Januari dan Februari memiliki rentang yang hampir sama. Distribusi data pada bulan Januari 2021 cenderung simetris, hal ini dikarenakan memiliki panjang box dan whisker yang sama. Pada data Desember 2020 memiliki whisker yang lebih panjang dibagian bawah sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negative skewness*) sedangkan data Februari 2021 memiliki panjang whisker dibagian atas yang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung ke arah kanan (*positive skewness*). Nilai median suhu dari 12 titik sampling berada pada rentang 28,50 – 29,41 °C.

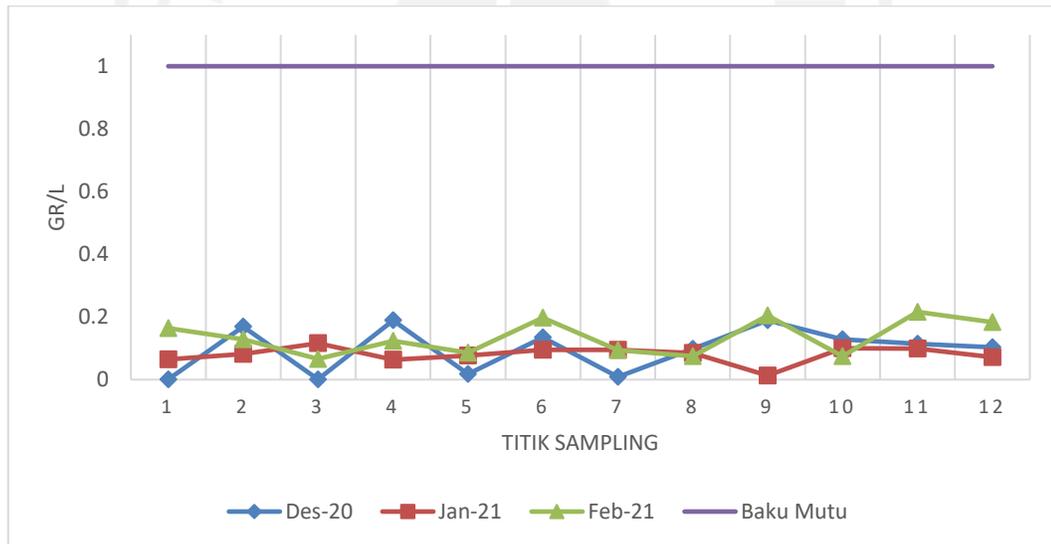
Suhu pada badan air sungai memiliki hubungan yang cukup erat terhadap logam berat. Perubahan suhu dapat berpengaruh terhadap pembentukan ion dalam logam berat (Wulandari & Sukesu, 2013). Nilai suhu yang bervariasi pada badan air juga dapat dipengaruhi oleh berbagai unsur eksternal seperti cuaca, angin dan arus. Terjadinya perubahan alur arus yang tiba-tiba dapat mengakibatkan nilai suhu air ikut menurun (Patty, 2013).

Sorensen (1991) dalam Fauziah *et al* (2012) menyatakan bahwa peningkatan suhu perairan cenderung menaikkan akumulasi dan toksisitas logam berat, hal ini terjadi karena meningkatnya laju metabolisme dari organisme air. Suhu mempengaruhi konsentrasi logam berat di kolom air dan sedimen, kenaikan suhu air yang lebih dingin akan memudahkan logam berat mengendap ke sedimen. Sedangkan suhu yang tinggi, senyawa logam berat akan larut di air. Hal ini sesuai dengan pendapat Darmono (2001),

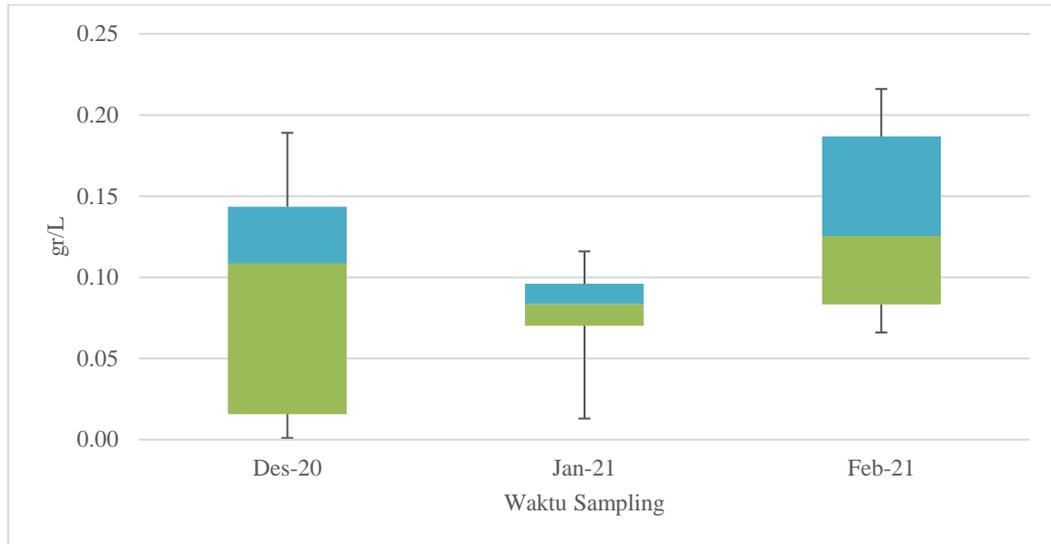
yang menyatakan bahwa suhu tinggi dalam air menyebabkan laju proses biodegradasi yang dilakukan oleh bakteri pengurai aerobik menjadi naik dan dapat menguapkan bahan kimia ke udara.

4.2.2 Total Dissolved Solid (TDS)

Menurut Situmorang (2007), *Total Dissolve Solid (TDS)* atau kelarutan zat padat dalam air adalah terlarutnya zat padat, baik berupa ion, senyawa, maupun koloid dalam air. Hasil pengukuran TDS pada Sungai Winongo di 12 titik sampling dengan 3 kali pengambilan sampel dimuat dalam diagram pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Hasil Pengukuran TDS



Gambar 4. 16 Diagram Box-Plot TDS

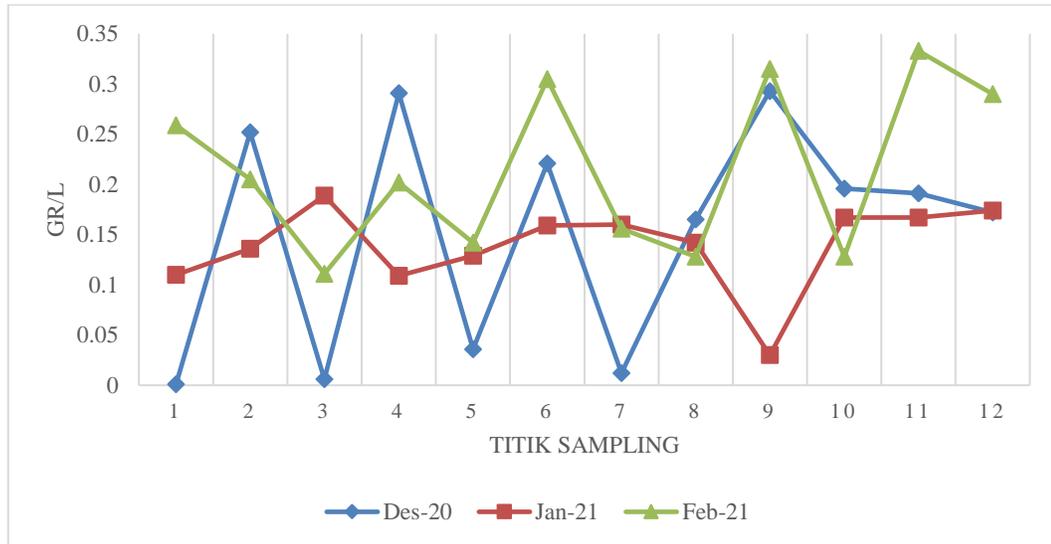
Berdasarkan diagram pada Gambar 4.15, nilai TDS pada Sungai Winongo bersifat fluktuatif dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 11 sampling 3 dengan nilai 0,216 gr/L, sedangkan konsentrasi TDS terendah berada pada Titik 3 sampling 1 dengan nilai 0,001 gr/L. Konsentrasi TDS tertinggi terjadi pada Titik 11 sampling 3 dikarenakan saat sampling kondisi sedang hujan lebat sehingga input yang masuk ke sungai lebih banyak dari biasanya. Input yang masuk ke sungai berupa limbah pertanian, limbah domestik, dan limbah dari industri patung di sekitar lokasi yang sedang beroperasi. Limbah pertanian merupakan salah satu sumber utama tingginya kadar TDS pada air sungai, hal ini disebabkan karena adanya air irigasi yang kembali ke sungai. Air irigasi yang dikembalikan ke sungai seringkali memiliki konsentrasi ion natrium atau klorida yang tinggi (Al-Badaii *et al*, 2013). Sedangkan Titik 3 sampling 1 memiliki konsentrasi TDS terendah dikarenakan penggunaan lahan dan aktivitas antropogenik pada daerah sekitar hulu masih jauh lebih sedikit. Konsentrasi TDS 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 (masuk dalam Kelas 1, 2 dan 3).

Diagram *box & whisker plot* pada Gambar 4.16 menunjukkan distribusi data yang tidak simetris dikarenakan garis median pada tiap sampling terlampaui jauh. Hasil pengukuran yang dilakukan di sepanjang badan Sungai Winongo berkisar antara 0,001 – 0,216 gr/L dengan nilai median TDS sepanjang Sungai Winongo berada pada rentang 0,08 – 0,13 gr/L. TDS dengan konsentrasi tertinggi berada di Titik 1, yaitu 0,099 – 0,216 gr/L. Persebaran data antara bulan Desember dan Februari memiliki panjang whisker dibagian atas yang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung ke arah kanan (*positive skewness*). Sedangkan pada bulan Januari distribusi data memiliki whisker yang lebih panjang dibagian bawah sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negative skewness*).

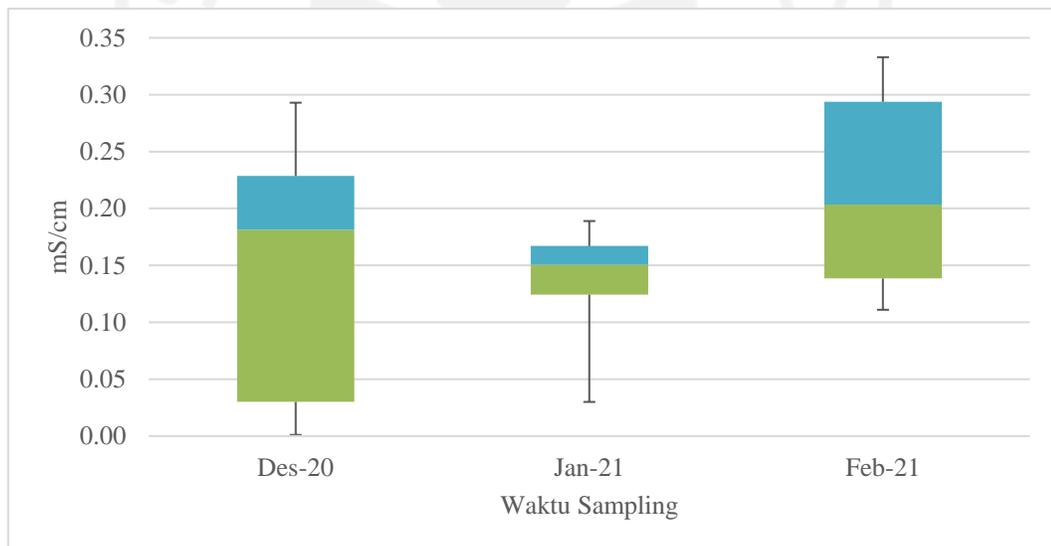
Konsentrasi TDS pada suatu perairan dapat meningkat yang disebabkan oleh buangan hasil aktivitas manusia yang mengandung logam berat. Hal tersebut menandakan hadirnya TDS di badan sungai memiliki hubungan yang erat dengan adanya logam berat (Eleonora *et al*, 2016). Logam berat yang terlarut secara signifikan akan mempengaruhi TDS pada badan air karena TDS memiliki komposisi yang terdiri dari garam, logam, metaloid dan bahan organik terlarut.

4.2.3 Konduktivitas/Daya Hantar Listrik

Menurut Aritonang *et al* (2014), kandungan ion-ion yang terlarut di dalam air sangat mempengaruhi nilai konduktivitas listrik pada air. Hasil pengukuran daya hantar listrik pada 12 titik sampling dengan 3 kali pengambilan sampel sepanjang Sungai Winongo dapat dilihat dalam diagram pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Hasil Pengukuran Konduktivitas



Gambar 4. 18 Diagram Box-Plot Konduktivitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.17, nilai konduktivitas pada Sungai Winongo bersifat fluktuatif. Nilai konduktivitas tertinggi terjadi pada Titik 11 sampling 3 dengan nilai 0,333 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sedangkan nilai konduktivitas terendah terjadi pada Titik 1 sampling 1 dengan nilai 0,001 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai konduktivitas yang semakin kecil dipengaruhi oleh nilai resistivitas yang meningkat, hal ini dikarenakan mineral

anorganik yang sedikit dimana mengandung logam pada air sehingga dapat terjadi hambatan pada aliran arus listrik. Sedangkan nilai konduktivitas yang tinggi pada lokasi Titik 11 sampling 3 terjadi dikarenakan memiliki kualitas air yang rendah. Nilai konduktivitas yang tinggi dapat dipengaruhi oleh keadaan sekitar, seperti warna air sungai yang berubah, kecepatan air sungai dan pengaruh pasang surut. Selain hal itu, nilai konduktivitas juga dapat dipengaruhi oleh suhu, yang mana semakin hangat air maka semakin tinggi pula konduktivitasnya (Aritonang *et al*, 2014).

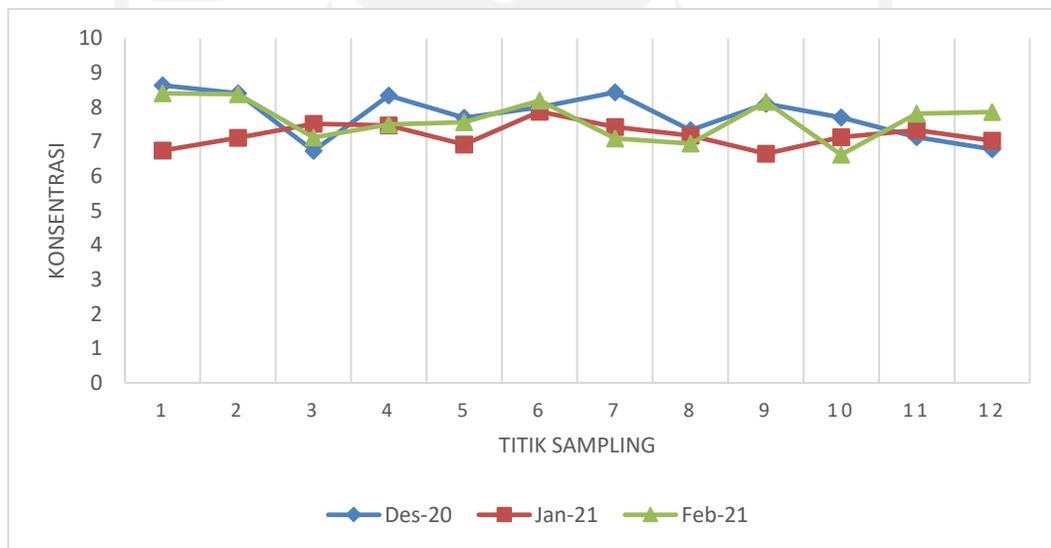
Daya hantar listrik yang semakin kecil dipengaruhi oleh nilai resistivitas yang tinggi, karena adanya sedikit mineral anorganik yang mengandung logam dalam air dimana dapat menghambat arus listrik untuk mengalir (Aritonang, 2014). Sedangkan daya hantar listrik yang tinggi dapat dipengaruhi oleh suhu, dimana semakin hangat air, semakin tinggi konduktivitasnya. Serta dapat dipengaruhi oleh keadaan pada lingkungan sekitar titik sampling, seperti perubahan warna pada air sungai, kecepatan arus sungai, dan pengaruh pasangannya air sungai.

Data pada *box & whisker plot* (Gambar 4.18) menunjukkan distribusi data tidak simetris karena garis whisker tidak sama panjang dan garis median pada sampling 1 dan 3 tidak berada di tengah. Persebaran data pada bulan Desember dan Februari terlihat memiliki persebaran data yang cukup luas. Pada bulan Desember dan Februari memiliki panjang whisker dibagian atas yang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung ke arah kanan (*positive skewness*). Sedangkan pada bulan Januari distribusi data memiliki whisker yang lebih panjang dibagian bawah sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negative skewness*).

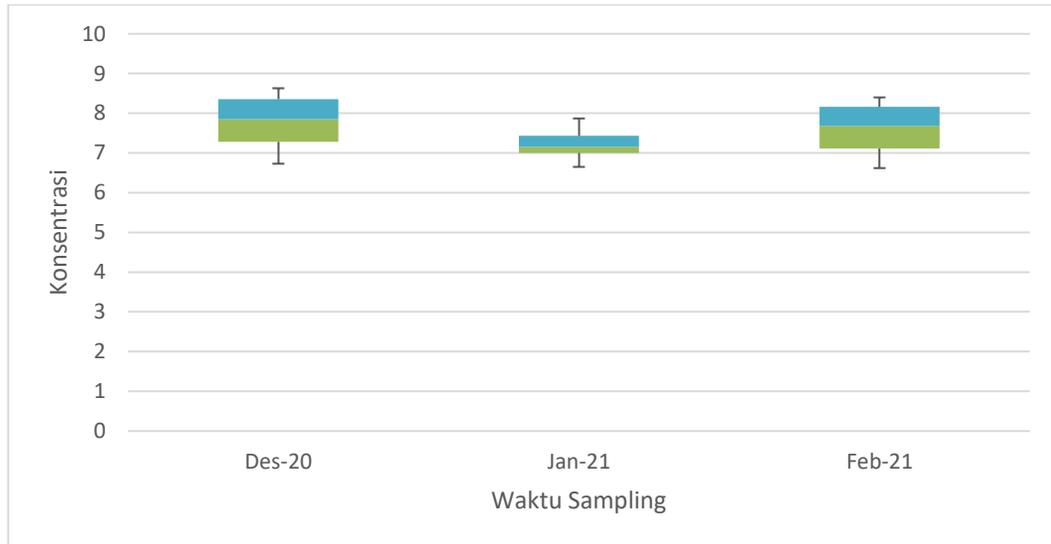
Berdasarkan data yang didapatkan nilai median konduktivitas sepanjang Sungai Winongo, nilai median berada pada rentang 0,15-0,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Adanya senyawa organik dan anorganik serta garam yang semakin banyak dan mudah terionisasi, maka semakin tinggi pula nilai konduktivitasnya. Tingginya nilai konduktivitas listrik tersebut dapat mengindikasikan bahwa adanya logam yang terkandung pada badan air (Purbalisa & Mulyadi, 2013).

4.2.4 Derajat Keasaman (pH)

Derajat Keasaman (pH) merupakan parameter yang mengukur tingkat keasaman dari suatu perairan. Derajat Keasaman (pH) berperan penting untuk mengontrol tipe dan kecepatan reaksi dari beberapa bahan dalam perairan. Selain hal tersebut, ikan serta organisme air hidup pada kadar pH tertentu, sehingga dengan diketahuinya nilai pH, kita dapat mengetahui apakah perairan tersebut mampu atau tidaknya menunjang kehidupan organisme perairan. Kadar pH yang diperbolehkan pada PP No. 22 Tahun 2021 yaitu 6-9. Berikut merupakan hasil pengukuran pH pada 12 titik sampling dengan 3 kali pengambilan yang tertuang pada diagram di Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Hasil Pengukuran pH



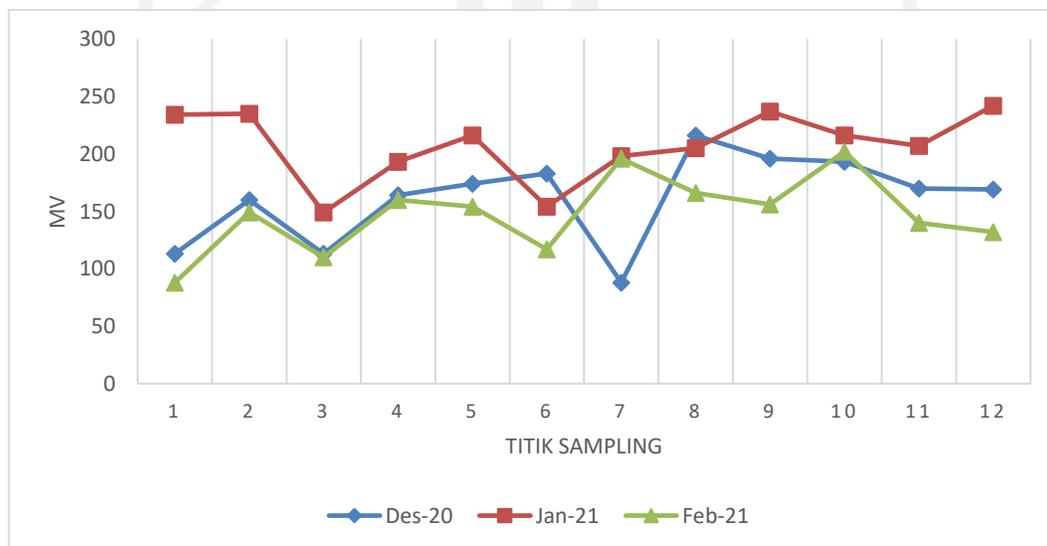
Gambar 4. 20 Diagram Box-Plot pH

Berdasarkan data yang diperoleh pada Gambar 4.19, nilai pH pada Sungai Winongo bersifat fluktuatif dengan rentang nilai dari 6,62 hingga 8,63. Nilai pH terendah berada pada Titik 10 sampling 3 yaitu 6,62 dan nilai pH tertinggi berada pada Titik 1 sampling 1, yaitu 8,63. Nilai rata-rata pH pada Sungai Winongo berkisar 7,20 – 7,77 yang berarti kondisi air sungai cenderung bersifat basa. pH dengan kondisi mendekati normal yaitu 7 – 8 dapat membuat kondisi kelarutan pada logam berat menjadi 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 (Hart, 1982 dalam Suwarsito dan Esti Sarjanti, 2014). Semakin rendah nilai pH, maka semakin tinggi kelarutan pada logam sehingga akan mengakibatkan efek toksik logam bertambah besar. pH di air yang mengalami kenaikan umumnya akan diikuti dengan semakin rendahnya kelarutan pada senyawa logam tersebut (Sukoasih & Widiyanto, 2017). Rentang nilai pH pada Sungai Winongo masuk ke dalam nilai pH yang ideal karena masih dalam rentang batas mutu yang telah ditentukan oleh PP No. 22 Tahun 2021, yaitu 6 – 9 (Kelas 1, 2, 3 dan 4).

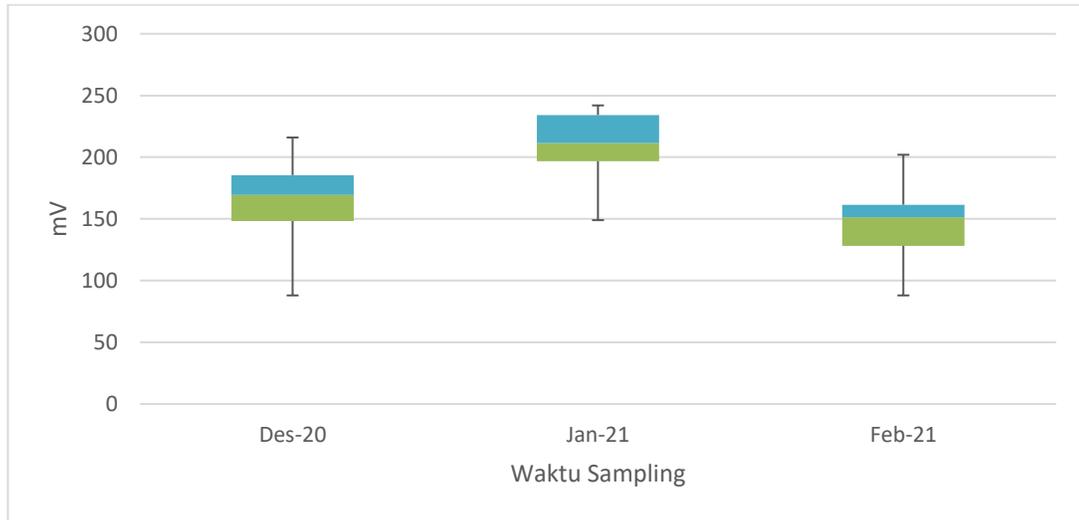
Grafik *box and whisker plot* pada Gambar 4.20 terlihat data tidak simetris karena median yang diperoleh tidak berada di tengah. Nilai median pH pada 12 titik sampling dan 3 kali pengambilan sampel yaitu dalam rentang 7,15-7,85. Pada bulan Desember dan Februari memiliki panjang whisker dibagian bawah yang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung ke arah kiri (*negative skewness*). Sedangkan pada bulan Januari distribusi data memiliki whisker yang lebih panjang dibagian atas sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.2.5 Oxidation Reduction Potensial (ORP)

ORP merupakan kecenderungan atau potensi suatu larutan untuk mentransfer elektron dari oksidan ke reduktan, sehingga dapat mempengaruhi proses kimia yang terjadi di badan air. Menurut Urbasa *et al* (2015), ORP dapat mengukur kemampuan suatu sungai untuk membersihkan diri atau memecah produk-produk limbah seperti kontaminan, hewan dan tanaman yang mati. Hasil pengukuran ORP pada 12 titik sampling dengan 3 kali pengambilan sampel sepanjang Sungai Winongo dapat dilihat dalam Gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4. 21 Hasil Pengukuran ORP



Gambar 4. 22 Diagram Box-Plot ORP

Rentang nilai ORP yang didapatkan yaitu berada pada nilai 88 – 242 mV serta berdasarkan nilai median yang diperoleh dari diagram Gambar 4.21, nilai median ORP berada pada rentang 151,50-211,50 mV. Kadar ORP terendah berada pada Titik 1 sampling 3 dan Titik 7 sampling 1, yaitu 88 mV dan kadar ORP tertinggi berada pada Titik 12 sampling 2, yaitu 242 mV. Apabila nilai ORP berada pada rentang 300-500 mV, maka kondisi perairan tersebut sehat dikarenakan memiliki banyak kondisi oksigen (Urbasa *et al*, 2015). ORP dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi sungai, seperti aerobik, anoksik, maupun anaerobik tergantung pada rentang konsentrasi ORP. Kondisi anaerobik terjadi pada rentang -200 mV kebawah, kondisi anoksik berada pada rentang -200 sampai +200 mV, dan kondisi aerobik terjadi pada rentang +200 mV keatas (Al Samawi dan Al-Hussaini, 2016). Jika terdapat konsentrasi ORP yang kecil atau negatif umumnya mengindikasikan kondisi air yang bersifat anaerob, sehingga pada kondisi tersebut daya toksisitas zat-zat beracun akan terus meningkat (Tim BRPSDI, 2021).

Berdasarkan rentang nilai ORP yang didapatkan pada sepanjang Sungai Winongo, didapatkan rentang nilai sebesar 88-242 mV. Hal ini mengindikasikan bahwa keadaan air Sungai Winongo saat ini mengalami proses oksidasi amonia

menjadi nitrat atau disebut dengan nitrifikasi. Proses ini terjadi ketika keadaan sungai mengalami perpindahan dari kondisi anoksik menjadi aerobik. Di dalam kondisi ini terjadi reaksi biokimia seperti degradasi cBOD dan nitrifikasi (Al-Samawi dan Al-Hussaini, 2016).

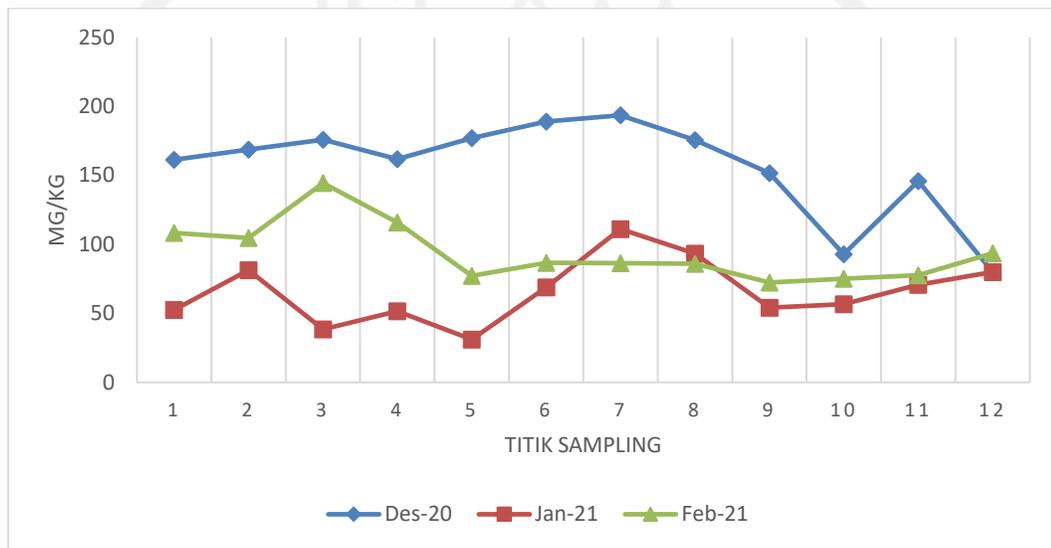
Berdasarkan diagram pada Gambar 4.22, diketahui bahwa distribusi data tiap sampling terlihat tidak simetris karena nilai median tidak berada di tengah box dan panjang kedua garis whisker tidak sama. Pada bulan Desember dan Januari memiliki panjang whisker dibagian bawah yang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung ke arah kiri (*negative skewness*). Sedangkan pada bulan Februari distribusi data memiliki whisker yang lebih panjang dibagian atas sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3 Analisis Kandungan Logam Berat Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen

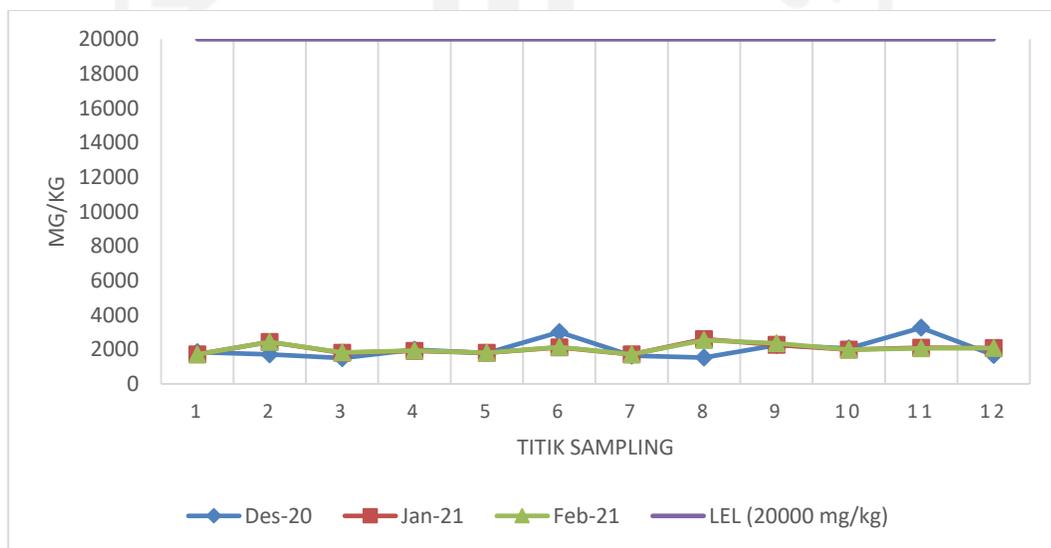
Adanya faktor parameter fisika dan kimia yang telah disebutkan sebelumnya, terdapat faktor lain yang ikut mempengaruhi fluktuatif hasil pengukuran, seperti kecepatan arus sungai dan kedalaman sungai. Logam berat yang memasuki air sungai bereaksi dengan polimer organik atau mineral lempung, membentuk kompleks atau kelat, yang akhirnya terakumulasi dalam padatan tersuspensi. Logam berat dalam padatan tersuspensi pada akhirnya akan memasuki sedimen melalui adsorpsi dan presipitasi, sehingga menjadi lebih stabil dan metalogenik (Islam *et al.*, 2015). Padatan tersuspensi bertindak sebagai pengikat transportasi logam berat dari air ke sedimen, komposisi dan sifatnya memainkan peran yang menentukan dalam kadar logam berat di sungai (Fu *et al.*, 2014; Kadhum *et al.*, 2015). Berikut merupakan data hasil pengukuran konsentrasi logam berat besi (Fe), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Tembaga (Cu), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Kromium (Cr) dan Aluminium (Al) pada padatan tersuspensi dan sedimen.

4.3.1 Logam Berat Besi (Fe)

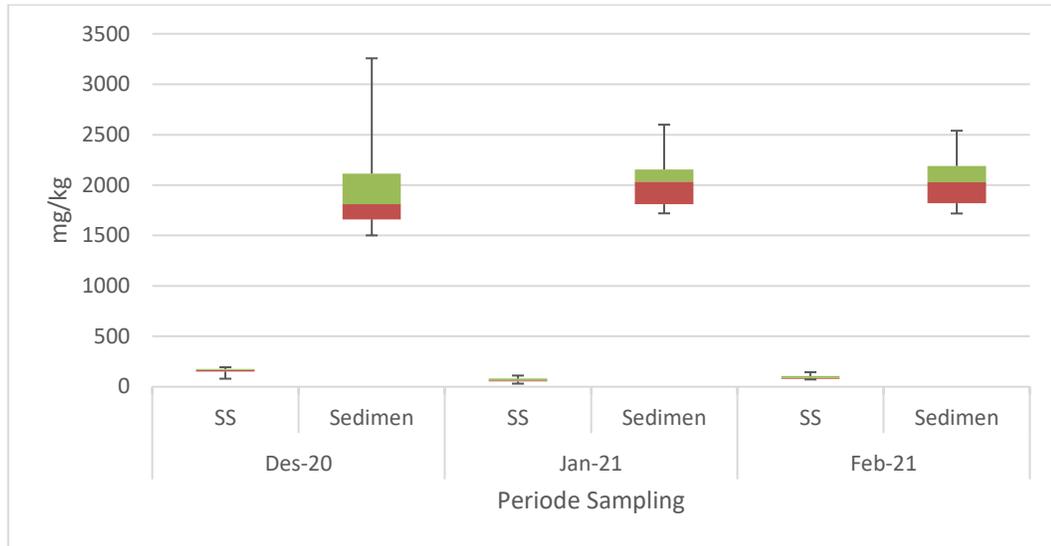
Data hasil pengukuran konsentrasi logam besi (Fe) pada padatan tersuspensi dan sedimen dengan tiga kali pengambilan sampel di Sungai Winongo dapat dilihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 berikut ini.



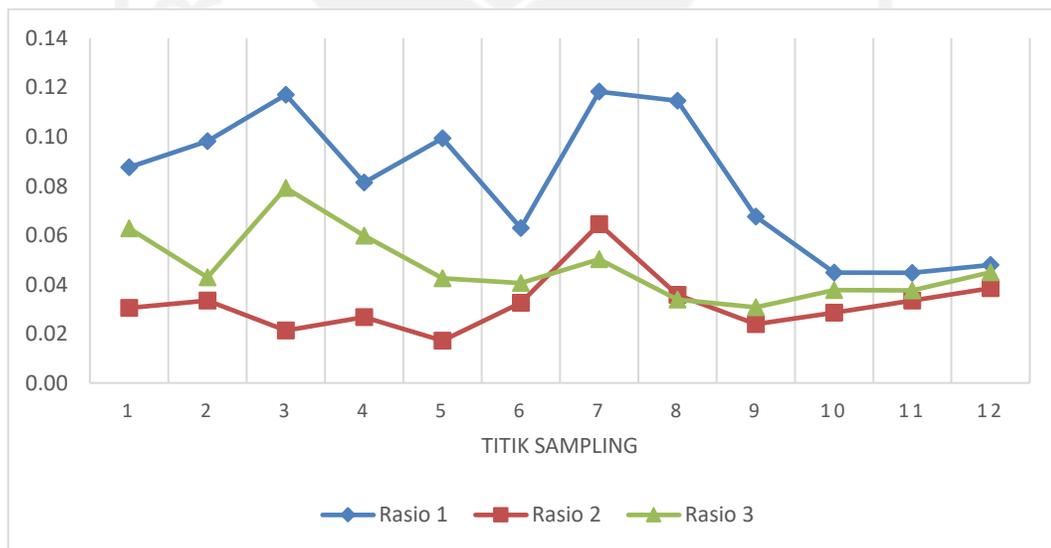
Gambar 4. 23 Kandungan Logam Fe Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 24 Kandungan Logam Fe Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 25 Analisa Box-Plot Logam Fe Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 26 Grafik Rasio Logam Fe

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa konsentrasi logam berat besi (Fe) pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo bersifat fluktuatif. Konsentrasi logam Fe pada padatan tersuspensi yang terendah terdapat pada Titik 5 sampling 2 dan Titik 3 sampling 2 yaitu 31,08 mg/kg dan 38,4 mg/kg dan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 7 sampling 1 yaitu 193,44 mg/kg.

Pada Gambar 4.24 dapat dilihat bahwa konsentrasi logam berat besi (Fe) pada sedimen di Sungai Winongo juga bersifat fluktuatif. Konsentrasi logam Fe pada sedimen yang terendah terdapat pada Titik 3 sampling 1 yaitu 1501,22 mg/kg dan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 11 sampling 1 yaitu 3257,51 mg/kg. Hasil analisis kandungan logam Fe dalam sedimen Sungai Winongo dalam kurun waktu 3 bulan (Desember 2020 – Februari 2021) dibandingkan dengan *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*, bahwa nilai kandungan Fe dalam sedimen perairan Sungai Winongo masih berada dibawah batas baku mutu nilia *Lowest Effect Level* (LEL) yaitu < 20.000 mg/kg.

Akumulasi logam Fe di dalam sedimen terjadi pada Titik 11, dimana kandungan logam Fe di padatan tersuspensi rendah, namun kandungan logam Fe di sedimen meningkat. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting sungai, hal ini disebabkan oleh kecepatan arus dan kedalaman sungai pada Titik 11. Pada Titik 11 memiliki kecepatan arus yang relatif rendah sebesar 0,59 m/s dengan kedalaman yang cukup dangkal sebesar 0,62 m yang menyebabkan logam Fe lebih banyak yang terendapkan. Menurut Firmansyaf (2013), perbedaan kandungan logam Fe pada perairan disebabkan adanya pengaruh dari hidrodinamika perairan seperti arus, pasang surut dan gelombang.

Hasil logam besi yang berfluktuasi pada tiap titik selain disebabkan secara alamiah (pelapukan dan erosi batuan dan tanah, dan aktivitas vulkanik) itu sendiri, logam besi juga dapat berasal dari sumber lainnya, seperti aktivitas manusia. Jumlah input dari aktivitas manusia seperti buangan limbah domestik dan industri serta pasang surut dan arus perairan. Sepanjang Sungai Winongo ditemukan banyak industri seperti industri percetakan, bengkel, serta toko elektronik yang kemungkinan membuang limbahnya ke Sungai Winongo yang memicu terjadinya peningkatan logam Fe. Menurut Laporan Akhir DLH Kabupaten Bantul (2020), sebagian besar warga di Sungai Winongo membuang limbah dan sampah dengan cara membuang ke TPS

(Tempat Pembuangan Sementara) yang semestinya, namun beberapa warga di sekitar Sungai Winongo lebih suka membuang sampahnya di sungai.

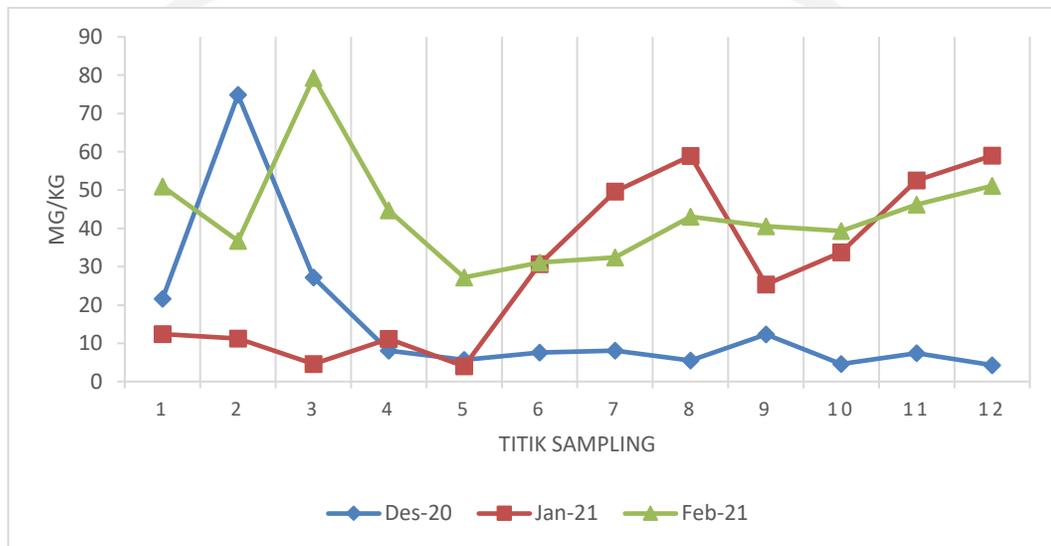
Grafik *box-plot* digunakan untuk menilai kesimetrisan sebaran data. Panjang kotak menggambarkan tingkat penyebaran atau keragaman data pengamatan, sedangkan letak median dan panjang menggambarkan tingkat kesimetrisannya. Nilai median logam Fe pada Padatan Tersuspensi yang di dapatkan pada Gambar 4.25 dari 12 titik sampling dengan 3 kali pengambilan sampel secara berturut-turut yaitu 165,13 mg/kg, 62,74 mg/kg, dan 86,46 mg/kg sedangkan untuk logam Fe pada Sedimen yaitu 1810,23 mg/kg; 2033,90 mg/kg; dan 2027,22 mg/kg.

Berdasarkan hasil analisa melalui grafik *box-plot* (Gambar 4.25), sebaran data dari ketiga waktu sampling menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Fe pada Padatan Tersuspensi di Sungai Winongo memiliki median yang berbeda. Sedangkan untuk panjang box yang ditentukan oleh IQR (*Interquartile range*) terlihat bahwa konsentrasi logam berat Fe memiliki panjang yang berbeda yang berarti persebaran logam berat Fe berbeda-beda. Persebaran ketiga data cenderung tidak simetris dikarenakan nilai median tidak berada di tengah box. Pada box-plot Padatan Tersuspensi di bulan Desember 2020 memiliki outlier disertai whisker yang lebih panjang pada bagian bawah, sehingga menunjukkan bahwa distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*), sedangkan pada box Januari 2021 dan Februari 2021 memiliki outlier disertai whisker yang lebih panjang pada bagian atas, sehingga menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

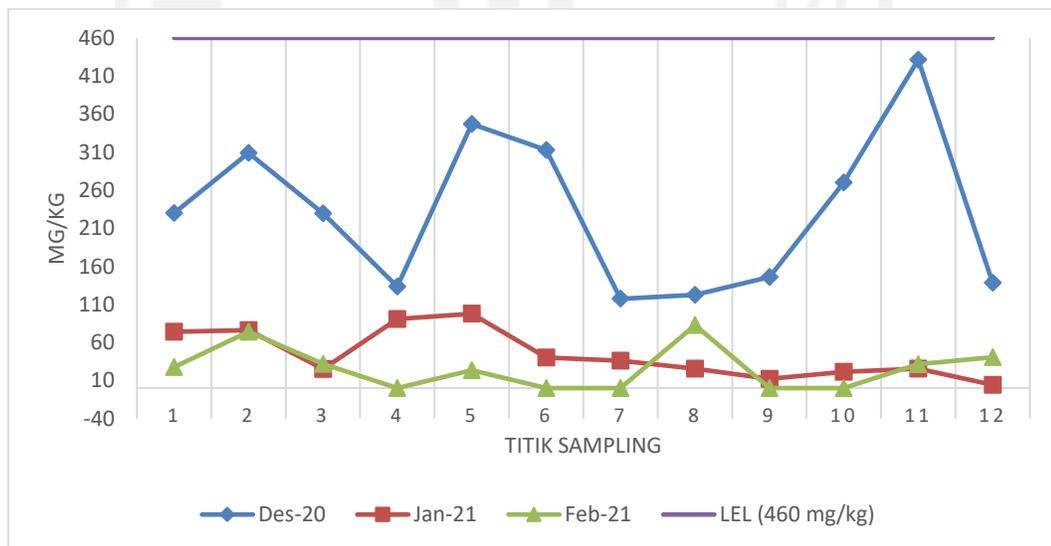
Diagram *boxplot* konsentrasi logam Fe dalam sedimen Sungai Winongo pada bulan Desember 2020 – Februari 2021 dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Dengan adanya outlier di bagian atas ketiga *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang, menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3.2 Logam Berat Mangan (Mn)

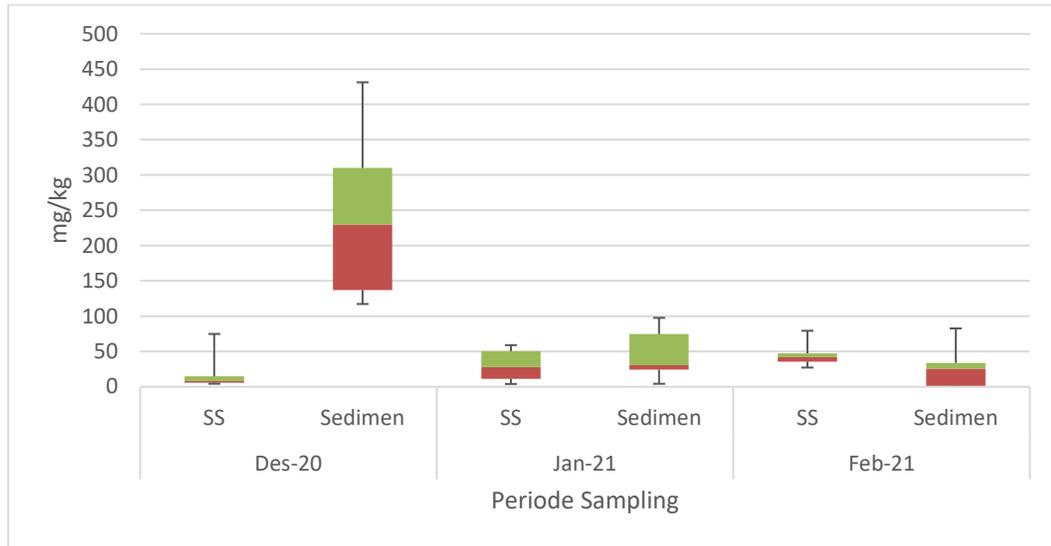
Data hasil pengukuran konsentrasi logam mangan (Mn) pada padatan tersuspensi dan sedimen dengan tiga kali pengambilan sampel di Sungai Winongo dapat dilihat pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 berikut ini.



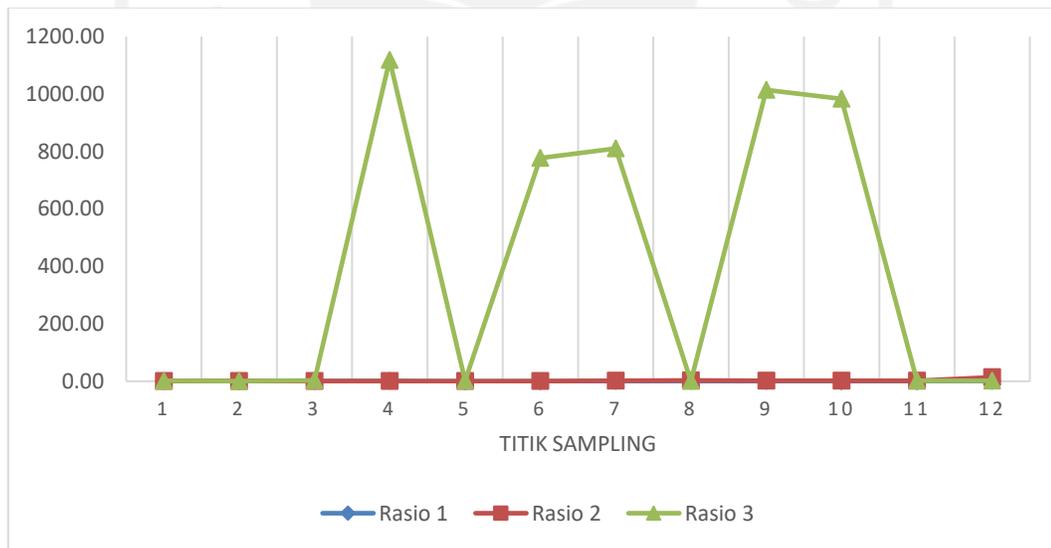
Gambar 4. 27 Kandungan Logam Mn Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 28 Kandungan Logam Mn Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 29 Analisis Box-Plot Logam Mn Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 30 Grafik Rasio Logam Mn

Pada Gambar 4.27 dapat dilihat bahwa konsentrasi logam mangan (Mn) pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo memiliki konsentrasi terendah pada Titik 5 sampling 2 yaitu 3,99 mg/kg dan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 3 sampling 3 yaitu 193,44 mg/kg.

Dapat dilihat pada Gambar 4.28, konsentrasi logam mangan (Mn) yang terendah terdapat pada Titik 4 sampling 3, Titik 5 sampling 3, Titik 6 sampling 3, Titik 9 sampling 3 dan Titik 10 sampling 3 dengan nilai yang digunakan yaitu nilai $\frac{1}{2}$ LoD sebesar 0,04 mg/kg dan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 11 sampling 1 yaitu 431,37 mg/kg. Dari data logam mangan (Mn) dalam sedimen Sungai Winongo yang diperoleh menunjukkan bahwa kandungan Mn pada sedimen Sungai Winongo tidak melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* yaitu dengan nilai *lowest effect level* (LEL) sebesar 460 mg/L.

Akumulasi logam Mn di dalam sedimen terjadi pada Titik 11, dimana kandungan logam Fe di padatan tersuspensi rendah, namun kandungan logam Mn di sedimen meningkat. Penyebab ini juga sama halnya dengan persebaran kandungan logam Fe pada sub-bab sebelumnya yang disebabkan oleh kecepatan arus dan kedalaman sungai pada Titik 11. Pada Titik 11 memiliki kecepatan arus yang relatif rendah sebesar 0,59 m/s dengan kedalaman yang cukup dangkal sebesar 0,62 m yang menyebabkan logam Mn lebih banyak yang terendapkan.

Pada dasarnya, kandungan logam Mn dapat secara alamiah ditemukan dalam badan air yang disebabkan oleh pengikisan batu mineral yang terdapat di sekitar perairan (Fathirizki, *et al*, 2018). Adanya aktivitas antropogenik juga menjadi faktor utama banyaknya kontaminasi logam Mn di badan sungai. Konsentrasi logam Mn yang tinggi sedimen maupun padatan tersuspensi pada diduga disebabkan oleh lokasi Sungai Winongo berada di tengah padatnya pemukiman penduduk dan berada di dekat jalan sehingga banyak aktivitas manusia seperti buangan limbah industri dan limbah rumah tangga serta sampah-sampah yang masuk ke lingkungan perairan. Pencemaran logam berat Mn juga dapat berasal dari bahan zat aktif di dalam batu baterai yang telah habis lalu dibuang ke sungai. Hal ini didukung oleh pernyataan Yudo (2018), bahwa senyawa mangan sering dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan baterai. Partikel logam yang

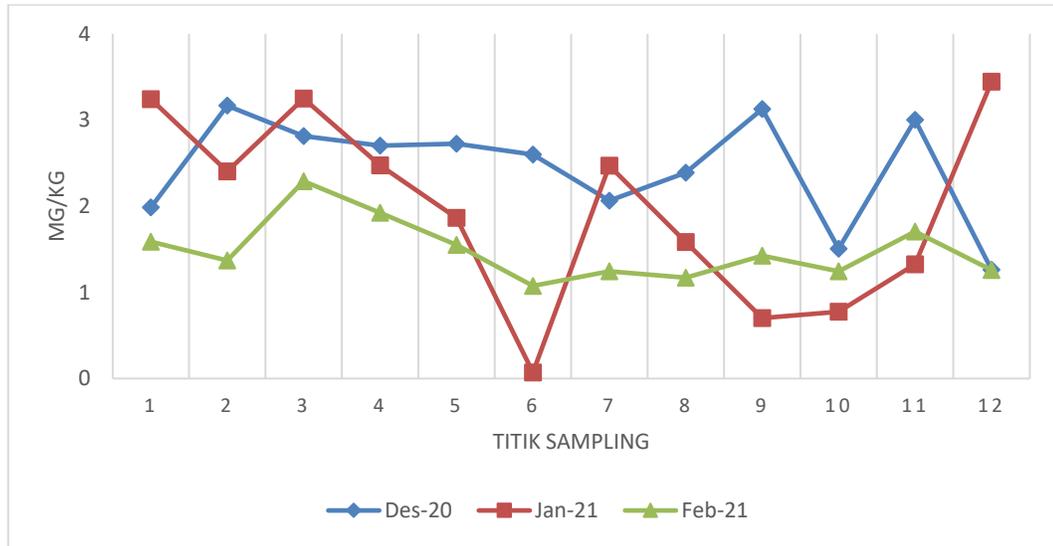
ada di udara yang dihasilkan oleh kepadatan lalu lintas terbawa oleh air hujan juga dapat menjadi sumber logam di perairan (Asdak, 2004).

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.29, sebaran data logam Mn pada Padatan Tersuspensi di 12 titik sampling dengan 3 kali pengambilan sampel memiliki nilai median berturut-turut yaitu 7,82 mg/kg, 28,02 mg/kg, dan 41,80 mg/kg. Nilai median yang tidak berada ditengah box dan memiliki whisker yang lebih panjang bagian atas dari yang lainnya menunjukkan bahwa sebaran data tersebut tidak simetris (miring) dan cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*). Berdasarkan panjang box dapat diketahui bahwa konsentrasi logam berat Mn pada Januari 2021 lebih menyebar (memiliki rentang yang lebih besar) dibandingkan pada Desember 2020 dan Februari 2021.

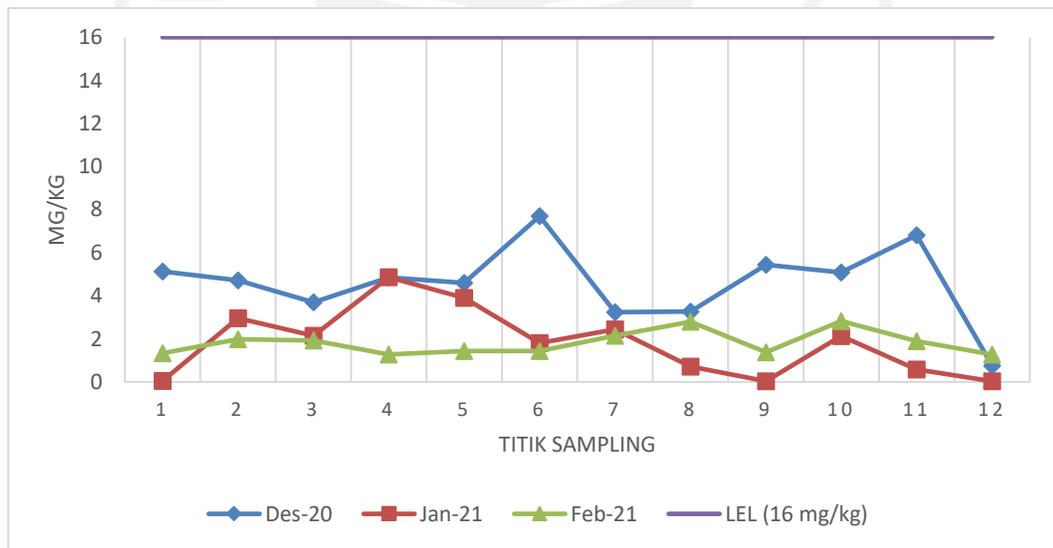
Kandungan logam berat mangan pada sedimen Sungai Winongo pada grafik *boxplot* (Gambar 4.29) menunjukkan nilai median kandungan mangan dalam setiap waktu yaitu pada bulan Desember 2020 sebesar 229,72 mg/kg, pada bulan Januari 2021 sebesar 30,77 mg/kg. Sedangkan pada bulan Februari sebesar 25,46 mg/kg. Distribusi data pada Gambar 4.29 diatas dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Dengan adanya outlier di bagian atas *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang, menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3.3 Logam Berat Nikel (Ni)

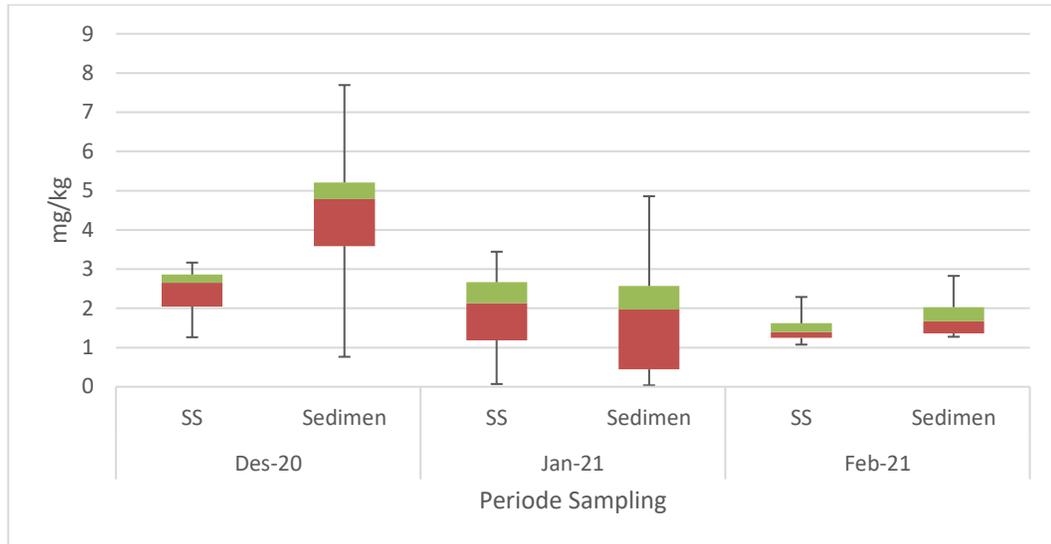
Data hasil pengukuran konsentrasi logam nikel (Ni) pada padatan tersuspensi dan sedimen dengan tiga kali pengambilan sampel di Sungai Winongo dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 berikut ini.



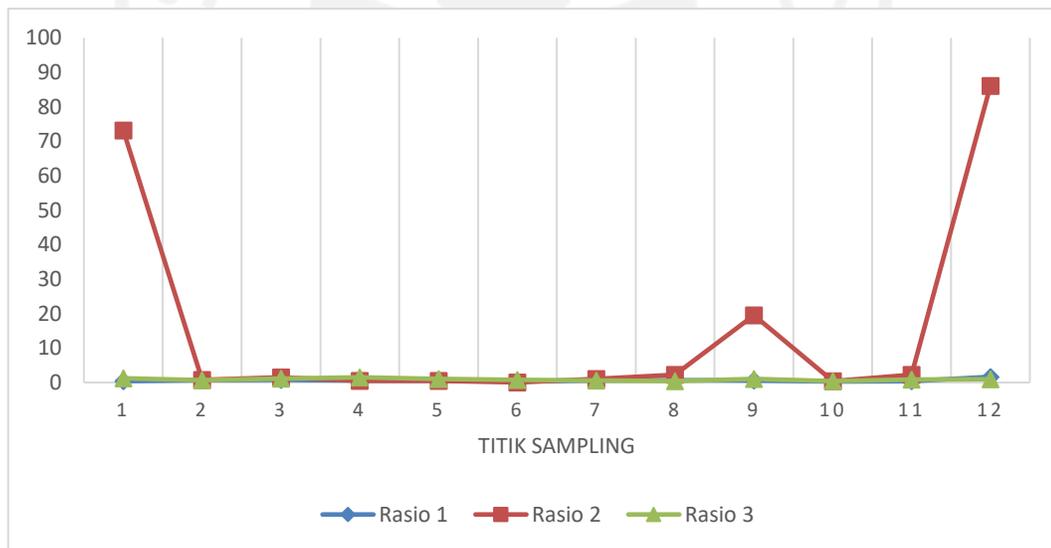
Gambar 4. 31 Kandungan Logam Ni Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 32 Kandungan Logam Ni Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4.33 Analisa Box-Plot Logam Ni Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4.34 Grafik Rasio Logam Ni

Berdasarkan Gambar 4.31, konsentrasi logam nikel (Ni) pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo memiliki konsentrasi terendah pada Titik 6 sampling 2 yaitu 0,07 mg/kg dan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 12 sampling 2 yaitu 3,44 mg/kg.

Terlihat pada Gambar 4.32 bahwa kandungan logam Ni pada sedimen Sungai Winongo memiliki konsentrasi terendah pada Titik 1 sampling 2, Titik 9 sampling 2 dan Titik 12 sampling 2 dengan nilai sebesar 0,04 mg/kg ($\frac{1}{2}$ LoD). Kandungan logam Ni tertinggi berada pada Titik 6 sampling 1 yaitu 7,69 mg/kg. Hasil analisis kadar logam berat Ni yang diperoleh pada bulan Desember 2020 – Februari 2021 menunjukkan bahwa kandungan nikel dalam sedimen Sungai Winongo masih dibawah nilai batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) yang ditetapkan dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* yaitu sebesar 16 mg/kg.

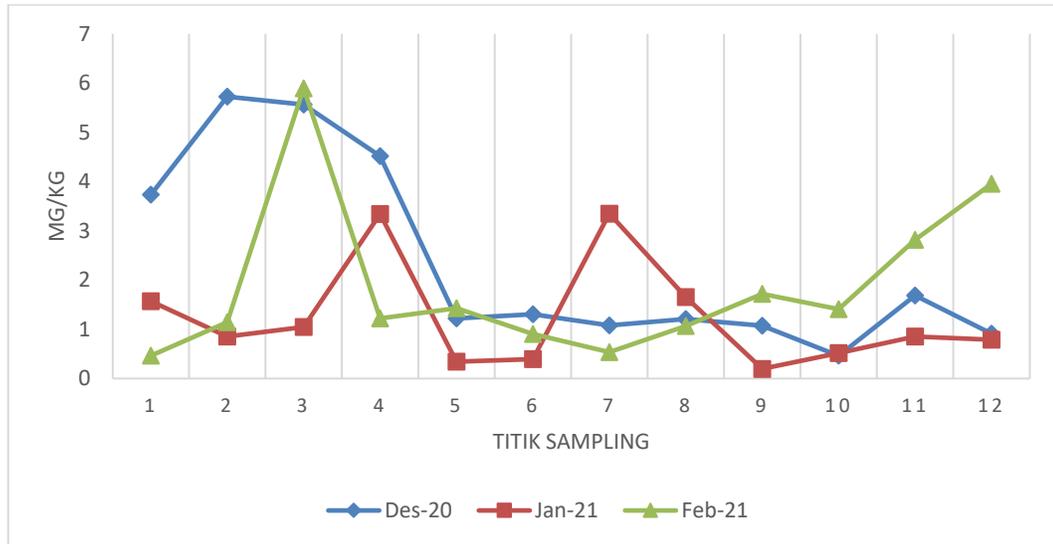
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32, terlihat perbedaan yang cukup jauh pada penurunan konsentrasi logam Ni pada sampling 2 dan 3. Hal ini dikarenakan pada bulan Januari – Februari 2021 merupakan puncak musim penghujan sehingga logam berat yang terkandung dalam badan air Sungai Winongo terencerkan. Hal ini sependapat dengan penelitian Prartono dan Nurjaya (2016), yang menyatakan bahwa pengambilan sampel pada saat musim hujan dapat menyebabkan kadar logam berat cenderung lebih kecil dikarenakan adanya pelarutan, dimana logam berat terencerkan oleh air hujan. Jika dikaitkan dengan parameter fisik TDS, terlihat bahwa konsentrasi logam Ni tertinggi pada padatan tersuspensi berada pada Titik 12 sedangkan pada sedimen Titik 12 memiliki konsentrasi logam Ni yang rendah. Hal ini diduga disebabkan oleh kenaikan konsentrasi TDS yang cukup tinggi pada Titik 12. Hal tersebut menandakan hadirnya TDS di badan sungai memiliki hubungan yang erat dengan adanya logam berat (Eleonora *et al*, 2016). Logam berat yang terlarut secara signifikan akan mempengaruhi TDS pada badan air karena TDS memiliki komposisi yang terdiri dari garam, logam, metaloid dan bahan organik terlarut. Adanya industri *electroplating*, industri kertas, serta industri baja pada mengambil peran dalam tinggi atau rendahnya konsentrasi logam berat Ni pada sampling 1 di Sungai Winongo. Selain itu menurut Bhardwaj & Sharma (2019), lalu lintas kendaraan di sekitar daerah sungai juga menjadi penyumbang hadirnya logam Ni pada badan air.

Berdasarkan Gambar 4.33, nilai median dari logam Ni pada padatan tersuspensi yang diperoleh secara berturut-turut dari 3 kali pengambilan sampel yaitu 2,65 mg/kg, 2,13 mg/kg, dan 1,40 mg/kg. Perbandingan ketiga box memiliki nilai median yang berbeda dan tidak berada di tengah box dan memiliki whisker yang lebih panjang pada bagian bawah sehingga data tidak simetris (miring). Terlihat juga pada bulan Januari memiliki box yang lebih panjang sehingga memiliki tingkat distribusi dan penyebaran data yang lebih banyak. Pada *box* Desember 2020 dan Januari 2021 memiliki outlier pada bagian bawah yang disertai whisker bagian bawah lebih panjang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*), sedangkan pada *box* Februari 2021 memiliki whisker yang lebih panjang pada bagian atas sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

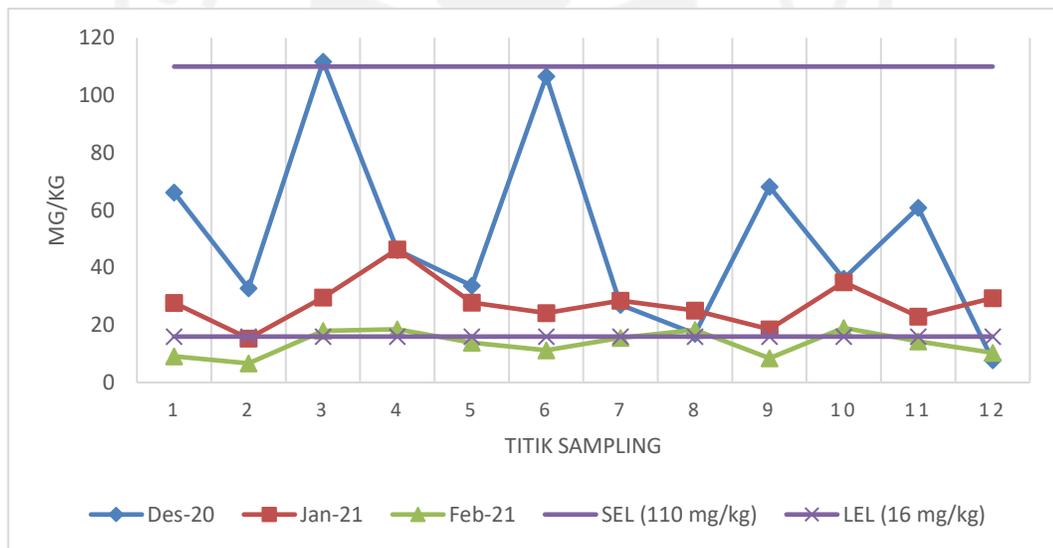
Kandungan logam nikel pada sedimen di perairan Sungai Winongo berdasarkan penelitian dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) menunjukkan adanya penurunan yang disajikan dalam Gambar 4.33. Grafik *box-plot* dalam Gambar 4.33 menunjukkan nilai median kandungan nikel dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) berturut-turut yaitu sebesar 4,79 mg/kg; 1,97 mg/kg; dan 1,67 mg/kg. Data diatas dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Pada *box* bulan Desember 2020 memiliki outlier dan garis whisker yang lebih panjang bagian bawah sehingga dapat dikatakan distribusi data pada bulan Desember 2020 cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*). Untuk data *box-plot* pada bulan Januari 2021 – Februari 2021 memiliki outlier di bagian atas *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang yang mana menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3.4 Logam Berat Tembaga (Cu)

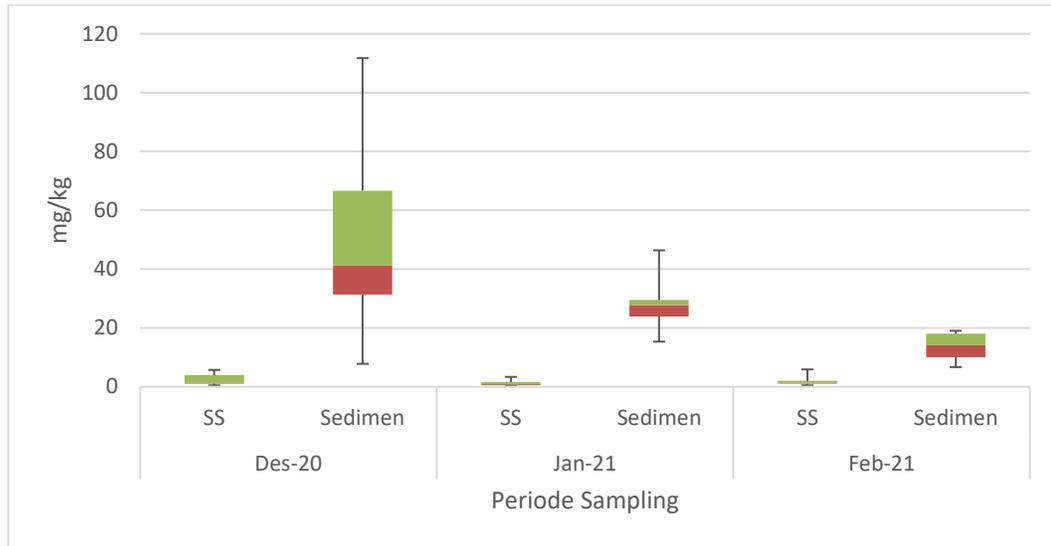
Dapat dilihat pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36 merupakan hasil pengukuran konsentrasi logam tembaga (Cu) pada padatan tersuspensi dan sedimen dengan tiga kali pengambilan sampel di Sungai Winongo.



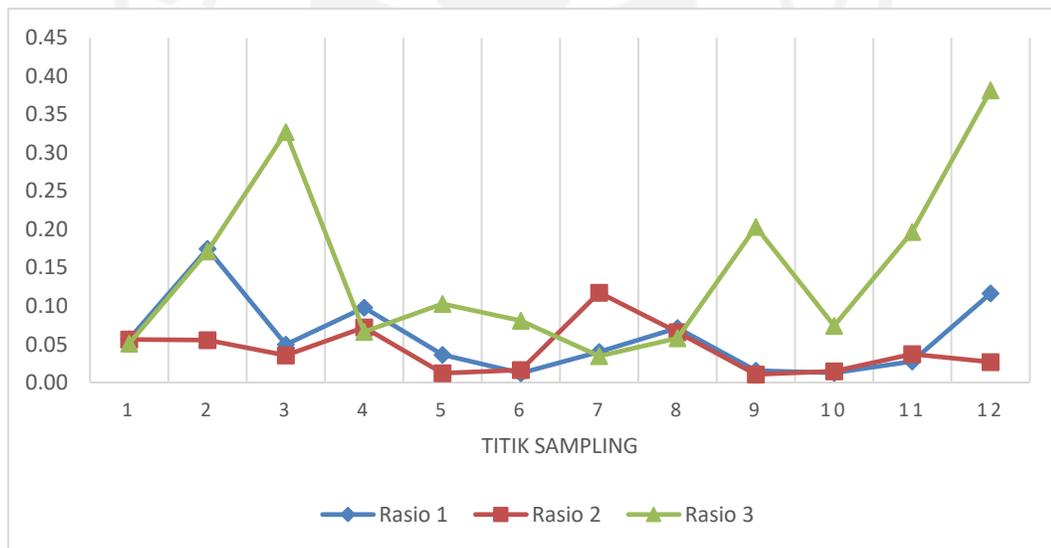
Gambar 4. 35 Kandungan Logam Cu Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 36 Kandungan Logam Cu Pada Sedimen Sungai Winongo



Gambar 4. 37 Analisis Box-Plot Logam Cu Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 38 Grafik Rasio Logam Cu

Berdasarkan Gambar 4.35, konsentrasi logam tembaga (Cu) pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo memiliki konsentrasi terendah pada Titik 9 sampling 2 yaitu 0,20 mg/kg dan konsentrasi tertinggi terdapat pada Titik 3 sampling 3 yaitu 5,89 mg/kg.

Data yang didapatkan berdasarkan Gambar 4.36 menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cu pada sedimen yang terendah berada pada Titik 2 sampling 3 yaitu 6,68 mg/kg dan tertinggi berada pada Titik 3 sampling 1 yaitu 117,74 mg/kg. Menurut *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*, nilai batas mutu terkecil logam Cu yaitu 16 mg/kg dan batas mutu tertinggi untuk tingkat keparahan kontaminasi Cu adalah 110 mg/kg. Hasil analisis kandungan logam Cu dalam sedimen Sungai Winongo, umumnya konsentrasi logam Cu dalam sedimen Sungai Winongo berada diantara nilai LEL dan SEL yaitu kualitas sedimen dengan kategori tercemar sedang. Akan tetapi, hasil penelitian kandungan logam Cu bulan Desember 2020, menunjukkan nilai konsentrasi Cu telah melebihi batas baku mutu nilai SEL yaitu 110 mg/kg, hal ini ditemukan pada titik sampling 3 dengan nilai kadar Cu sebesar 111,74 mg/kg.

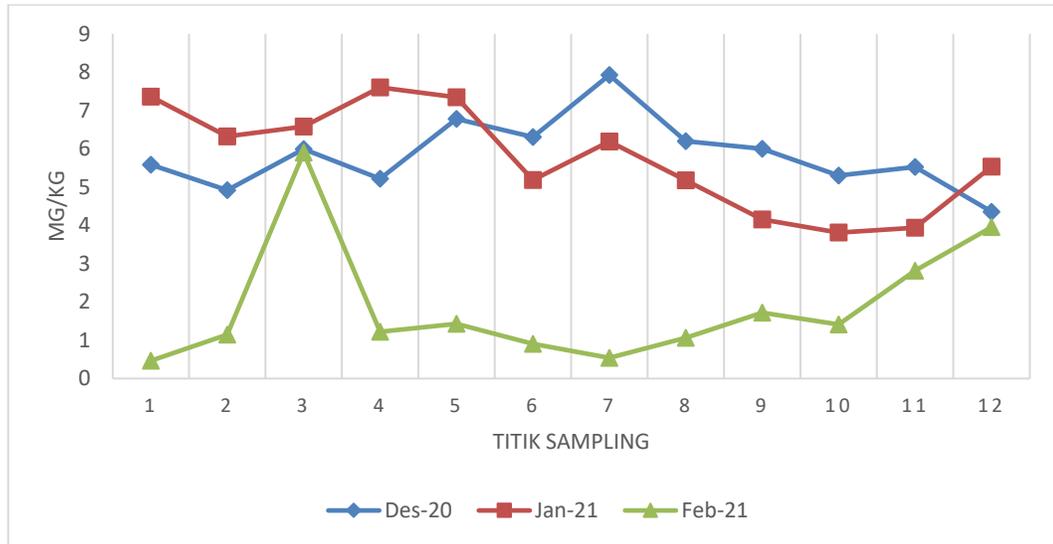
Peningkatan dan penurunan kadar logam Cu di padatan tersuspensi dan sedimen memiliki nilai yang berbeda-beda pada tiap titik sampling. Terlihat pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36, kandungan logam Cu pada padatan tersuspensi dan sedimen memiliki konsentrasi yang tinggi pada Titik 3. Hal ini diduga disebabkan karena banyaknya bengkel yang mana menggunakan zat warna dan alat-alat listrik dalam prosesnya menjadi penyumbang utama masuknya limbah logam Cu pada badan air. Selain itu, tingginya kadar logam Cu pada Titik 3 juga bersumber dari buangan limbah domestik rumah tangga karena lokasi tersebut berada di tengah padatnya pemukiman penduduk. Keberadaan unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan. Logam Cu termasuk dalam kelompok logam esensial, yang mana dalam kadar rendah, logam ini dibutuhkan oleh organisme sebagai kofaktor enzim dalam proses metabolisme tubuh, sedangkan dalam kadar yang tinggi bersifat racun (Fitriyah dkk., 2013). Berdasarkan Laporan Akhir DLH Kabupaten Bantul (2020), kandungan logam berat Cu pada Sungai Winongo telah melampaui baku mutu air kelas I (0,02 mg/L) pada Pergub. DIY nomor 20 Tahun 2008, dengan konsentrasi hingga 0,08 mg/L.

Berdasarkan Gambar 4.37, nilai median dari logam berat Cu pada Padatan Tersuspensi yang diperoleh secara berturut-turut dari 3 kali pengambilan sampel yaitu 1,26 mg/kg, 0,85 mg/kg, dan 1,32 mg/kg. Pada bulan Desember memiliki box yang lebih panjang yang berarti persebaran data pada bulan Desember lebih beragam. Hasil perbandingan ketiga box pada grafik *box-plot* pada Gambar 4.37, pada masing-masing box memiliki nilai median yang berbeda dan nilai median tersebut tidak berada di tengah box dan whiskernya lebih panjang pada bagian bawah. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga box tidak simetris (miring). Adanya outlier pada bagian atas *box* yang disertai whisker bagian atas lebih panjang menunjukkan bahwa distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*).

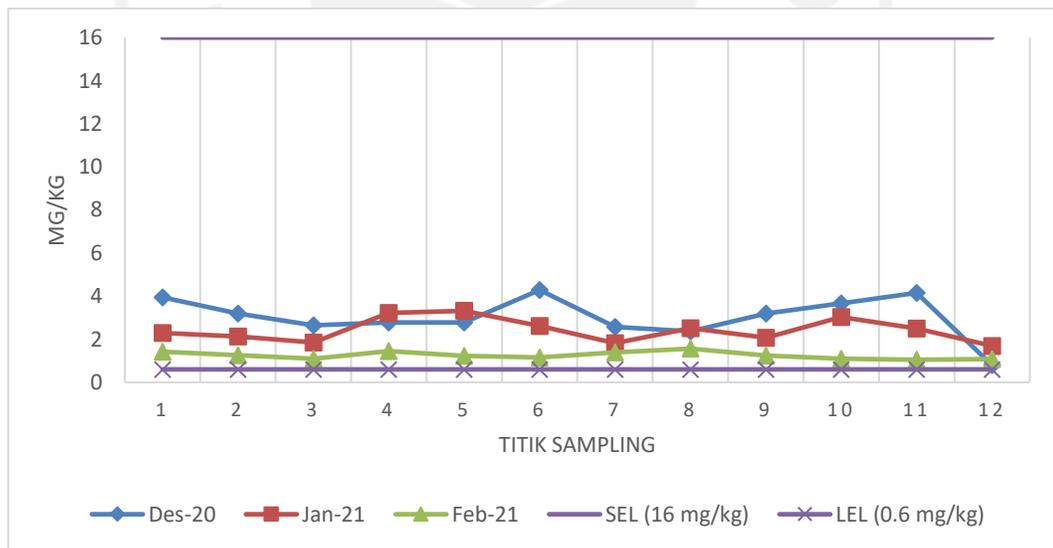
Grafik *box-plot* dalam Gambar 4.37 juga menunjukkan hasil analisis kandungan logam berat Cu dalam sedimen di Sungai Winongo. Hasil penelitian yang dilakukan pada bulan Desember 2020 – Februari 2021 menunjukkan nilai median pada masing-masing waktu berturut-turut adalah sebesar 41,18 mg/kg; 27,83 mg/kg; dan 14,10 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.38, distribusi data dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Untuk data *box-plot* pada bulan Desember 2020 – Januari 2021 memiliki outlier di bagian atas *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang yang mana menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*). Sedangkan *box* bulan Februari 2021 memiliki outlier dan garis whisker yang lebih panjang bagian bawah sehingga dapat dikatakan distribusi data pada bulan Desember 2020 cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*).

4.3.5 Logam Berat Kadmium (Cd)

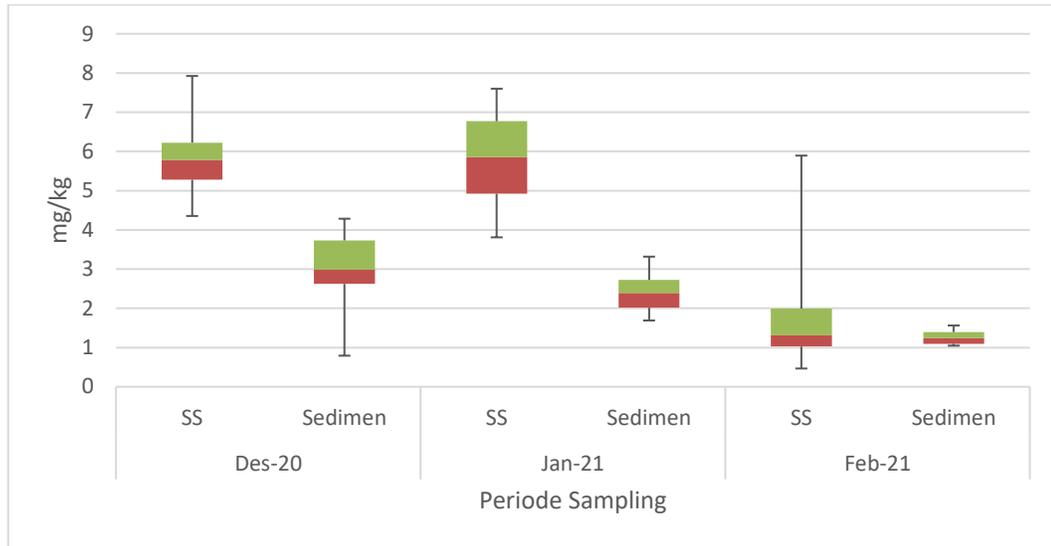
Berikut merupakan hasil pengukuran konsentrasi logam kadmium (Cd) pada padatan tersuspensi dan sedimen dengan tiga kali pengambilan sampel di Sungai Winongo yang tersaji pada Gambar 4.39 dan Gambar 4.40.



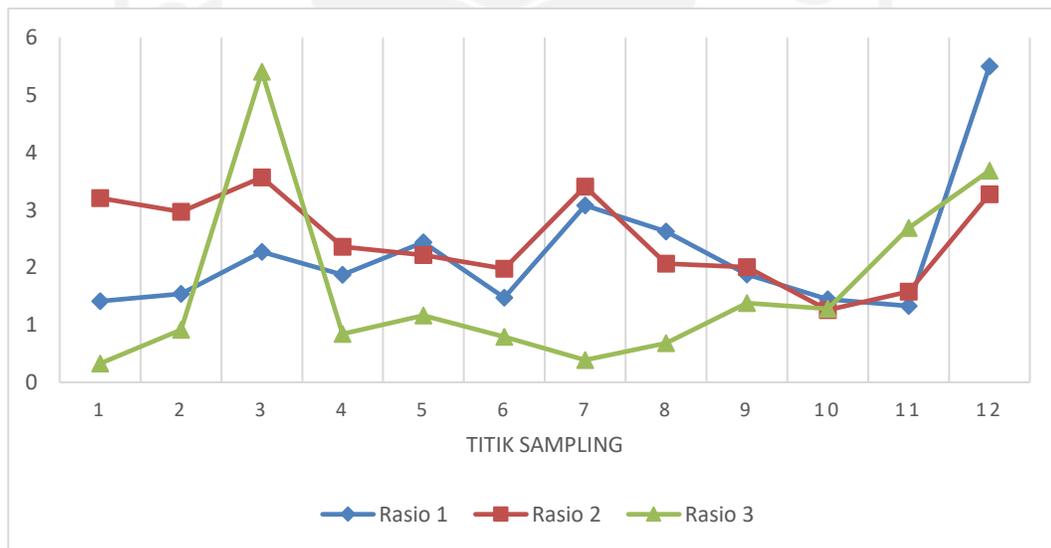
Gambar 4. 39 Kandungan Logam Cd Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 40 Kandungan Logam Cd Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 41 Analisis Box-Plot Logam Cd Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 42 Grafik Rasio Logam Cd

Dapat dilihat pada Gambar 4.39, kandungan logam kadmium (Cd) pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo menunjukkan bahwa sampling 1 dan 2 mendominasi adanya pencemaran logam Cd dalam padatan tersuspensi. Konsentrasi terendah logam Cd berada pada Titik 1 sampling 3 yaitu 0,46 mg/kg dan tertinggi berada pada Titik 7 sampling 1 yaitu 7,92 mg/kg.

Berdasarkan Gambar 4.40, kandungan logam Cd pada Sedimen memiliki kandungan terendah pada Titik 12 sampling 1 yaitu 0,79 mg/kg dan tertinggi berada pada Titik 6 sampling 1 yaitu 4,29 mg/kg. Berdasarkan hasil analisis kandungan logam berat Cd dalam sedimen di Sungai Winongo jika dibandingkan dengan batas baku mutu dari *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*, menunjukkan sedimen Sungai Winongo telah melebihi batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) >0,6 mg/kg

Jika dibandingkan dengan parameter pendukung (pH), titik sampling 6 dan 7 memiliki kandungan pH yang cukup tinggi yaitu 8-8,43 yang mana pada air yang bersifat basa maka logam Cd akan teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan mengendap di sedimen. Pada badan air yang bersifat basa, logam Cd akan mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Logam Cd akan terlarut dalam air dan akan mengalami proses adsorpsi oleh partikel tersuspensi dan mengendap di sedimen. Proses ini akan diikuti oleh proses desorpsi yang mengembalikan logam Cd ke dalam bentuk terlarut dalam badan air (Sanusi, 2006). Hal ini juga didukung oleh parameter suhu dimana pada Titik 6 dan 7 memiliki rentang suhu dengan nilai 26,1 – 28 °C. Suhu mempengaruhi konsentrasi logam berat di kolom air dan sedimen, kenaikan suhu air yang lebih dingin akan memudahkan logam berat mengendap ke sedimen.

Konsentrasi logam Cd yang ada di badan air sungai secara alamiah terdapat di alam dan juga diduga berasal dari kegiatan manusia. Faktor yang berasal dari kegiatan manusia yaitu sampah yang dibuang ke sungai yang mengandung logam Cd seperti kabel, baterai dan barang elektronik (WHO, 2011). Unsur logam Cd sudah banyak dibutuhkan dalam kegiatan industri modern sebagai bahan pembuatan pipa air, bahan pembuatan cat, campuran bahan bakar bensin, dan baterai (Dewi *et al*, 2018).

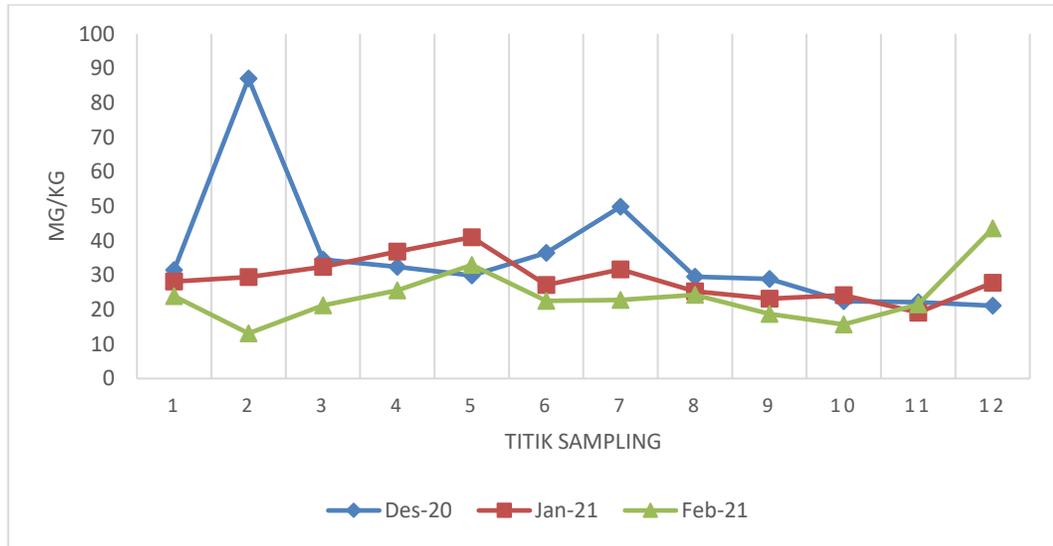
Berdasarkan grafik analisis pada Gambar 4.41, nilai median dari logam berat Cd pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo berturut-turut yaitu 5,79 mg/kg, 5,86 mg/kg dan 1,32 mg/kg. Terlihat bahwa dari ketiga *box* memiliki nilai median yang

berbeda meskipun pada *box* Desember 2020 dan Januari 2021 terlihat sejajar. Pada ketiga *box* memiliki whisker yang lebih panjang dari yang lainnya sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga data tidak simetris (miring). Pada data Desember 2020 dan Februari 2021 memiliki outlier disertai dengan whisker di bagian atas yang lebih panjang, hal ini menunjukkan bahwa distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*), sedangkan pada data Februari 2021 memiliki outlier di bagian bawah dan whisker di bagian bawah yang lebih panjang sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*).

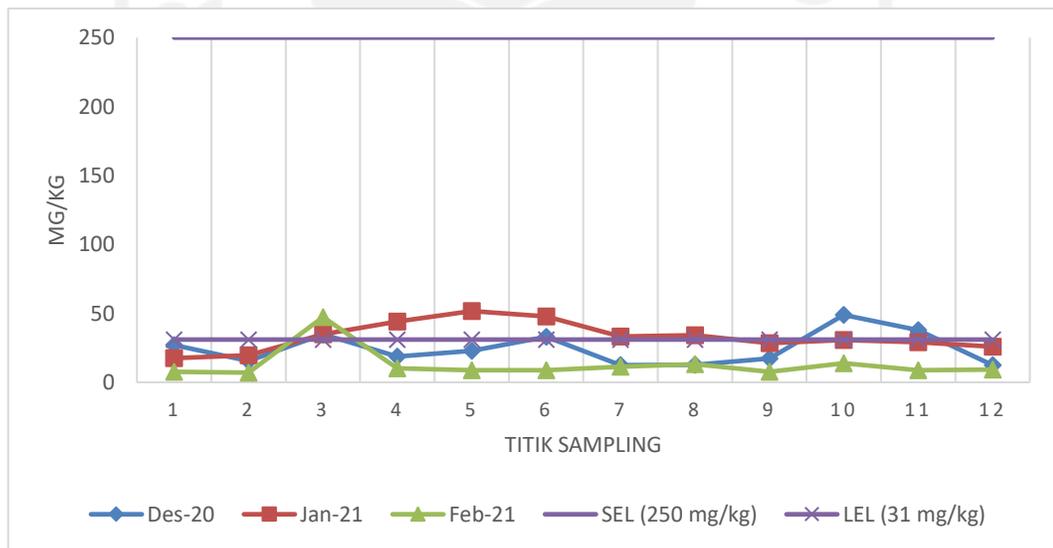
Konsentrasi logam berat Cd pada grafik *whisker box & plot* yang disajikan dalam Gambar 4.41 menunjukkan bahwa nilai median logam berat Cd dalam 3 bulan yaitu pada bulan Desember 2020 – Februari 2021 mengalami penurunan. Data yang diperoleh dari penelitian ini bahwa nilai median konsentrasi logam kadmium setiap bulannya adalah 2,99 mg/kg; 2,39 mg/kg; dan 1,24 mg/kg. Berdasarkan grafik *box-plot* pada Gambar 4.42, distribusi data dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Untuk data *box-plot* bulan Desember 2020 memiliki outlier dan garis whisker yang lebih panjang bagian bawah sehingga dapat dikatakan distribusi data pada bulan Desember 2020 cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*). Sedangkan *box-plot* pada bulan Januari 2021 – Februari 2021 memiliki outlier di bagian atas *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang yang mana menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3.6 Logam Berat Timbal (Pb)

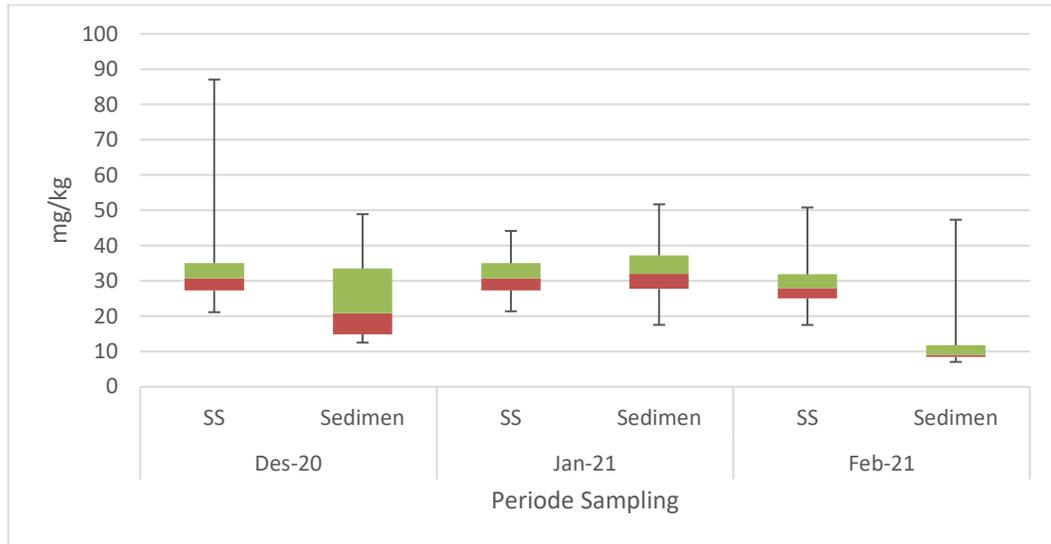
Hasil pengukuran konsentrasi logam timbal (Pb) dengan tiga kali pengambilan sampel pada padatan tersuspensi dan sedimen di Sungai Winongo dapat dilihat pada grafik yang tersaji pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44 berikut.



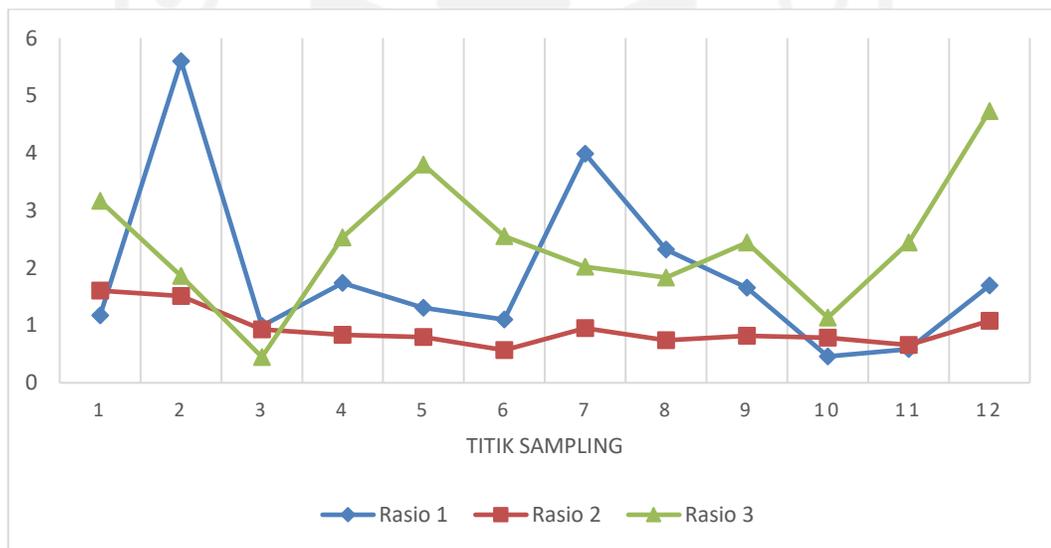
Gambar 4. 43 Kandungan Logam Pb Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 44 Kandungan Logam Pb Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 45 Analisis Box-Plot Logam Pb Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 46 Grafik Rasio Logam Pb

Hasil pengamatan logam Pb dalam padatan tersuspensi di Sungai Winongo yang tersaji pada Gambar 4.43 menunjukkan bahwa kandungan logam Pb terendah berada pada Titik 2 sampling 3 yaitu 13,10 mg/kg dan tertinggi berada pada Titik 2 sampling 1 yaitu 87,05 mg/kg.

Berdasarkan Gambar 4.44 diatas, menunjukkan bahwa kadar logam Pb terendah berada pada Titik 2 sampling 3 yaitu 7,04 mg/kg dan tertinggi berada pada Titik 5 sampling 2 yaitu 51,69 mg/kg. Dari hasil analisis kadar logam berat Pb pada sedimen di Sungai Winongo memiliki konsentrasi yang sangat bervariasi. Sebagian besar, kualitas sedimen Sungai Winongo tidak melebihi batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) yang ditetapkan dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* sebesar 31 mg/kg. Dari hasil analisis kadar logam berat Pb pada sedimen di Sungai Winongo memiliki konsentrasi yang sangat bervariasi. Sebagian besar, kualitas sedimen Sungai Winongo tidak melebihi batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) yang ditetapkan dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* yaitu 31 mg/kg.

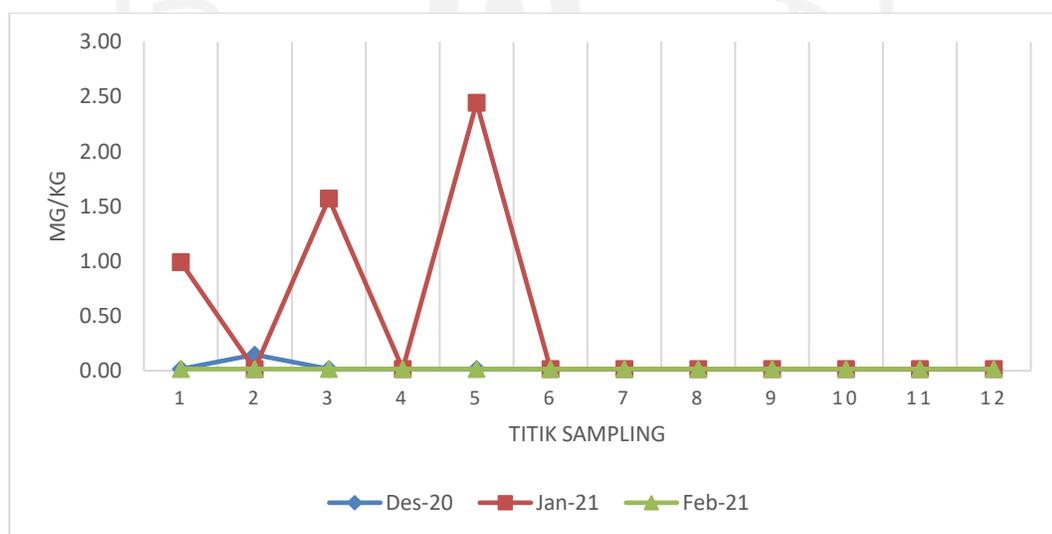
Tingginya konsentrasi logam Pb pada padatan tersuspensi di Titik 2 dan sedimen di Titik 5 disebabkan karena cukup banyak bahan kontaminasi yang masuk ke badan air yang mana lokasi tersebut merupakan daerah yang padat penduduk dan bersebelahan langsung dengan jalan raya. Sumber pencemar logam berat Pb dapat berasal dari pengkristalan emisi bahan bakar kendaraan bermotor di udara yang mengandung Pb dengan bantuan air hujan (Hidayah, *et al*, 2012). Kandungan logam berat Pb di air juga dapat dipengaruhi oleh banyaknya sampah yang dibuang oleh masyarakat ke badan air, dalam sampah ini biasanya terdapat baterai dan kabel yang mana menyumbang peran dalam peningkatan konsentrasi logam berat Pb di badan air.

Berdasarkan Grafik *box-plot* pada Gambar 4.45, nilai median dari logam berat Pb pada Padatan Tersuspensi dengan pada periode tersebut berturut-turut yaitu 30,70 mg/kg, 27,94 mg/kg dan 22,63 mg/kg. Nilai median dari ketiga periode tersebut tidak berada di tengah box (tidak sejajar satu sama lain) dan salah satu whiskernya lebih panjang dari yang lainnya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa data tidak simetris (miring). Kemudian dari adanya outlier pada bagian atas *box* yang disertai whisker bagian atas lebih panjang menunjukkan bahwa distribusi data logam Pb dari ketiga periode cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

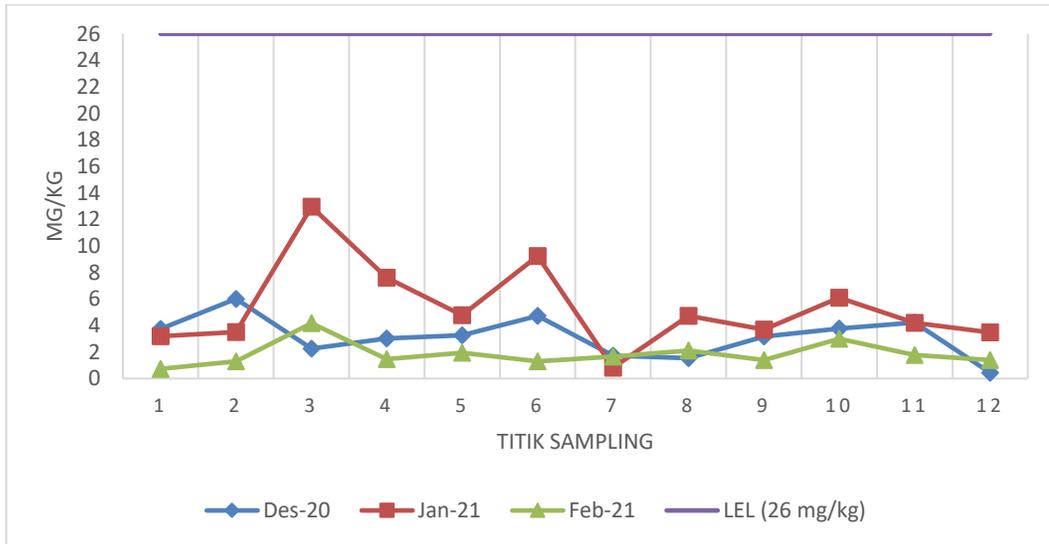
Nilai median yang diperoleh dari analisis kandungan Pb pada Sedimen dari waktu ke waktu secara berturut-turut adalah sebesar 20,80 mg/kg; 32,02 mg/kg; dan 9,01 mg/kg. Distribusi data logam Pb pada Sedimen dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Ketiga data memiliki outlier di bagian atas *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang yang mana menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3.7 Logam Berat Kromium (Cr)

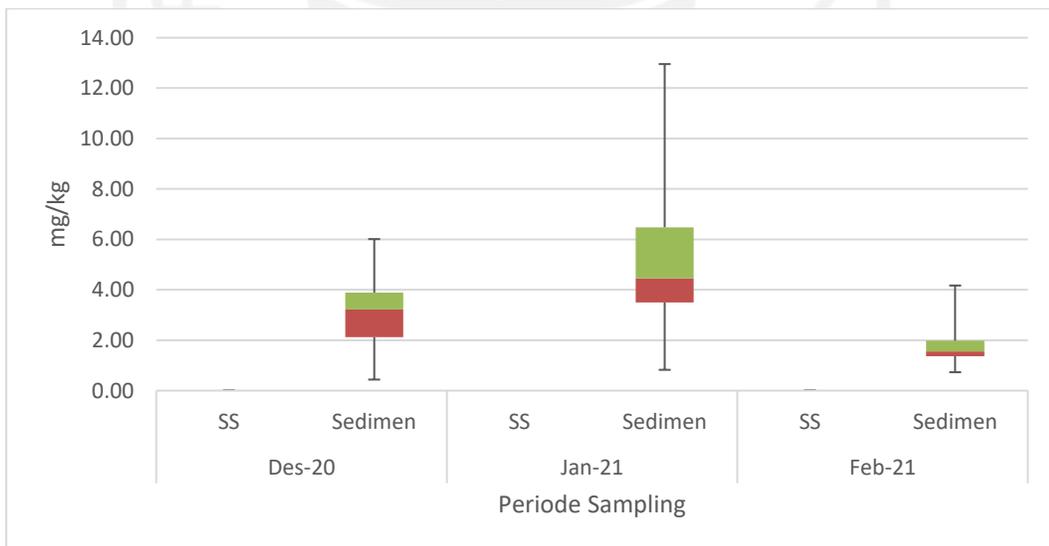
Data hasil pengukuran konsentrasi logam kromium (Cr) pada padatan tersuspensi dengan tiga kali pengambilan sampel memiliki kadar yang sangat rendah dan berada dibawah tingkat batas deteksi alat SSA (Spektrofotometer Serapan Atom), sehingga nilai yang digunakan adalah nilai LoD yang mana merupakan batas terkecil yang menyatakan konsentrasi analit terendah yang mampu dideteksi oleh jenis, sampel, metode dan instrumen tertentu (Barwick *et al*). Nilai LoD untuk logam Cr yaitu $\leq 0,02$ mg/kg. Nilai logam Cr tergolong rendah pada Padatan Tersuspensi dikarenakan logam Cr memiliki sifat yang mudah mengikat bahan organik dan lebih mudah mengendap dan terakumulasi pada sedimen.



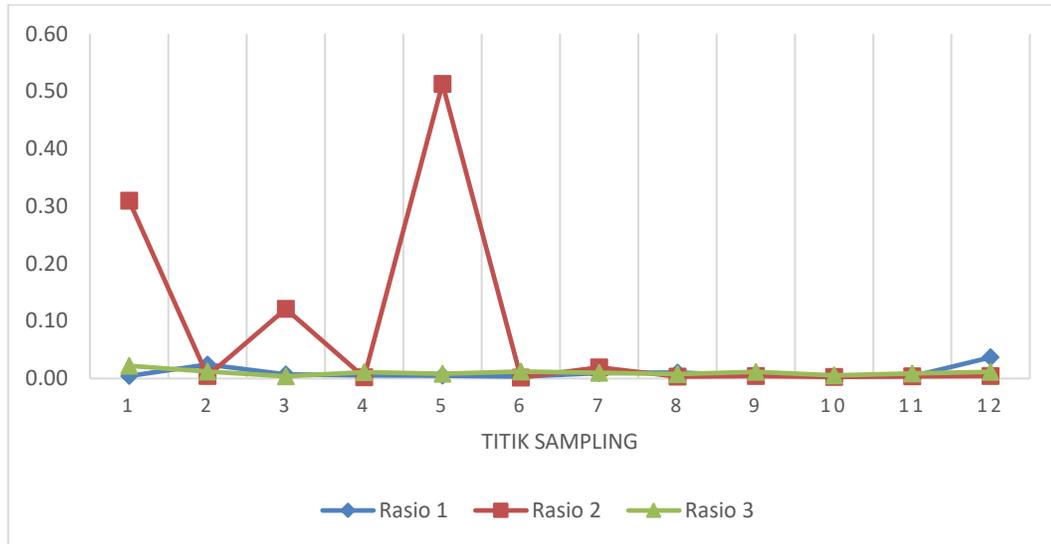
Gambar 4. 47 Kandungan Logam Cr Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 48 Kandungan Logam Cr Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 49 Analisis Box-Plot Logam Cr Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 50 Grafik Rasio Logam Cr

Konsentrasi logam Cr yang terdeteksi cukup besar pada padatan tersuspensi pada Titik 1, Titik 3, dan Titik 5 diduga berasal dari sumber alamiah seperti aktivitas vulkanik dan limbah persawahan yang menggunakan pupuk dan pestisida. Hal ini didukung juga oleh Daelsch *et al* (2006) yang menyatakan logam Cr merupakan logam yang berasal dari alam seperti aktivitas vulkanik dan aktivitas antropogenik seperti pertanian yang menggunakan pupuk dan pestisida. Konsentrasi logam Cr pada padatan tersuspensi dan sedimen di Titik 3 memiliki kandungan yang tertinggi. Hal ini dapat dikaitkan dengan parameter kimia pH yang mana pada Titik 3 memiliki konsentrasi yang cukup tinggi. Sesuai dengan pendapat Nuraini *et al* (2017) yang menyatakan nilai pH yang meningkat dapat membentuk senyawa kompleks, yaitu transformasi wujud karbonat menjadi hidroksida yang sukar larut pada air sehingga akan bergabung dengan unsur air lalu mengendap di dasar perairan. Faktor lain yang juga menyebabkan tingginya kadar logam Cr pada Titik 3 masing-masing parameter yaitu adanya difusi Cr dari tanah yang terkontaminasi air lindi dari industri (Bhardwaj & Sharma, 2019).

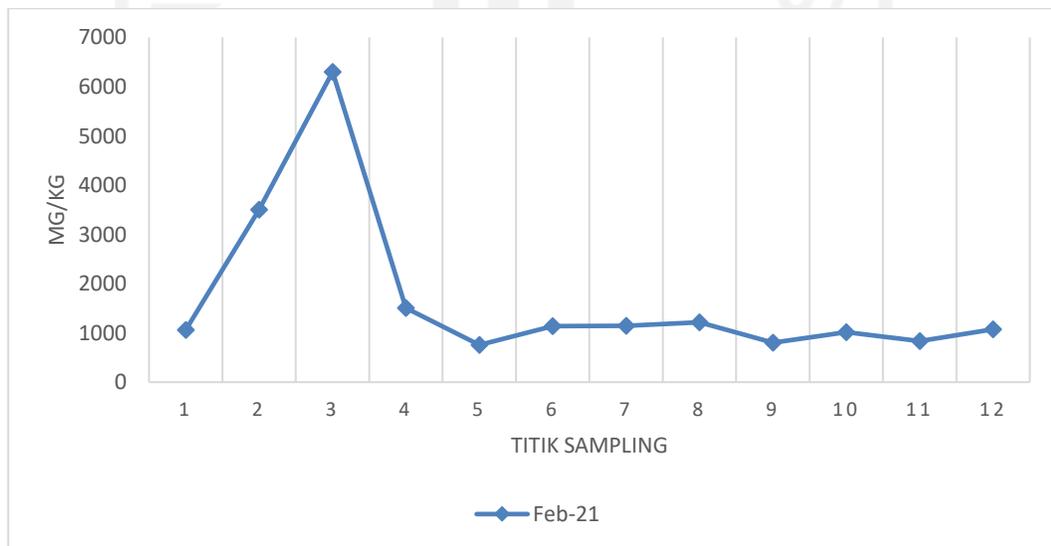
Berdasarkan Gambar 4.48, konsentrasi logam Cr pada sedimen Sungai Winongo memiliki nilai terendah sebesar 0,44 mg/kg pada Titik 12 sampling 1 dan

tertinggi sebesar 2,25 mg/kg pada Titik 3 sampling 2. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisis kandungan logam krom (Cr) dalam sedimen Sungai Winongo menunjukkan bahwa nilai kandungan kromium masih berada dibawah batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) yaitu <26 mg/kg.

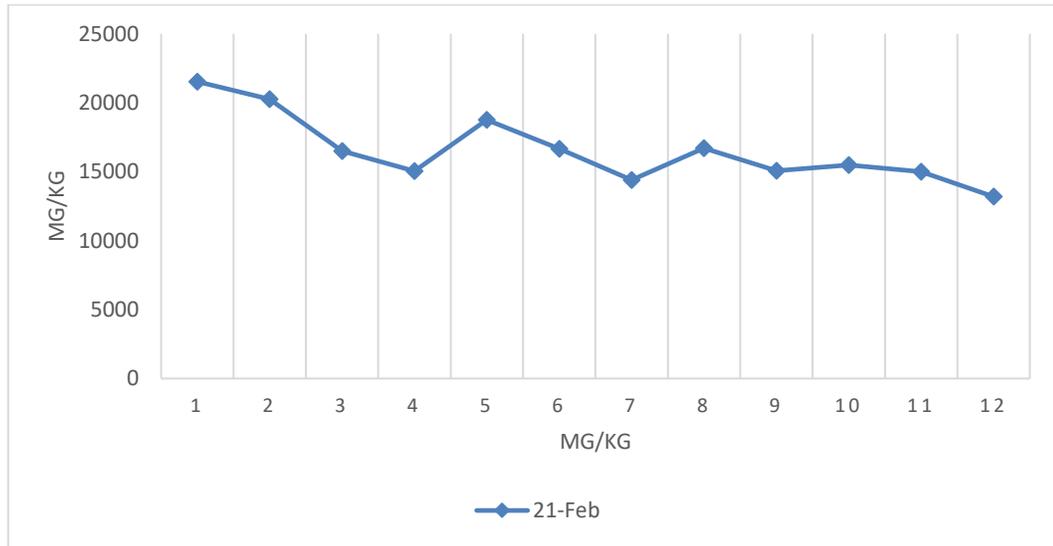
Berdasarkan grafik *boxplot* pada Gambar 4.49 dapat ditemukan bahwa nilai median kandungan logam Cr dalam sedimen di Sungai Winongo dari waktu ke waktu berturut-turut adalah 3,22 mg/kg; 4,46 mg/kg; dan 1,56 mg/kg. Distribusi data pada Gambar 4.47 dapat dikatakan tidak simetris (miring) dikarenakan median dari ketiga data tidak berada di tengah *box* dan salah satu whiskernya panjang dari yang lainnya. Ketiga data memiliki outlier di bagian atas *box* dan disertai whisker yang bagian atas lebih panjang yang mana menunjukkan distribusi data cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*).

4.3.8 Logam Berat Aluminium (Al)

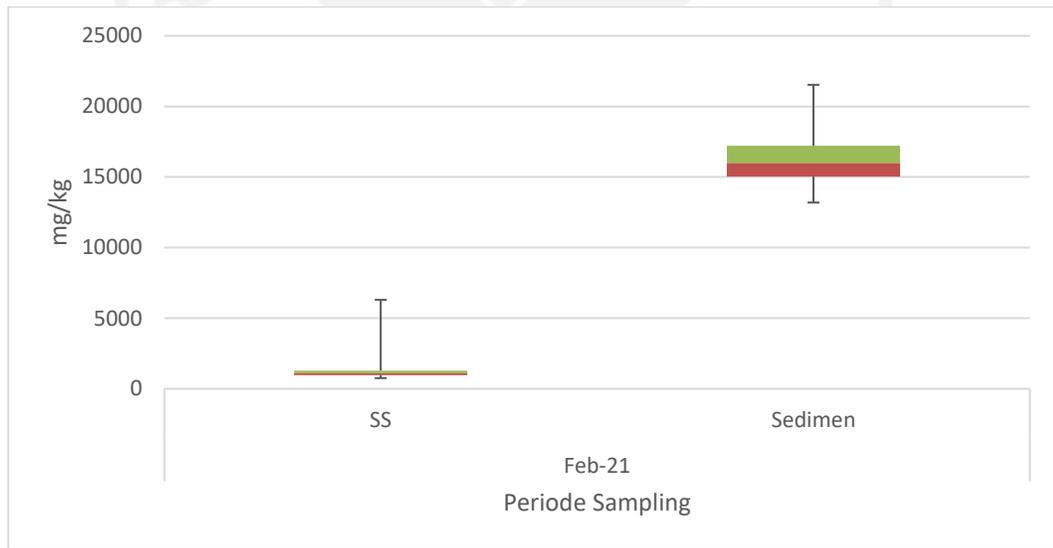
Data hasil pengukuran konsentrasi logam aluminium (Al) pada padatan tersuspensi dan sedimen pada sampling ketiga sepanjang Sungai Winongo dapat dilihat pada Gambar 4.50 dan Gambar 4.51 berikut.



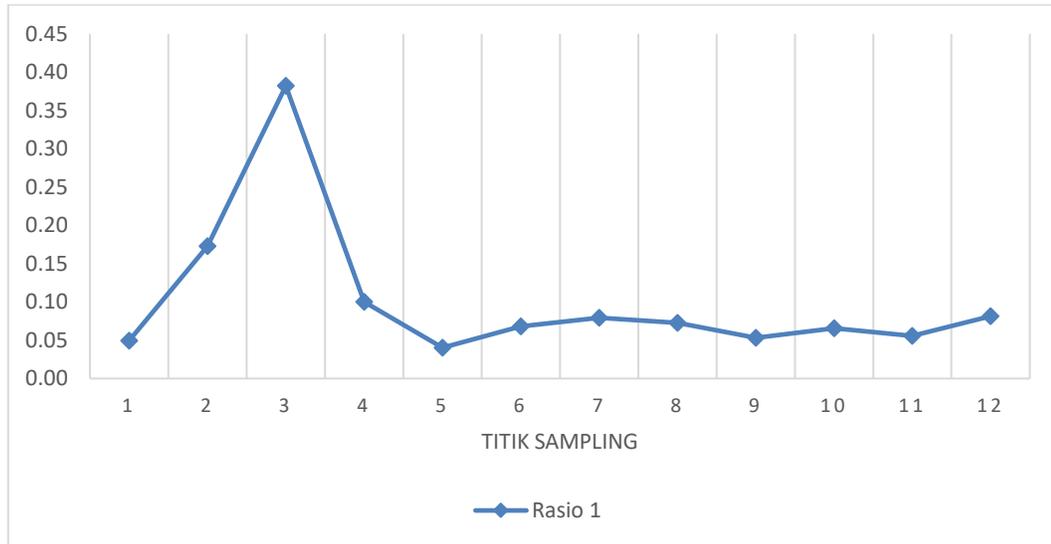
Gambar 4. 51 Kandungan Logam Al Pada Padatan Tersuspensi Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 52 Kandungan Logam Al Pada Sedimen Perairan Sungai Winongo



Gambar 4. 53 Analisis Box-Plot Logam Al Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen



Gambar 4. 54 Grafik Rasio Logam Al

Berdasarkan hasil perhitungan dan dapat dilihat pada Gambar 4.50, konsentrasi Al pada padatan tersuspensi yang didapatkan di sepanjang Sungai Winongo bersifat fluktuatif pada bagian hulu dan tengah, namun cenderung stabil pada bagian hilir sungai. Konsentrasi logam berat Al berkisar antara 755,49 mg/kg – 6301,44 mg/kg dengan rata-rata 1695,71 mg/kg. Konsentrasi tertinggi berada pada Titik 3 yaitu 6301,44 mg/kg sedangkan konsentrasi terendah berada pada Titik 5 yaitu 755,49 mg/kg.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.51 dapat diketahui bahwa konsentrasi logam Al bersifat fluktuatif pada bagian hulu dan tengah, namun pada bagian hilir cenderung stabil. Konsentrasi logam Al pada sedimen berkisar dari 14.406,84 – 21.532,87 mg/kg dengan konsentrasi tertinggi berada pada Titik 1 dan terendah berada pada Titik 7.

Dilihat dari hasil yang di dapatkan, pada bagian hulu Sungai Winongo memiliki konsentrasi logam Al yang cenderung tinggi dibandingkan bagian tengah dan hilir. Hal ini dapat disebabkan oleh hujan asam yang diakibatkan dari kegiatan industri yang mana dapat menjadi alasan utama peningkatan kadmium aluminium dalam air karena hujan

asam mengurangi pH air sehingga menyebabkan pelarutan bentuk antropogenik dan alami (Hedge, 2019). Pada bulan Februari merupakan puncak dari musim penghujan. Selain itu, adanya aktivitas vulkanik dari Gunung Merapi yang masih aktif dan pelapukan/erosi batuan juga menjadi penyumbang tingginya kadar aluminium pada bagian hulu sungai sehingga kemungkinan menjadi penyumbang logam dalam perairan Sungai Winongo. Menurut penelitian Wahyuni (2012), bahwasannya abu atau material yang berasal dari letusan gunung berapi mengandung oksida beberapa unsur logam seperti Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, dan K seperti belerang dan juga dapat ditemukan beberapa unsur logam berat Pb, Cd, dan As.

Nilai median yang didapat dari hasil pengukuran logam berat Al pada padatan tersuspensi pada periode Februari 2021 adalah 1105,40 mg/kg. Berdasarkan grafik *boxplot* pada Gambar 4.52, distribusi logam Al memiliki panjang kotak yang cukup kecil yang menandakan bahwa tingkat penyebaran atau keragaman data cenderung sempit. Letak median yang tidak berada di tengah box serta salah satu whiskernya panjang bagian atas menandakan bahwa data tidak simetris atau cenderung menjulur ke arah kanan (*positive skewness*). Kemiringan yang bernilai positif (*positive skewness*) berarti bahwa ekor distribusi berada di sebelah kanan nilai terbanyak dan sebagian besar distribusi berada di nilai rendah. Sedangkan kemiringan yang bernilai negatif (*negative skewness*) berarti bahwa ekor distribusi berada di sebelah kiri yang menunjukkan bahwa sebagian besar nilai berada di sisi kanan kurva.

Dari grafik *boxplot* Gambar 4.52 dijelaskan bahwa nilai median yang didapatkan dari analisis aluminium terhadap sedimen Sungai Winongo yaitu sebesar 15992,70 mg/kg. Distribusi data logam berat Al pada Sedimen tidak simetris dikarenakan nilai median yang tidak berada pada tengahnya serta garis whiskernya cenderung lebih panjang bagian bawah sehingga distribusi data cenderung menjulur ke arah kiri (*negatif skewness*). Kemiringan yang bernilai negatif (*negative skewness*) berarti bahwa ekor distribusi berada di sebelah kiri yang menunjukkan bahwa sebagian besar nilai berada di sisi kanan kurva.

4.4 Analisis Korelasi Logam Berat Antara Padatan Tersuspensi dan Sedimen

Analisis korelasi merupakan metode statistika yang digunakan untuk menentukan suatu besaran yang menyatakan bagaimana kuat hubungan suatu variabel dengan variabel lain dengan tidak mempersoalkan apakah suatu variabel tertentu tergantung pada variabel lain (Sekaran, 2010). Semakin nyata hubungan linier (garis lurus), maka semakin kuat atau tinggi derajat hubungan garis lurus antara kedua variabel atau lebih.

Analisis korelasi logam berat antara padatan tersuspensi dan sedimen dilakukan menggunakan metode korelasi *Pearson Product Moment*. Korelasi Pearson merupakan korelasi sederhana yang hanya melibatkan satu variabel terikat (dependent) dan satu variabel bebas (independent). Analisis korelasi *Pearson* bertujuan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antar variabel (logam berat pada padatan tersuspensi dan sedimen) yang dinyatakan dengan koefisien korelasi (r). Jenis hubungan antar variabel logam pada padatan tersuspensi dan sedimen dapat bersifat positif dan negatif. Jika positif maka semakin tinggi variabel x , semakin tinggi pula variabel y , begitu sebaliknya. Lalu jika negatif maka semakin tinggi variabel x , maka semakin rendah variabel y , begitu sebaliknya. Seperti yang diungkapkan oleh Ronny Kountur (2009), data yang berskala interval atau rasio dapat menggunakan korelasi Pearson. Selain itu, signifikansinya tidak hanya harus memenuhi persyaratan pengukuran tersebut, tetapi harus pula menganggap data berdistribusi normal. Untuk itu, pada penelitian ini dilakukan pengujian asumsi untuk melihat kenormalan pendistribusian data. Pengujian asumsi dilakukan dengan menggunakan analisis Saphiro Wilk dengan melihat nilai signifikansi $> \alpha$ dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Sampling 1

No.	Variabel	Signifikansi	Keterangan
1	X Fe	0.018	Tidak Normal

2	X Mn	0.000	Tidak Normal
3	X Ni	0.282	Normal
4	X Cu	0.007	Tidak Normal
5	X Cd	0.811	Normal
6	X Pb	0.001	Tidak Normal
7	X Cr	0.000	Tidak Normal
8	Y Fe	0.011	Tidak Normal
9	Y Mn	0.202	Normal
10	Y Ni	0.683	Normal
11	Y Cu	0.279	Normal
12	Y Cd	0.290	Normal
13	Y Pb	0.147	Normal
14	Y Cr	0.999	Normal

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Sampling 2

No.	Variabel	Signifikansi	Keterangan
1	X Fe	0.925	Normal
2	X Mn	0.100	Normal
3	X Ni	0.591	Normal
4	X Cu	0.010	Tidak Normal
5	X Cd	0.332	Normal
6	X Pb	0.945	Normal
7	X Cr	0.000	Tidak Normal
8	Y Fe	0.417	Normal
9	Y Mn	0.094	Normal
10	Y Ni	0.269	Normal
11	Y Cu	0.300	Normal

12	Y Cd	0.462	Normal
13	Y Pb	0.692	Normal
14	Y Cr	0.125	Normal

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Sampling 3

No.	Variabel	Signifikansi	Keterangan
1	X Fe	0.068	Normal
2	X Mn	0.046	Tidak Normal
3	X Ni	0.181	Normal
4	X Cu	0.006	Tidak Normal
5	X Cd	0.006	Tidak Normal
6	X Pb	0.081	Normal
7	X Cr	0.000	Tidak Normal
8	X Al	0.000	Tidak Normal
9	Y Fe	0.011	Tidak Normal
10	Y Mn	0.022	Tidak Normal
11	Y Ni	0.683	Normal
12	Y Cu	0.279	Normal
13	Y Cd	0.290	Normal
14	Y Pb	0.147	Normal
15	Y Cr	0.999	Normal
16	Y Al	0.225	Normal

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Asumsi (Normalitas) Keseluruhan Sampling

No	Variabel	Signifikansi	Keterangan
1	XFe	0.819	Normal
2	XMn	0.677	Normal
3	XNi	0.769	Normal
4	XCu	0.094	Normal
5	XCd	0.209	Normal
6	XPb	0.669	Normal
7	XCr	0.000	Tidak Normal
8	XAl	0.000	Tidak Normal
9	YFe	0.361	Normal
10	YMn	0.239	Normal
11	YNi	0.088	Normal
12	YCu	0.592	Normal

13	YCd	0.069	Normal
14	YPb	0.500	Normal
15	YCr	0.840	Normal
16	YAl	0.225	Normal

Pada penelitian ini termasuk dalam analisis statistik parametrik yang memberikan syarat bahwa data harus mengikuti distribusi normal. Data pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 yang memiliki distribusi tidak normal, akan ditransformasikan menggunakan fungsi logaritma dengan *software* SPSS. Transformasi data bertujuan untuk menormalkan data yang tidak berdistribusi normal (dalam statistik dianjurkan dan tidak menyalahi aturan) karena data hasil transformasi itu sendiri sudah diseragamkan sesuai dengan masing-masing data untuk mengubah ke dalam bentuk lain. Sehingga data penelitian ini berasumsi bahwa menerima H_0 yang mana data-data tersebut berdistribusi normal.

Uji korelasi Pearson memiliki pedoman derajat hubungan sebagai berikut:

Nilai Korelasi Pearson 0,00 s/d 0,20	= Korelasi sangat lemah
Nilai Korelasi Pearson 0,21 s/d 0,40	= Korelasi lemah
Nilai Korelasi Pearson 0,41 s/d 0,60	= Korelasi sedang
Nilai Korelasi Pearson 0,61 s/d 0,80	= Korelasi kuat
Nilai Korelasi Pearson 0,81 s/d 1,00	= Korelasi sempurna

Nilai korelasi *Pearson* terhadap padatan tersuspensi dan sedimen dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Nilai Korelasi Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen Tiap Periode Sampling

Variabel	Periode Sampling								
	Desember 2020			Januari 2021			Februari 2021		
	Sig	r	R ²	Sig	r	R ²	Sig	r	R ²
Fe	0.995	-0.002	0.0004%	0.233	0.372	13.85%	0.144	-0.448	20.06%
Mn	0.638	0.152	2.30%	0.013	-0.668	44.62%	0.567	0.184	3.39%
Ni	0.072	0.537	28.88%	0.897	0.042	0.18%	0.959	0.017	0.03%
Cu	0.235	0.371	13.78%	0.974	0.011	0.01%	0.582	0.177	3.13%

Cd	0.636	0.152	2.33%	0.688	0.130	1.68%	0.219	-0.383	14.70%
Pb	0.221	-0.382	14.56%	0.066	0.547	29.92%	0.231	-0.374	14.00%
Cr	0.043	0.480	23.08%	0.367	0.193	3.72%	0.000	0	0.00%
Al							0.478	0.227	5.15%

Tabel 4. 6 Nilai Korelasi Pada Padatan Tersuspensi dan Sedimen Keseluruhan

Variabel	Sig	r	R ²
Fe	0.639	-0.151	2.28%
Mn	0.816	-0.075	0.56%
Ni	0.635	-0.153	2.34%
Cu	0.246	0.363	13.18%
Cd	0.212	-0.388	15.05%
Pb	0.292	-0.332	11.02%
Cr	0.370	0.285	8.12%
Al	0.478	0.227	5.15%

Berdasarkan hasil analisis korelasi *Pearson* pada Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa korelasi logam berat Fe pada Desember 2020 termasuk dalam kategori korelasi yang sangat lemah dengan nilai korelasi sebesar -0,002. Pada Januari 2021 korelasi logam berat Fe termasuk dalam kategori lemah dengan nilai korelasi sebesar 0,372 serta pada bulan Februari korelasi logam berat Fe termasuk dalam kategori korelasi sedang. Kemudian untuk logam berat Mn pada Desember 2020 termasuk dalam kategori korelasi yang sangat lemah dengan nilai korelasi sebesar 0,152. Pada Januari 2021 termasuk dalam kategori korelasi kuat dengan nilai korelasi sebesar -0,668 sedangkan pada bulan Februari 2021 termasuk dalam kategori korelasi yang sangat lemah dengan nilai korelasi sebesar 0,184. Hubungan logam berat Ni pada padatan tersuspensi dan sedimen di bulan Desember 2020 termasuk dalam kategori korelasi yang kuat dengan nilai korelasi sebesar 0,537, sedangkan untuk bulan Januari 2021 – Februari 2021 termasuk dalam kategori sangat lemah dengan nilai korelasi berturut-turut ialah 0,042 dan 0,017. Korelasi logam berat Cu pada bulan Desember yaitu 0,371, yang mana termasuk dalam kategori korelasi lemah. Sedangkan pada bulan Januari 2021 – Februari 2021 termasuk dalam kategori sangat lemah dengan nilai korelasi

berturut-turut ialah 0,011 dan 0,177. Korelasi logam berat Cd pada bulan Desember 2020 – Januari 2021 masuk dalam kategori korelasi sangat lemah dengan nilai korelasi berturut-turut sebesar 0,152 dan 0,130, sedangkan untuk bulan Februari 2021 masuk dalam kategori korelasi lemah dengan nilai korelasi sebesar -0,383. Korelasi logam berat Pb pada bulan Desember 2020 dan Februari 2021 masuk dalam kategori korelasi lemah dengan nilai korelasi berturut-turut sebesar -0,382 dan -0,374, sedangkan pada bulan Januari 2021 masuk dalam kategori korelasi sedang dengan nilai korelasi sebesar 0,547. Untuk logam berat Cr digunakan korelasi *Rank Spearman* dikarenakan distribusi data tidak bisa dinormalkan dengan nilai korelasi berturut-turut adalah 0,480, 0,193 dan 0,00. Untuk logam berat Al pada bulan Februari 2021 masuk dalam kategori sangat lemah dengan nilai korelasi sebesar -0,160.

Data pada Tabel 4.6 merupakan data keseluruhan atau data rata-rata logam berat yang telah diuji menggunakan korelasi Pearson. Dapat diketahui bahwa nilai korelasi logam berat Fe, Mn dan Ni masuk ke dalam rentang 0,00 s/d 0,20 yang berarti termasuk dalam kategori korelasi sangat lemah. Sedangkan nilai korelasi logam berat Cu, Cd, Pb, Cr dan Al masuk ke dalam rentang 0,21 s/d 0,40 yang berarti termasuk dalam kategori korelasi lemah.

Hubungan logam berat antara padatan tersuspensi dan sedimen di Sungai Winongo sebagian besar berkorelasi positif dan sebagiannya lagi berkorelasi negatif. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan antara logam berat di padatan tersuspensi dan di sedimen. Arti dari korelasi positif sendiri yakni semakin tinggi kandungan logam berat pada padatan tersuspensi, maka semakin tinggi pula kandungan logam berat pada sedimen. Sedangkan untuk korelasi negatif berarti semakin tinggi kandungan logam berat pada padatan tersuspensi, maka semakin rendah kandungan logam berat pada sedimen. Begitu juga sebaliknya.

Nilai korelasi yang tidak sama antar titik sampling dikarenakan banyak faktor seperti kondisi air dan substrat yang tidak sama tiap lokasi. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat dalam badan air sungai termasuk pada

padatan tersuspensi dan sedimen yaitu jenis logam berat, jenis atau ukuran organisme, lama pemaparan, serta kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH, dan salinitas, kuat arus dan kedalaman sungai. Pengendapan logam berat di suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida. Menurut Hutagalung (1991), logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen cenderung lebih tinggi dibandingkan pada fasa lain. Sifat fisik dan kimia material padatan tersuspensi yang memiliki kemampuan mengadsorpsi logam berat terlarut dalam kolom air, maka deposisi padatan tersuspensi dalam suatu perairan akan menyebabkan akumulasi logam berat tersebut selain material organik dalam sedimen (Sanusi, 2006). Kandungan logam berat yang menumpuk pada air dan sedimen akan masuk ke dalam sistem rantai makanan dan berpengaruh pada kehidupan organisme (Said, Irwan, *et al*, 2009).

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari hubungan logam berat di padatan tersuspensi dan sedimen (Tabel 4.5), logam Mn memiliki korelasi yang paling kuat dibanding logam berat lainnya. Pada logam Mn, korelasi antara padatan tersuspensi dan sedimen merupakan yang paling tinggi hingga mencapai -0,668. Sedangkan pada Tabel 4.6 nilai korelasi tertinggi terjadi pada logam Cd dengan nilai korelasi sebesar -0,388. Nilai ini berarti semakin tinggi konsentrasi logam Mn atau Cd di padatan tersuspensi, semakin rendah konsentrasi logam Mn di sedimen, begitupun sebaliknya. Keberadaan mangan dan kadmium di sedimen sangat dipengaruhi oleh keberadaan mangan di padatan tersuspensi (dengan koefisien determinasi mencapai 44,62% dan 15,05%).

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan. Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh.

1. Kandungan logam Fe, Mn, Ni, Cu, Cd, Pb, Cr dan Al pada padatan tersuspensi di Sungai Winongo, yaitu untuk logam Fe berkisar 31,09 – 193,44 mg/kg, logam Mn berkisar 3,99 – 79,28 mg/kg, logam Ni berkisar 0,07 – 3,44 mg/kg, logam Cu berkisar 0,20 – 5,89 mg/kg, logam Cd berkisar 0,46 – 7,92 mg/kg, logam Pb berkisar 13,10 – 87,05 mg/kg, logam Cr berkisar 0,02 – 2,44 mg/kg, dan logam Al berkisar 755,49 – 6301,44 mg/kg. Sedangkan untuk sedimen, yaitu untuk logam Fe berkisar 1501,22 – 3257,51 mg/kg, untuk kandungan logam Mn berkisar 0,04 – 431,37 mg/kg, logam Ni berkisar 0,04 – 7,69 mg/kg, logam Cu berkisar 6,68 – 117,74 mg/kg, logam Cd berkisar 0,79 – 4,29 mg/kg, logam Pb berkisar 7,04 – 51,69 mg/kg, logam Cr berkisar 0,44 – 2,25 mg/kg, dan logam Al berkisar 14.406,84 – 21.532,87 mg/kg.
2. Korelasi antara padatan tersuspensi dan sedimen sebagian besar memiliki korelasi positif (memiliki bentuk hubungan yang positif) dengan arti semakin tinggi konsentrasi logam berat pada padatan tersuspensi, maka semakin tinggi pula konsentrasi konsentrasi logam berat di sedimen. Begitu sebaliknya. Korelasi tertinggi terdapat pada logam Mn dengan nilai -0,668 dan Cd (Keseluruhan) dengan nilai -0,388. Nilai minus ini memiliki bentuk hubungan yang negatif, yang berarti semakin tinggi konsentrasi logam Mn pada padatan tersuspensi, maka semakin rendah konsentrasi logam Mn di sedimen. Begitu sebaliknya.

5.2 Saran

Pencemaran logam berat Fe, Mn, Ni, Cu, Cd, Pb, Cr, dan Al pada Sungai Winongo perlu diperhatikan secara serius, karena mengingat akan timbulnya dampak buruk bagi keseimbangan lingkungan hidup serta kesehatan biota air dan manusia. Serta perlu adanya penelitian lanjutan tentang kandungan logam berat Fe, Mn, Ni, Cu, Cd, Pb, Cr, dan Al pada padatan tersuspensi dan sedimen di Sungai Winongo.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Badaii, F., Shuhaimi-Othman, M., dan Gasim, M.B. 2013. Water Quality Assessment of the Semenyih River, Selangor, Malaysia. *Journal of Chemistry*(2013), hal. 10.
- Annisa, W., & E. Hanudin. 2013. Peran Ligan Organik terhadap Pembentukan Oksida Besi di Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 7(1), hal. 37-46.
- Almeida, J. A., Barreto, R. E., Novelli, L. B., Castro, F. J., and Moron, S. E. 2009. Oxidative Stress Biomarkers and Aggressive Behavior in Fish Exposed to Aquatic Cadmium Contamination. *Neotropical Ichthyology*, 7, p. 103-108.
- Aringstrom, M.F., Osterholm, P., Gustafsson, J.P., Nystrand, M., Peltola, P., Nordmyr, L., and Boman, A. 2012. Attenuation of rare earth elements in a boreal estuary, Auckland, New Zealand. *Environ. Monit. Assess*, 136, p. 227-238.
- Aritonang, A.P., Riad, S & Walfred, T. 2014. Penentuan Konduktivitas Listrik dan Kajian Kualitas Air Sungai Siak Menggunakan Metode Jembatan Wheatstone. *JOM FMIPA*, 1, p. 1-9
- Bobocea, A.C., Fertig, E.T., Pislea, M., Seremet, T., Katona, G., Magdalena Mocanu, I.O., Doaga, I.O., Radu, E., Horvath, J., Tanos, E., Katona, L., and Katona, E., 2008. Cadmium and Soft Laser Radiation Effects on Human T Cells Viability and Death Style Choices. *Romanian J. biophys*, 18, p. 179-193.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan. SNI 7387:2009*. Jakarta: BSN.
- Cahyadi, W. 2004. *Bahaya Pencemaran Timbal Pada Makanan dan Minuman*. Bandung: Fakultas Teknik Unpas Departemen Farmasi Pascasarjana ITB.

- Carpenter, D. 2009. *Change Your Water, Change Your Life*. United State of America: Alliance Press.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Duruibe, J. O., M.O.C. Ogwuegbu, & J.N. Ekwurugwu. 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), p. 112-118.
- Dong, A., Zhai, S., Zabel, M., Yu, Z., Zhang, H., and Liu, F. 2012. Heavy metals in Changjiang estuarine and offshore sediments responding to human activities. *Acta Oceano*, 31, p. 88-101.
- Effendi, F., Tresnaningsih, E., Sulistomo, A. W., Wibowo, S., Hudoyo, K.S. 2012. *Penyakit Akibat Kerja Karena Paparan Logam Berat*. Jakarta: Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Faisal, W. & Nuraini. 2010. Validasi Metode AANC Untuk Pengujian Unsur Mn, Mg, dan Cr Pada Cuplikan Sedimen di Sungai Gajahwong. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, 13(1), hal. 27-36.
- Fauziah, A.R., B.S. Rahardja, and Y. Cahyoko. 2012. Korelasi ukuran kerang darah (*Anadara granosa*) dengan konsentrasi logam berat Merkuri (Hg) di muara Sungai Ketingan, Sidoarjo Jawa Timur. *J. Marine and Coastal Sci*, 1(1), p. 34-44.
- Fitriyah, A. W., Utomo, Y., dan Kusumaningrum, I. K. 2013. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *Skripsi*. Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Malang.
- Flora, S. J. S., 2009. Metal Poisoning: Treatment and Management. Review Article. *Al Ameen. J. Med. Sci*, 2, p. 4-26.

- Fu, J., Zhao, C., Luo, Y., Liu, C., Kyzas, G.Z., Luo Y., Zhao D., An, S., Zhu, H. 2014. Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: Their relations to environmental factors. *J Hazard Mater*, 270, p. 102-109.
- Fernanda, L. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) dan Sifat Fraksionasinya pada Sedimen Laut. Depok. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Handayani, R.I., N.K Dewi., dan B. Priyono. 2014. *Akumulasi Kromium (Cr) Pada Daging Ikan Nila Merah (Oreochromis ssp.) Dalam Karamba Jaring Apung di Sungai Winongo Yogyakarta*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Hasim, Koniyo Y, Kasim, F. 2015. Parameter Fisik-Kimia Perairan Danau Limboto sebagai Dasar Pengembangan Perikanan Budidaya Air Tawar. *Jurnal Ilmiah dan Kelautan*, 3(4), hal. 130-136.
- Hidayah, A. M., Purwanto, P., & Soeprobawati, T.R. 2014. Biokonsentrasi faktor logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di karamba Danau Rawa Pening. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 16(1), hal. 1-9.
- Huri, E. & Syafriadiman. 2010. Pengaruh Konsentrasi $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (Aluminium Potassium Sulfat) terhadap Perubahan Bukaan Operkulum dan Sel Jaringan Insang Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*). *Berkala Perikanan Terubuk*. 37(2), hal. 21-26.
- Hutagalung, H.P. 1991. *Pencemaran Laut Oleh Logam Berat. Dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya*. Jakarta: P30-LIPI Hal 45-59.
- Hutagalung, H. P. Dan A. Rozak. 1997. *Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota*. Jakarta: LIPI.

- Ihsan, E., G. Candra., & A. Putra. 2014. Alumunium. **Materi Kuliah: Kimia**. Padang. Universitas Padang, Indonesia.
- Islam, M.S., Ahmed, M.K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., Islam, M.K. 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assesment of an urban river in a developing country. *Ecol. Indic*, 48, p. 282-291.
- Kadhum, S.A., Ishak, M.Y., Zulkifli, S.Z., Hashim, R.B., 2015. Evaluation of the status and distribution of heavy metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. *Water Res*, 38, p. 569-578.
- Kristianingrum, S. 2012. *Kajian Berbagai Proses Destruksi Sampel dan Efeknya*. Yogyakarta: UNY Press.
- Liao, J., Ru, X., Xie, B., Zhang, W., Wu, H., Wu, C., Wei, C. 2017. Multi-phase distribution and comprehensive ecological risk assessment of heavy metal pollutants in a river affected by acid mine drainage. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 141, p. 75-84.
- Mukhtasor. 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Munandar, K., & Eurika, N. 2016. Keanekaragaman Ikan yang Bernilai Ekonomi dan Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Ikan Sapu-Sapu di Sungai Bedadung Jember. *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), hal. 717-722.
- Mustafa, A., Hasnawi, H., Tarunamulia, T., Selamat, M.B., Samawi, M.F. 2019. Distribusi Polutan Logam Berat di Perairan Pantai yang Digunakan untuk Memasok Tambak Udang Terdekat dan Mitigasinya di Kecamatan Jabon Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Riset Akuakultur*, 14(2), hal. 127-138.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. New York: Mc Graw Hill Inc.

- Najamuddin, T. Prartono, H. S. Sanusi & I. W. Nurjaya. 2016. Distribusi dan perilaku Pb dan Zn terlarut dan partikulat di perairan Estuaria Jeneberang Makassar. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 8(1): 11-28.
- Nontji, A. 2007. *Laut Nusantara (edisi revisi)*. Jakarta: Jembatan.
- Notoatmodjo, S., 2011. *Kesehatan Masyarakat Ilmu dan Seni*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Palar, H. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, Edisi ke-2*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Patty, S. I. 2013. Distribusi Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Di Perairan Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(3), 148–157.
- Primawati, Fissa Septy. 2016. Sistem Penjernihan Air Groundtalk LPPMP UNY Sebagai Air Minum Dengan Memanfaatkan Karbon Aktif Batok Kelapa, Pasir Aktif Pantai Indrayanti, Dan Kerikil Aktif Kali Krasak. *Jurnal Fisika*, 5(3), p. 169-178.
- Purbalisa, W., & Mulyadi. 2013. Pb Dan Cu Pada Badan Air Dan Tanah Sawah Sub-Das Solo Hilir Kabupaten Lamongan. *Agrologia*, 2(2), hal. 116–123.
- PermenLHK Nomor 68, 2016. *Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*.
- Praveena SM, Radojevic M, Abdullah MH. 2007. The Assessment of Mangrove Sediment Quality in Mengkabong Lagoon: An Index Analysis Approach. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2(3), p. 60 – 68.
- Rahmawati, 2011. Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak Di Bergas Kabupaten Semarang Dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai. *Tesis*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Riyanto, Slamet & Nugrahanti, Fatim. 2018. Pengembangan Pembelajaran Statistika Berbasis Praktikum Aplikasi Software SPSS dengan Bantuan Multimedia untuk

- Mempermudah Pemahaman Mahasiswa terhadap Ilmu Statistika. *Journal of Computer and Information Technology*, 1(2), hal. 62-67.
- Said, Irwan, M. Noor Jalaluddin, Ambo Upe, Abd. Wahid Wahab. 2009. *Penetapan Konsentrasi Logam Berat Krom dan Timbal dalam Sedimen Estuaria Sungai Matangpondo Palu*. Sulawesi Selatan: Universitas Tadulako, Universitas Hasanuddin.
- Said, Nusa Idaman. 2000. *Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilm Tercelup*. JTL. DTL. BPPT.
- Sanusi, H.S. 2006. *Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- 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.
- Singovszka, Eka., et al. 2017. *Metal Pollution Indices of Bottom Sediment and Surface Water Affected by Acid Mine Drainage*. Slovakia: Institute of Environment Engineering, Technical University of Kosice.
- Situmorang, M. 2007. *Kimia Lingkungan*. Medan: FMIPA-UNIMED.
- Sukoasih, A., & Widiyanto, T. (2017). Hubungan Antara Suhu, pH Dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Badan Air Sungai Rompong Dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4), 360–368.
- Sunardi, 2006. *116 Unsur Kimia Deskripsi dan Pemanfaatannya*. Bandung: Yrama Widya.

- Suthar, S., Nema, A.K., Chabudkdhara, M., Gupta, S.K., 2009. Assesment of metals in water and sediments of Hindon River, India: impact of industrial and urban discharges. *J. Hazard Mater*, 171, p. 1088-1095.
- Suwarsito & Sarjanti, Esti 2014. Analisa Spasial Pencemaran Logam Berat Pada Sedimen dan Biota Air Di Muara Sungai Serayu Kabupaten Cilacap. Available at: <http://geoedukasi.ump.ac.id/>
- Setiawan, B. 2007. *Pola Penyebaran dan Konsentrasi Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah di Sekitar TPA Jatibarang*. Semarang : FSM UKSW
- Tri Joko. 2010. *Unit Produksi dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Uday Ranjan Joseph T dan Babu Ramesh K. 2016. Heavy Metal Risk Assessment in Bhavanapadu Creek Using Three Potamidid Snails *Telescopium*, *Cerithidea obtusa* and *Cerithidea cingulata*. *Journal of Environmental and Analytical Toxicologi*. Department of Marine Living Resources, College of Science and Technology, Andhra University, Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India
- Urbasa, P.A., Undap, S.L. & Rompas, R.J. 2015. Dampak Kualitas Air pada Budi daya Ikan dengan Jaring Tancap di Desa Toulimembet Danau Tondano. *Jurnal Budi daya Perairan*, 3(1), p. 59-67.
- Widowati, W. 2008. *Efek Toksikologi Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta : PT Andi Offset.
- Widyatusti, R. 2009. *Kemelimpahan Larva Chronomidae Berdasarkan Gradien Lingkungan Sungai Winongo Yogyakarta*. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wiwoho, 2005. *Model Identifikasi Daya Tampung Beban Cemar Sungai Dengan QUAL2E*. *Tesis*. Universitas Diponegoro, Semarang.

- Wulandari EA dan Sukesi. 2013. Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd, dan Cu Dalam Nugget Ayam Rumput Laut Merah. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(2), hal. 15-17.
- World Health Organization. 1987. *IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: Report of the seventeenth session*. Reports and Studies No.31. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Zhang, Y., Zhou, J., Gao, F.J., Zhang, B.J., Ma, B., Li, L.Q., 2015. Comprehensive ecological risk assessment for heavy metal pollutions in three phases in rivers. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25, p. 3436-3441.
- Zhao, S., Feng, C., Wang, D., Liu, Y., Shen, Z., 2013. Salinity increases the mobility of Cd, Cu, Mn, and Pb in the sediments of Yangtze Estuary: relative role of sediments' properties and metal speciation. *Chemosphere*, 91, p. 97-984.
- Zhuang, P., McBride, M.B., Xia, H., Li, N., Lia, Z., 2009a. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Sci. Total Environ*, 407, p. 1551-1561.
- Zhuang, P., Zou, H., Shu, W., 2009b. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain; field study. *J. Environ. Sci. China*, 21, p. 849-853.



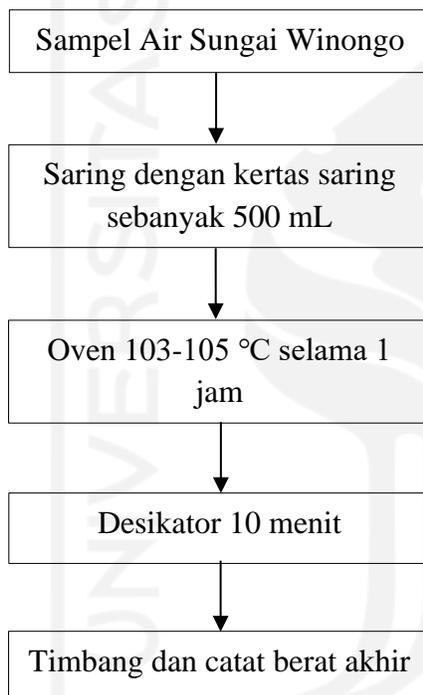
LAMPIRAN

LAMPIRAN A

(Metode Preparasi Sampel Padatan Tersuspensi dan Sedimen)

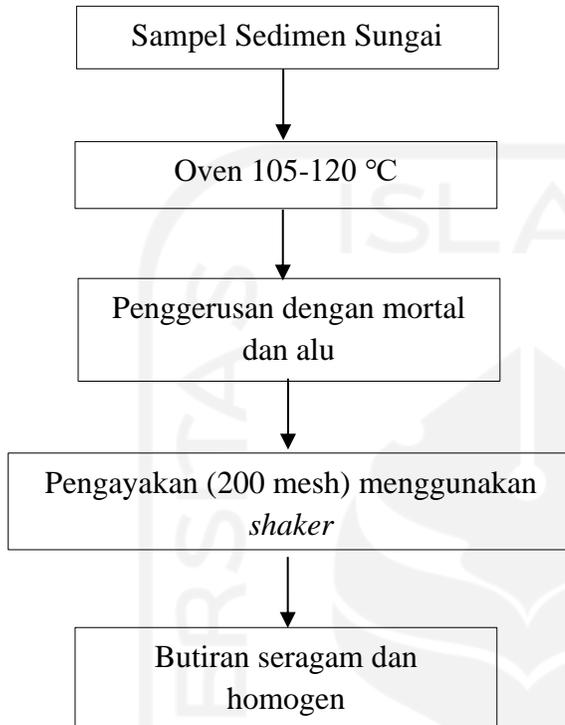
A. Langkah Kerja

1. *Pre-treatment* Sampel Padatan Tersuspensi

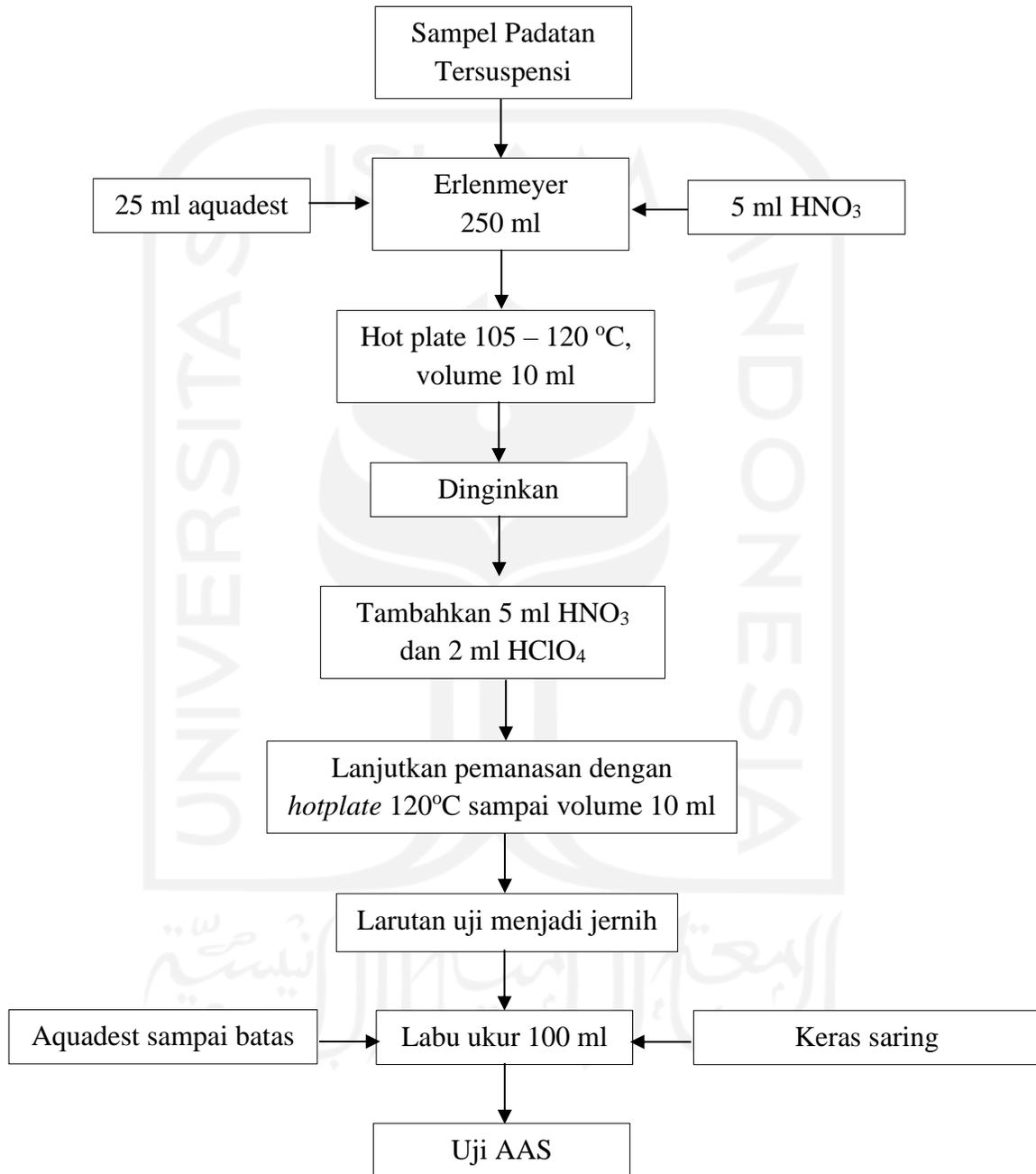


- Sampel dikeringkan di oven selama 3 kali (1 jam, 30 menit, 10 menit) hingga beratnya konstan.

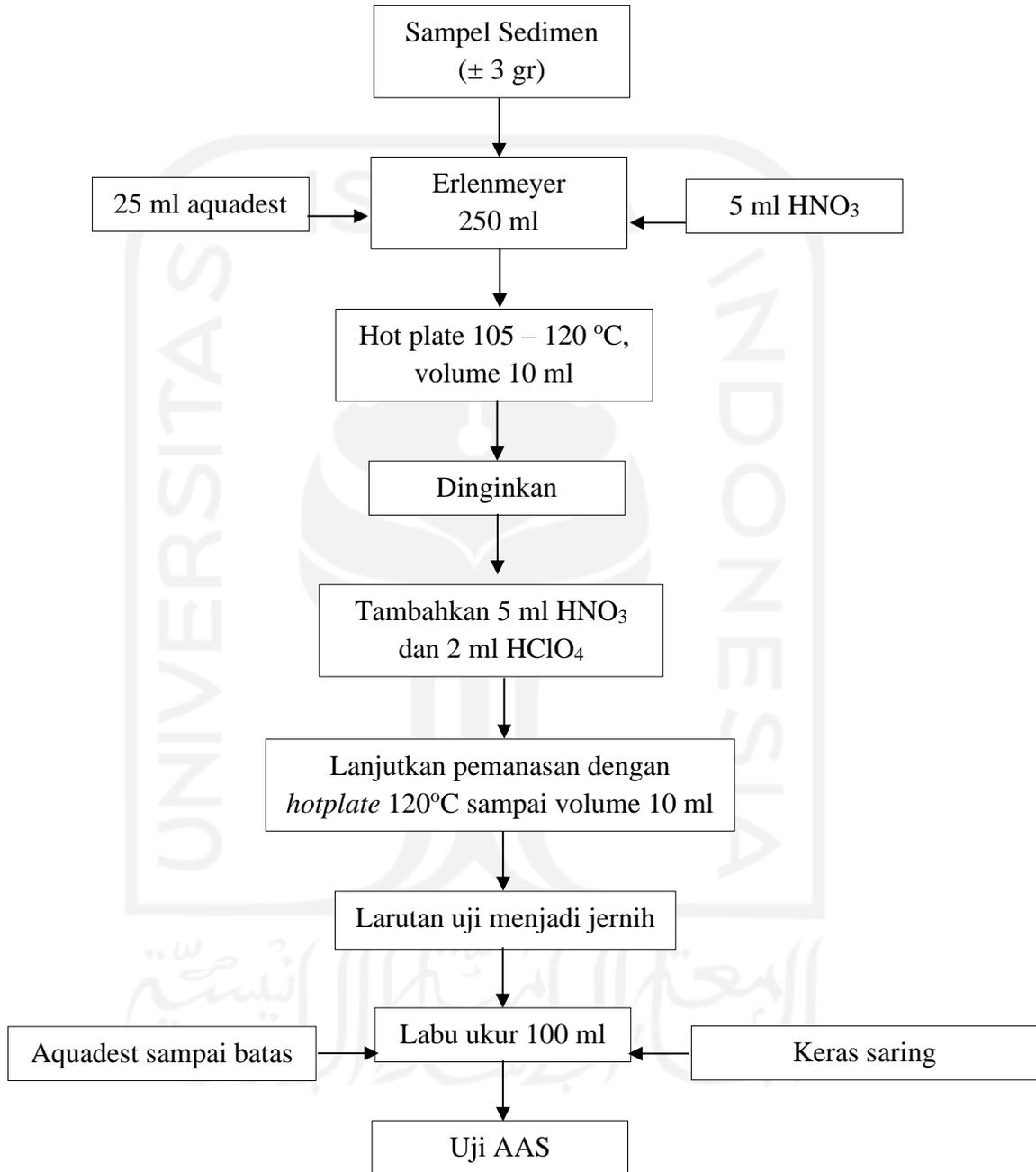
2. *Pre-treatment* Sampel Sedimen



3. Preparasi Sampel Padatan Tersuspensi



4. Preparasi Sampel Sedimen



LAMPIRAN B

(Perhitungan dan Hasil Kadar Logam)

A. Data Penelitian Berat Sampel Uji

Lokasi Sampling	Berat Sampel (g)		
	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3
Titik 1	0.0121	0.0104	0.0637
Titik 2	0.0147	0.0196	0.1042
Titik 3	0.0100	0.0104	0.0625
Titik 4	0.0093	0.0102	0.0538
Titik 5	0.0106	0.0109	0.0725
Titik 6	0.0107	0.0666	0.0673
Titik 7	0.0119	0.0718	0.0612
Titik 8	0.0121	0.0688	0.0684
Titik 9	0.0109	0.0594	0.0698
Titik 10	0.0126	0.0634	0.0802
Titik 11	0.0125	0.0634	0.0791
Titik 12	0.0112	0.0567	0.0637

B. Konsentrasi Logam Berat Hasil Uji AAS (Padatan Tersuspensi)

Faktor Pemekatan = 10 kali.

• Sampling 1

1. Konsentrasi Logam Fe Sampling 1

Sample Lable	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	&RSD	Mean Abs.
SS1	High	0.31	0.6758

SS2	High	0.33	1.0446
SS3	High	3.12	0.7434
SS4	High	0.54	0.7554
SS5	High	0.28	0.6803
SS6	High	0.46	0.7086
SS7	High	0.11	0.6481
SS8	High	0.17	0.5863
SS9	High	0.71	0.5425
SS10	High	0.59	0.4262
SS11	High	3.30	0.7012
SS12	1.300	2.67	0.3932

2. Konsentrasi Logam Mn Sampling 1

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.300	2.50	0.0542
SS2	1.530	2.09	0.2347
SS3	0.380	2.80	0.0679
SS4	0.125	6.48	0.0232
SS5	0.072	10.79	0.0135
SS6	0.094	3.74	0.0175
SS7	0.089	2.75	0.0167
SS8	0.061	19.92	0.0114
SS9	0.146	2.34	0.0270
SS10	0.069	11.70	0.0130
SS11	0.118	10.82	0.0220
SS12	0.070	2.48	0.0131

3. Konsentrasi Logam Ni Sampling 1

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD
SS1	0.027	High

SS2	0.064	10.92
SS3	0.040	High
SS4	0.041	13.63
SS5	0.035	8,74
SS6	0.032	5.71
SS7	0.022	High
SS8	0.026	High
SS9	0.036	High
SS10	0.023	10.02
SS11	0.048	High
SS12	0.020	High

4. Konsentrasi Logam Cu Sampling 1

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.052	4.71	0.0073
SS2	0.117	1.77	0.0163
SS3	0.078	5.35	0.0109
SS4	0.070	2.87	0.0098
SS5	0.016	14.99	0.0022
SS6	0.016	2.46	0.0023
SS7	0.012	High	0.0017
SS8	0.013	High	0.0019
SS9	0.013	8.02	0.0018
SS10	0.007	12.31	0.0010
SS11	0.027	14.89	0.0038
SS12	0.014	High	0.0021

5. Konsentrasi Logam Cd Sampling 1

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.078	7.59	0.0091
SS2	0.100	6.16	0.0120
SS3	0.083	8.75	0.0099
SS4	0.080	6.20	0.0095
SS5	0.086	9.33	0.0102
SS6	0.780	11.73	0.0092
SS7	0.088	4.99	0.0104
SS8	0.068	3.82	0.0080
SS9	0.071	5.57	0.0083
SS10	0.081	6.39	0.0095
SS11	0.088	7.49	0.0104
SS12	0.071	10.40	0.0083

6. Konsentrasi Logam Pb Sampling 1

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.43710	9.69	0.0172
SS2	High	4.37	0.0695
SS3	0.48164	12.03	0.0190
SS4	0.49963	17.03	0.0197
SS5	0.37885	18.13	0.0150
SS6	0.45252	4.59	0.0178
SS7	0.55188	13.04	0.0217
SS8	0.32575	High	0.0129
SS9	0.34117	4.76	0.0135
SS10	0.34031	4.94	0.0135
SS11	0.35144	14.99	0.0139
SS12	0.34459	High	0.0136

7. Konsentrasi Logam Cr Sampling 1

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.00000	High	-0.0009
SS2	0.00300	High	0.0003
SS3	0.00000	4.29	-0.0016
SS4	0.00000	High	-0.0026
SS5	0.00000	High	-0.0012
SS6	0.00000	High	-0.0025
SS7	0.00000	High	-0.0028
SS8	0.00000	1,17	-0.0025
SS9	0.00000	19.73	-0.0039
SS10	0.00000	5.21	-0.0034
SS11	0.00000	High	-0.0023
SS12	0.00000	8.50	-0.0026

- **Sampling 2**

1. Konsentrasi Logam Fe Sampling 2

Sample Lable	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.638	0.51	0.1926
SS2	1.212	0.47	0.3663
SS3	0.466	3.11	0.1407
SS4	0.621	2.40	0.1877
SS5	0.381	1.12	0.1152
SS6	1.101	2.41	0.3328
SS7	High	0.31	0.4546
SS8	High	0.94	0.4687
SS9	0.964	1.41	0.2915
SS10	1.078	1.75	0.3257
SS11	High	0.08	0.4066
SS12	High	0.24	0.4117

2. Konsentrasi Logam Mn Sampling 2

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.150	1.12	0.0278
SS2	0.167	4.47	0.0309
SS3	0.055	14.27	0.0104
SS4	0.135	6.24	0.0250
SS5	0.049	2.69	0.0092
SS6	0.491	1.22	0.0864
SS7	0.672	2.28	0.1153
SS8	0.980	1.70	0.1613
SS9	0.452	5.55	0.0800
SS10	0.642	1.56	0.1107
SS11	0.999	1.83	0.1640
SS12	1.004	0.40	0.1647

3. Konsentrasi Logam Ni Sampling 2

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.039	16.27	0.0034
SS2	0.035	High	0.0031
SS3	0.039	High	0.0034
SS4	0.030	High	0.0026
SS5	0.022	High	0.0020
SS6	0.001	High	0.0001
SS7	0.034	High	0.0029
SS8	0.026	12.68	0.0023
SS9	0.013	11.63	0.0011
SS10	0.015	High	0.0013
SS11	0.025	High	0.0022
SS12	0.059	6.02	0.0050

4. Konsentrasi Logam Cu Sampling 2

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.019	15.48	0.0027
SS2	0.012	18.71	0.0018
SS3	0.013	High	0.0018
SS4	0.040	10.00	0.0057
SS5	0.005	High	0.0006
SS6	0.007	High	0.0009
SS7	0.045	4.16	0.0064
SS8	0.027	High	0.0039
SS9	0.003	High	0.0005
SS10	0.010	18.47	0.0014
SS11	0.016	12.32	0.0023
SS12	0.013	18.40	0.0019

5. Konsentrasi Logam Cd Sampling 2

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.090	9.27	0.0106
SS2	0.094	8.59	0.0112
SS3	0.080	5.51	0.0094
SS4	0.092	5.06	0.0109
SS5	0.090	3.78	0.0107
SS6	0.083	5.63	0.0098
SS7	0.084	5.04	0.0099
SS8	0.076	14.30	0.0102
SS9	0.074	6.54	0.0087
SS10	0.072	10.94	0.0085
SS11	0.075	10.36	0.0088
SS12	0.094	18.86	0.0112

6. Konsentrasi Logam Pb Sampling 2

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.34202	11.18	0.0135
SS2	0.43967	19.84	0.0173
SS3	0.39170	4.59	0.0155
SS4	0.44481	4.94	0.0175
SS5	0.50391	16.17	0.0198
SS6	0.43367	18.35	0.0171
SS7	0.42768	10.69	0.0169
SS8	0.42168	10.26	0.0166
SS9	0.41397	2.21	0.0163
SS10	0.45937	High	0.0181
SS11	0.36429	16.80	0.0144
SS12	0.47307	11.21	0.0186

7. Konsentrasi Logam Cr Sampling 2

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.01200	High	0.0012
SS2	0.00000	High	-0.0018
SS3	0.01900	High	0.0019
SS4	0.00000	High	-0.0025
SS5	0.00000	High	0.0030
SS6	0.00000	9.74	-0.0029
SS7	0.00000	7.53	-0.0031
SS8	0.00000	High	-0.0023
SS9	0.00000	10.26	-0.0020
SS10	0.00000	High	-0.0030
SS11	0.00000	High	-0.0031
SS12	0.00000	15.73	-0.0027

- **Sampling 3**

1. Konsentrasi Logam Fe Sampling 3

Sample Lable	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	High	1.04	0.4949
SS2	High	0.16	0.8006
SS3	High	0.45	0.8192
SS4	High	3.36	0.5652
SS5	High	1.39	0.4138
SS6	High	0.38	0.5284
SS7	High	0.11	0.4802
SS8	High	0.43	0.5332
SS9	High	0.79	0.4582
SS10	High	0.53	0.5244
SS11	High	0.15	0.5568
SS12	High	0.06	0.5401

2. Konsentras Logam Mn Sampling 3

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.771	0.94	0.1305
SS2	0.929	0.33	0.1539
SS3	1.486	0.68	0.2291
SS4	0.721	1.93	0.1230
SS5	0.483	1.87	0.0851
SS6	0.628	2.51	0.1084
SS7	0.595	4.25	0.1033
SS8	0.883	1.41	0.1472
SS9	0.850	0.43	0.1423
SS10	0.908	0.47	0.1508
SS11	1.096	1.18	0.1776
SS12	0.977	0.95	0.1609

3. Konsentrasi Logam Ni Sampling 3

Sample	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.024	High	0.0021
SS2	0.035	High	0.0030
SS3	0.043	5.11	0.0037
SS4	0.031	High	0.0027
SS5	0.028	15.80	0.0024
SS6	0.022	18.29	0.0019
SS7	0.023	High	0.0020
SS8	0.024	High	0.0021
SS9	0.030	10.07	0.0026
SS10	0.029	High	0.0025
SS11	0.041	High	0.0035
SS12	0.024	High	0.0021

4. Konsentrasi Logam Cu Sampling 3

Sample	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.007	High	0.0010
SS2	0.029	19.53	0.0041
SS3	0.110	2.82	0.0154
SS4	0.020	2.14	0.0028
SS5	0.025	2.84	0.0036
SS6	0.018	High	0.0026
SS7	0.010	High	0.0014
SS8	0.022	High	0.0031
SS9	0.036	9.01	0.0051
SS10	0.032	1.98	0.0046
SS11	0.067	4.68	0.0094
SS12	0.076	5.11	0.0106

5. Konsentrasi Logam Cd Sampling 3

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.078	6.65	0.0092
SS2	0.085	6.07	0.0100
SS3	0.088	13.28	0.0104
SS4	0.065	6.94	0.0076
SS5	0.076	9.96	0.0089
SS6	0.077	7.76	0.0090
SS7	0.069	9.96	0.0081
SS8	0.082	7.76	0.0097
SS9	0.075	9.64	0.0088
SS10	0.079	14.88	0.0093
SS11	0.078	19.63	0.0092
SS12	0.078	13.00	0.0091

6. Konsentrasi Logam Pb Sampling 3

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.36172	18.43	0.0143
SS2	0.33174	High	0.0131
SS3	0.39856	10.23	0.0157
SS4	0.41226	12.91	0.0163
SS5	0.58614	9.12	0.0230
SS6	0.45509	16.90	0.0179
SS7	0.41826	7.23	0.0165
SS8	0.49706	High	0.0196
SS9	0.39256	15.83	0.0155
SS10	0.36087	16.13	0.0143
SS11	0.51076	19.10	0.0201
SS12	0.83111	6.67	0.0326

7. Konsentrasi Logam Cr Sampling 3

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	0.00000	High	-0.0032
SS2	0.00000	High	-0.0022
SS3	0.00000	4.18	-0.0011
SS4	0.00000	6.27	-0.0033
SS5	0.00000	High	-0.0022
SS6	0.00000	6.21	-0.0032
SS7	0.00000	16.18	-0.0034
SS8	0.00000	7.10	-0.0035
SS9	0.00000	5.96	-0.0030
SS10	0.00000	11.79	-0.0024
SS11	0.00000	High	-0.0032
SS12	0.00000	High	-0.0034

8. Konsentrasi Logam Al Sampling 3

Sample	Conc. (µg/ml)	&RSD	Mean Abs.
SS1	16.0522		0.0228
SS2	88.5478		0.1099
SS3	11.8089		0.0177
SS4	24.2613		0.0326
SS5	13.4175		0.0196
SS6	22.9301		0.0310
SS7	20.9887		0.0287
SS8	24.9824		0.0335
SS9	16.7455		0.0236
SS10	23.4570		0.0317
SS11	19.7962		0.0273
SS12	20.5450		0.0282

C. Konsentrasi Logam Berat Hasil Uji SSA (Sedimen)

1. Sampling 1

Titik Sampling	Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)						
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
1	3.95	3.74	66.15	1840.09	229.82	5.13	26.90
2	3.19	6.01	32.80	1715.58	309.05	4.72	15.55
3	2.64	2.25	111.74	1501.22	229.62	3.69	34.86
4	2.79	3.03	46.15	1987.92	133.21	4.85	18.67
5	2.78	3.28	33.77	1780.37	346.82	4.59	22.94
6	4.29	4.74	106.64	3004.19	312.80	7.69	33.06
7	2.57	1.73	27.10	1634.94	117.25	3.24	12.51
8	2.36	1.53	16.98	1531.90	122.51	3.27	12.71
9	3.19	3.16	68.21	2246.57	146.00	5.45	17.43
10	3.66	3.77	36.21	2070.05	269.96	5.08	48.89
11	4.15	4.23	60.90	3257.51	431.37	6.81	37.75
12	0.79	0.44	7.81	1669.39	138.38	0.76	12.50

2. Sampling 2

Titik Sampling	Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)						
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
1	2.30	3.20	27.79	1719.87	74.08	0.04	17.54
2	2.13	3.51	15.35	2433.93	76.06	2.96	19.52
3	1.84	12.95	29.60	1805.73	25.08	2.14	34.92
4	3.22	7.61	46.39	1920.45	90.72	4.86	44.18
5	3.32	4.77	27.87	1811.75	97.62	3.91	51.69
6	2.62	9.25	24.18	2118.27	39.93	1.80	47.74
7	1.82	0.83	28.52	1722.43	36.04	2.44	33.29
8	2.51	4.72	25.08	2599.24	25.38	0.71	34.27
9	2.07	3.71	18.55	2264.81	12.18	0.04	28.36
10	3.03	6.11	34.99	1988.29	21.24	2.13	30.75
11	2.49	4.20	23.00	2109.17	25.50	0.58	29.02
12	1.69	3.47	29.44	2079.50	4.26	0.04	25.77

3. Sampling 3

Titik Sampling	Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)							
	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
1	21532.87	1.42	0.73	9.17	1723.35	27.57	1.33	7.56
2	20271.91	1.26	1.30	6.68	2441.37	74.17	1.99	7.04
3	16492.65	1.09	4.17	18.01	1822.92	31.65	1.92	47.32
4	15043.52	1.45	1.46	18.50	1936.05	0.04	1.27	10.14
5	18759.28	1.23	1.94	13.89	1812.72	23.36	1.44	8.67
6	16671.09	1.15	1.30	11.25	2135.49	0.04	1.44	8.82
7	14406.84	1.39	1.65	15.53	1718.50	0.04	2.15	11.27
8	16713.57	1.56	2.10	18.35	2539.04	82.63	2.80	13.24
9	15076.48	1.25	1.39	8.47	2352.74	0.04	1.37	7.68
10	15492.77	1.10	2.99	19.03	1991.41	0.04	2.83	13.80
11	14999.62	1.05	1.77	14.32	2063.03	31.18	1.90	8.82
12	13190.93	1.07	1.40	10.36	2079.36	40.43	1.28	9.20

D. Konsentrasi Logam Berat Padatan Tersuspensi (mg/kg)

1. Sampling 1

Sampling Point	Concentration (mg/kg)						
	Fe	Mn	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
1	161.21	21.62	1.9878	3.74	5.58	31.50	0.02
2	168.56	74.84	3.1662	5.72	4.92	87.05	0.15
3	175.77	27.17	2.8151	5.56	5.99	34.54	0.02
4	161.70	8.09	2.7032	4.52	5.22	32.44	0.02
5	176.98	5.68	2.7233	1.22	6.78	29.90	0.02
6	188.93	7.57	2.6010	1.31	6.30	36.46	0.02
7	193.44	8.08	2.0657	1.08	7.92	49.86	0.02
8	175.51	5.51	2.3879	1.21	6.20	29.51	0.02
9	151.70	12.34	3.1263	1.07	5.99	28.87	0.02
10	92.78	4.57	1.5054	0.46	5.30	22.46	0.02
11	145.78	7.45	3.0020	1.69	5.52	22.12	0.02
12	79.92	4.30	1.2629	0.91	4.36	21.13	0.02
Max	193.44	74.84	3.17	5.72	7.92	87.05	0.15

Min	79.92	4.30	1.26	0.46	4.36	21.13	0.02
Average	156.02	15.60	2.45	2.37	5.84	35.49	0.03

2. Sampling 2

Sampling Point	Concentration (mg/kg)						
	Fe	Mn	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
1	52.54	12.39	3.2422	1.57	7.36	28.13	0.99
2	81.36	11.24	2.4022	0.85	6.32	29.47	0.02
3	38.45	4.58	3.2475	1.05	6.58	32.42	1.57
4	51.46	11.17	2.4751	3.34	7.60	36.78	0.02
5	31.08	3.99	1.8637	0.34	7.35	41.00	2.44
6	68.84	30.69	0.0704	0.40	5.18	27.12	0.02
7	111.09	49.65	2.4690	3.35	6.19	31.68	0.02
8	93.18	58.93	1.5852	1.65	5.18	25.31	0.02
9	54.08	25.34	0.7002	0.20	4.15	23.17	0.02
10	56.64	33.77	0.7770	0.52	3.81	24.15	0.02
11	70.65	52.49	1.3240	0.85	3.93	19.14	0.02
12	79.99	58.98	3.4439	0.79	5.53	27.75	0.02
Max	111.09	58.98	3.44	3.35	7.60	41.00	2.44
Min	31.08	3.99	0.07	0.20	3.81	19.14	0.02
Average	65.78	29.44	1.97	1.24	5.77	28.84	0.43

3. Sampling 3

Sampling Point	Concentration (mg/kg)							
	Fe	Mn	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr	Al
1	108.21	50.98	1.5893	0.46	5.16	23.93	0.02	1061.65
2	104.63	36.75	1.3686	1.15	3.34	13.10	0.02	3504.07
3	144.36	79.28	2.2895	5.89	4.68	21.22	0.02	6301.44
4	115.81	44.74	1.9250	1.22	4.04	25.61	0.02	1504.11
5	77.05	27.18	1.5502	1.43	4.26	32.96	0.02	755.49
6	86.51	31.09	1.0751	0.91	3.79	22.50	0.02	1135.72
7	86.42	32.42	1.2448	0.54	3.77	22.77	0.02	1142.55
8	85.93	43.04	1.1716	1.07	4.00	24.28	0.02	1218.06
9	72.31	40.55	1.4260	1.72	3.57	18.74	0.02	799.31

10	75.14	39.33	1.2441	1.41	3.42	15.68	0.02	1016.78
11	77.55	46.17	1.7075	2.82	3.29	21.53	0.02	834.23
12	93.42	51.14	1.2575	3.95	4.04	43.54	0.02	1075.09
Max	144.36	79.28	2.29	5.89	5.16	43.54	0.02	6301.44
Min	72.31	27.18	1.08	0.46	3.29	13.10	0.02	755.49
Average	93.94	43.56	1.49	1.88	3.95	23.82	0.02	1695.71

E. Contoh Perhitungan Kadar Logam Besi (Fe) dalam Padatan Tersuspensi Sungai Winongo Sampling 1

1. Faktor Pemekatan (Fp)

Diketahui:

Volume awal (Va) = 30 mL

Volume akhir (Vo) = 10 mL

Jawab:

$$\begin{aligned}
 F_p &= V_o/V_a \\
 &= 10 \text{ mL}/30 \text{ mL} \\
 &= 0,3333
 \end{aligned}$$

2. Menentukan Konsentrasi Logam (x)

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

Atau

$$\frac{y (Abs)}{0,302 + 0,001 \times y (Abs)}$$

Keterangan:

x = Konsentrasi Logam ($\mu\text{g/mL}$)

y = Respons Instrumen

a = Intersep (*Intercept*)

b = Kemiringan (*Slope*)

Diketahui:

$$y = 0,6758$$

Jawab:

$$x = \frac{0,6758}{0,302 + 0,001 \times 0,6758}$$

$$x = 2,2327 \mu\text{g/mL}$$

3. Menentukan Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)

$$C(x) \text{ (mg/kg)} = \frac{\text{Konsentrasi Sampel (C)} \times Fp \times V}{\text{Berat Sampel (Kg)}}$$

Diketahui:

$$C = 2,23 \mu\text{g/mL}$$

$$Fp = 0,3333$$

$$V = \frac{10 \text{ mL}}{1000 \text{ mL/L}} = 0,01$$

$$\text{Berat sampel} = 0,0000462 \text{ kg}$$

Jawab:

$$C(x) = \frac{2,2327 \times 0,3333 \times 0,01}{0,0000462}$$

$$= 161,20 \text{ mg/kg}$$

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

LAMPIRAN C

(Korelasi Logam Berat Antara Padatan Tersuspensi dan Sedimen)

1. Besi

Correlations				Correlations				Correlations			
		FeSS	FeSedimen			Fe SS	Fe Sedimen			Fe SS	Log_Logam FeSedimen
FeSS	Pearson Correlation	1	-0.002	Fe SS	Pearson Correlation	1	0.372	Fe SS	Pearson Correlation	1	-0.448
	Sig. (2-tailed)		0.995		Sig. (2-tailed)		0.233		Sig. (2-tailed)		0.144
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
FeSedimen	Pearson Correlation	-0.002	1	Fe Sedimen	Pearson Correlation	0.372	1	Log_Logam FeSedimen	Pearson Correlation	-0.448	1
	Sig. (2-tailed)	0.995			Sig. (2-tailed)	0.233			Sig. (2-tailed)	0.144	
	N	12	12		N	12	12		N	12	12

2. Mangan

Correlations				Correlations				Correlations			
		Mn SS	Mn Sedimen			Mn2	Mn2			Mn3_SS	Mn3_Sed
Mn SS	Pearson Correlation	1	0.152	Mn2	Pearson Correlation	1	-.688*	Mn3_SS	Pearson Correlation	1	0.184
	Sig. (2-tailed)		0.638		Sig. (2-tailed)		0.013		Sig. (2-tailed)		0.567
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
Mn Sedimen	Pearson Correlation	0.152	1	Mn2	Pearson Correlation	-.688*	1	Mn3_Sed	Pearson Correlation	0.184	1
	Sig. (2-tailed)	0.638			Sig. (2-tailed)	0.013			Sig. (2-tailed)	0.567	
	N	12	12		N	12	12		N	12	12

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

3. Nikel

Correlations				Correlations				Correlations			
		Ni SS	Sedimen			Ni2_SS	Ni2_Sed			Ni SS	NiSedimen
Ni SS	Pearson Correlation	1	0.537	Ni2_SS	Pearson Correlation	1	0.042	Ni SS	Pearson Correlation	1	0.017
	Sig. (2-tailed)		0.072		Sig. (2-tailed)		0.897		Sig. (2-tailed)		0.959
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
Ni Sedimen	Pearson Correlation	0.537	1	Ni2_Sed	Pearson Correlation	0.042	1	NiSedimen	Pearson Correlation	0.017	1
	Sig. (2-tailed)	0.072			Sig. (2-tailed)	0.897			Sig. (2-tailed)	0.959	
	N	12	12		N	12	12		N	12	12

a. Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

4. Tembaga

Correlations				Correlations				Correlations			
		Log_Logam CuSS	Cu Sedimen			Cu SS	Cu Sedimen			Cu SS	Cu Sedimen
Log_Logam mCuSS	Pearson Correlation	1	0.371	Cu SS	Pearson Correlation	1	0.011	Cu SS	Pearson Correlation	1	0.177
	Sig. (2- tailed)		0.235		Sig. (2- tailed)		0.974		Sig. (2- tailed)		0.582
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
Cu Sedimen	Pearson Correlation	0.371	1	Cu Sedimen	Pearson Correlation	0.011	1	Cu Sedimen	Pearson Correlation	0.177	1
	Sig. (2- tailed)	0.235			Sig. (2- tailed)	0.974			Sig. (2- tailed)	0.582	
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).											

5. Kadmium

Correlations				Correlations				Correlations			
		Cd SS	Sedimen			Cd SS	Sedimen			CdSS	Sedimen
Cd SS	Pearson Sig. (2- tailed)	1	0.152	Cd SS	Pearson Sig. (2- tailed)	1	0.130	CdSS	Pearson Sig. (2- tailed)	1	-0.383
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
			0.636				0.688				0.219
Cd Sedimen	Pearson Sig. (2- tailed)	0.152	1	Cd Sedimen	Pearson Sig. (2- tailed)	0.130	1	Cd Sedimen	Pearson Sig. (2- tailed)	-0.383	1
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
			0.636				0.688				0.219

6. Timbal

Correlations				Correlations				Correlations			
		LOG_LOG Pb1_SS	Pb1_Sed			PbSS	PbSedime n			Pb3_SS	Pb3_Sed
LOG_LO G_Pb1_S S	Pearson Correlation	1	-0.382	PbSS	Pearson Correlation	1	0.547	Pb3_SS	Pearson Correlation	1	-0.374
	Sig. (2- tailed)		0.221		Sig. (2- tailed)		0.066		Sig. (2- tailed)		0.231
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
Pb1_Sed	Pearson Correlation	-0.382	1	PbSedime n	Pearson Correlation	0.547	1	Pb3_Sed	Pearson Correlation	-0.374	1
	Sig. (2- tailed)	0.221			Sig. (2- tailed)	0.066			Sig. (2- tailed)	0.231	
	N	12	12		N	12	12		N	12	12

7. Kromium

Correlations				Correlations				Correlations			
		Cr1_SS	Cr1_Sed			Cr2_SS	Cr2_Sed			Cr3_SS	Cr3_Sed
Spearman's rho	Cr1_SS Correlation Coefficient	1.000	0.480	Spearman's rho	Cr2_SS Correlation Coefficient	1.000	0.193	Spearman's rho	Cr3_SS Correlation Coefficient		
	Sig. (2- tailed)		0.114		Sig. (2- tailed)		0.548		Sig. (2- tailed)		
	N	12	12		N	12	12		N	12	12
	Cr1_Sed Correlation Coefficient	0.480	1.000		Cr2_Sed Correlation Coefficient	0.193	1.000		Cr3_Sed Correlation Coefficient		1.000
	Sig. (2- tailed)	0.114			Sig. (2- tailed)	0.548			Sig. (2- tailed)		
	N	12	12		N	12	12		N	12	12

8. Aluminium

		AI_SS	AI_Sed
AI_SS	Pearson Correlation	1	-0.160
	Sig. (2-tailed)		0.659
	N	10	10
AI_Sed	Pearson Correlation	-0.160	1
	Sig. (2-tailed)	0.659	
	N	10	10

