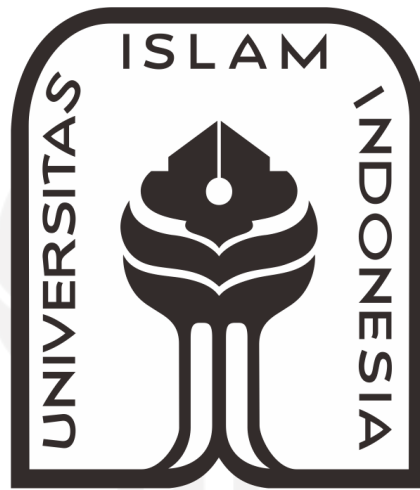


TUGAS AKHIR
ANALISIS LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN
BERDASARKAN *GEOACCUMULATION INDEX* (Ige)
DI SUNGAI WINONGO, D.I YOGYAKARTA

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



الجامعة الإسلامية
الاستدرا الإندونيسية

WITIANTY PUTRI APRILIA

17513132

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

YOGYAKARTA

2021

TUGAS AKHIR

ANALISIS LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN BERDASARKAN *GEOACCUMULATION INDEX* (I_{ge}) DI SUNGAI WINONGO, D.I YOGYAKARTA

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



Disusun oleh :

Witianty Putri Aprilia
17513132

Disetujui,

Pembimbing 1

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

NIK. 155131313

Tanggal:

Pembimbing 2

Nelly Marlina, S.T., M.T

NIK. 125130401

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

NIK. 025100406

Tanggal: 13 Agustus 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN
BERDASARKAN *GEOACCUMULATION INDEX* (Ige)
DI SUNGAI WINONGO, D.I YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Dosen Penguji

Hari : Selasa

Tanggal : 15 Juni 2020

Disusun oleh :

**Witianty Putri Aprilia
17513132**

Tim Penguji:

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

()

Nelly Marlina, S.T., M.T

()

Elita Nurfitriyani Sulisty, S.T., M.Sc

()
26.7.2021

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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Juni 2021
Yang membuat pernyataan,



Witianty Putri Aprilia
NIM. 17513132

KATA PENGANTAR

Al-hamdu lillahi rabbil 'alamin, segala puji dan syukur kepada pemilik ilmu pengetahuan, sang kekasih tercinta yang tak terbatas pencahayaan cinta-Nya bagi seluruh umat manusia, Allah SWT. Atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul "**Analisis Logam Berat dalam Sedimen Berdasarkan *Geoaccumulation Index (Ige)* di Sungai Winongo, D.I Yogyakarta**". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program strata satu (S1) Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia.

Limpahan rasa hormat dan bakti serta doa yang tulus, penulis persembahkan kepada Ayahanda Suwito dan Ibunda T. Kartini, yang senantiasa selalu sabar membimbing penulis dengan doa dan kasih sayang yang senantiasa mengiringi perjalanan dalam menuntut ilmu. Semoga Allah SWT senantiasa menganugerahkan rahmat, kemuliaan dan karunia kepada keduanya, di dunia maupun di akhirat. Terima kasih untuk saudaraku Windha Lestari serta semua keluarga atas perhatian, pengertian, doa dan kasih sayangnya kepada penulis.

Terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T selaku pembimbing pertama dan Ibu Nelly Marlina S.T., M.T selaku pembimbing kedua dan Ibu Any Juliani S.T., M.Sc (Res. Eng) selaku dosen TL UII yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memotivasi.

Penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Analis Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII atas segala saran-saran dan bantuan serta motivasi yang telah diberikan.
2. Rekan-rekan penelitian Sungai Winongo, terutama untuk rekan-rekan Tim Logam Berat atas semua bentuk kerjasama, motivasi, semangat serta bantuannya dari mulai sampling hingga hasil.

3. Angkatan 17 TL UII atas semua support dan semangat yang telah diberikan.

Penulis sadar akan kekurangan dalam skripsi ini baik materi maupun teknik penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dalam perbaikan dan penyempurnaannya.

Akhir kata penulis agar skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti-peneliti berikutnya sebagai sumber acuan terkhusus dalam bidang analitik.

Yogyakarta, Juni 2021

Penulis



ABSTRACT

Analysis of sediment quality can be determined by calculating the geoaccumulation index. Various activities around the Winongo River can have an impact on decreasing the quality of the river. Analysis of Winongo River sediments was carried out at 12 sampling locations with sampling 3 times from December 2020 to February 2021 along the Winongo River. Concentrations of heavy metals (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, and Pb) indicates the weight level has decreased from time to time. Based on the analysis of the concentration of heavy metals, a geoaccumulation index was calculated to determine the concentration determination in the sediment of the Winongo River. The results of geoaccumulation calculations show that the quality of sediment at the observation site along the Winongo River in the level of pollution is not determined by Al, Cr, Fe, Mn, and Ni, not polluted to heavily polluted by Cd, not polluted to moderately polluted by Cu and Pb. Heavy metals can come from natural processes of rock erosion and corrosion or the activity of Mount Merapi. Apart from being caused by natural processes, anthropogenic activities around the observation site can also contribute to heavy metal pollution in the sediments of the Winongo River.

Keywords: *geoaccumulation index, heavy metals, sediment, winongo river, Yogyakarta*

ABSTRAK

Analisis kualitas sedimen dapat ditentukan melalui perhitungan indeks geoakumulasi. Berbagai kegiatan disekitar Sungai Winongo dapat berdampak terhadap penurunan kualitas sungai. Analisis terhadap sedimen Sungai Winongo dilakukan di 12 titik lokasi sampling dengan pengambilan sampel sebanyak 3 kali dari bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 di sepanjang Sungai Winongo.. Konsentrasi logam berat (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, dan Pb) menunjukkan kadar logam berat mengalami penurunan dari waktu ke waktu. Berdasarkan hasil analisis konsentrasi logam berat tersebut, dilakukan perhitungan indeks geoakumulasi guna menentukan tingkat pencemaran dalam sedimen Sungai Winongo. Hasil perhitungan indeks geoakumulasi menunjukkan bahwa kualitas sedimen pada lokasi pengamatan di sepanjang Sungai Winongo dalam tingkat pencemaran tidak tercemar oleh Al, Cr, Fe, Mn, dan Ni, tidak tercemar hingga sangat tercemar oleh Cd, tidak tercemar hingga tercemar sedang oleh Cu dan Pb. Logam berat dapat berasal dari proses alami erosi dan korosi batuan ataupun adanya aktivitas Gunung Merapi. Selain karena disebabkan oleh proses alam, kegiatan antropogenik di sekitar lokasi pengamatan dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo.

Kata kunci: *indeks geoakumulasi, logam berat, sedimen, sungai winongo, Yogyakarta*

DAFTAR ISI

ABSTRACT.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sedimen.....	4
2.2 Pencemaran Logam Berat di Perairan.....	5
2.3 Logam Berat.....	5
2.3.1 Aluminium (Al).....	7
2.3.2 Kadmium (Cd).....	7
2.3.3 Kromium (Cr).....	8
2.3.4 Tembaga (Cu).....	9
2.3.5 Besi (Fe).....	10
2.3.6 Mangan (Mn).....	11
2.3.7 Nikel (Ni).....	12
2.3.8 Timbal (Pb).....	14
2.4 Paramter Fisika dan Kimia.....	15
2.4.1 Suhu.....	15

2.4.2	<i>Total Dissolved Solid (TDS)</i>	15
2.4.3	pH (Derajat Keasaman).....	15
2.4.4	Konduktivitas.....	16
2.4.5	ORP (Oxidation-Reduction Potential)	16
2.5	Sungai Winongo.....	18
2.6	Penentuan Konsentrasi Logam Berat.....	19
2.6.1	Destruksi Basah.....	19
2.6.2	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i>	20
2.7	Indeks Penilaian Pencemaran Logam	21
2.8	Studi Terdahulu.....	23
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1	Tahap Penelitian.....	28
3.2	Waktu dan Lokasi	29
3.3	Jenis dan Variabel Penelitian	31
3.4	Alat dan Bahan.....	31
3.5	Pengumpulan Data	31
3.5.1	Pengambilan Sampel.....	32
3.5.2	Preparasi Sampel.....	33
3.5.3	Pengujian Sampel.....	34
3.6	Analisis Data.....	34
BAB IV PEMBAHASAN.....		36
4.1	Deskripsi Lokasi Sampling	36
4.1.1	Jembatan Jambon.....	36
4.1.2	Desa Panggungan.....	37
4.1.3	Jembatan Jatimulyo.....	38
4.1.4	Bumijo.....	38
4.1.5	Jembatan Kyai Mojo	39
4.1.6	Jembatan Merah	40
4.1.7	Ngampilan.....	41
4.1.8	Mantijeron.....	43
4.1.9	Mantijeron.....	43

4.1.10	Jembatan Winongo.....	44
4.1.11	Jogonalan Kidul	45
4.1.12	Tirtonirmalan	46
4.2	Parameter Fisika dan Kimia Sungai Winongo.....	46
4.2.1	Suhu	47
4.2.2	TDS (Total Dissolved Oxygen)	50
4.2.3	pH (Derajat Keasaman).....	52
4.2.4	Konduktivitas.....	54
4.2.5	ORP (<i>Oxidation-Reduction Potential</i>).....	56
4.3	Analisis Kandungan Logam Berat dalam Sedimen	58
4.3.1	Aluminium (Al).....	59
4.3.2	Kadmium (Cd)	61
4.3.3	Kromium (Cr)	63
4.3.4	Tembaga (Cu)	66
4.3.5	Besi (Fe).....	69
4.3.6	Mangan (Mn)	71
4.3.7	Nikel (Ni).....	73
4.3.8	Timbal (Pb)	75
4.4	Analisis Indeks Geoakumulasi Logam Berat.....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	89

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

AAS = Atomic Absorption Spectrophotometer

Al = Aluminium

Cd = Kadmium

Cr = Kromium

Cu = Tembaga

DAS = Daerah Aliran Sungai

Fe = Besi

HClO₄ = Asam peklorat

Hg = Merkuri

HNO₃ = Asam nitrat

Ige = Indeks geoakumulasi

LEL = Lowest effect level

Mn = Mangan

Ni = Nikel

ORP = Potensial oksidasi reduksi

Pb = Timbal

SEL = Severe effect level

TDS = Padatan terlarut

Zn = Zinc

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Air Berdasarkan Konduktivitas	16
Tabel 2.2 Hasil Uji Kromium (Cr) pada Air di Sungai Winongo	18
Tabel 2.3 Nilai Latar Logam.....	21
Tabel 2.4 Klasifikasi Geoakumulasi Indeks	22
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Waktu Sampling.....	29
Tabel 3.2 Lokasi Titik Sampling.....	29
Tabel 3.3 Standar Acuan dan Metode Pengukuran.....	32
Tabel 3.4 Nilai Latar Logam.....	35
Tabel 4.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas	47
Tabel 4.2 Nilai Baku Mutu Sedimen (mg/kg).....	58
Tabel 4.3 Rata-rata Nilai Indeks Geoakumulasi	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2 Peta Lokasi Sampling.....	30
Gambar 3.3 Sekop.....	33
Gambar 4.1 Titik Sampling 1.....	37
Gambar 4.2 Titik Sampling 2.....	37
Gambar 4.3 Titik Sampling 3.....	38
Gambar 4.4 Titik Sampling 4.....	39
Gambar 4.5 Titik Sampling 5.....	40
Gambar 4.6 Titik Sampling 6.....	41
Gambar 4.7 Titik Sampling 7.....	42
Gambar 4.8 Titik Sampling 8.....	43
Gambar 4.9 Titik Sampling 9.....	44
Gambar 4.10 Titik Sampling 10.....	45
Gambar 4.11 Tiitk Sampling 11.....	45
Gambar 4.12 Titik Sampling 12.....	46
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Suhu Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median.....	48
Gambar 4.14 Pengukuran Suhu	48
Gambar 4.15 Hasil Pengukuran TDS Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median.....	50
Gambar 4.16 Pengukuran TDS	51
Gambar 4.17 Hasil Pengukuran pH Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	52
Gambar 4.18 Pengukuran pH.....	53
Gambar 4.19 Hasil Pengukuran Konduktivitas Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median.....	54
Gambar 4.20 Pengukuran Konduktivitas	55

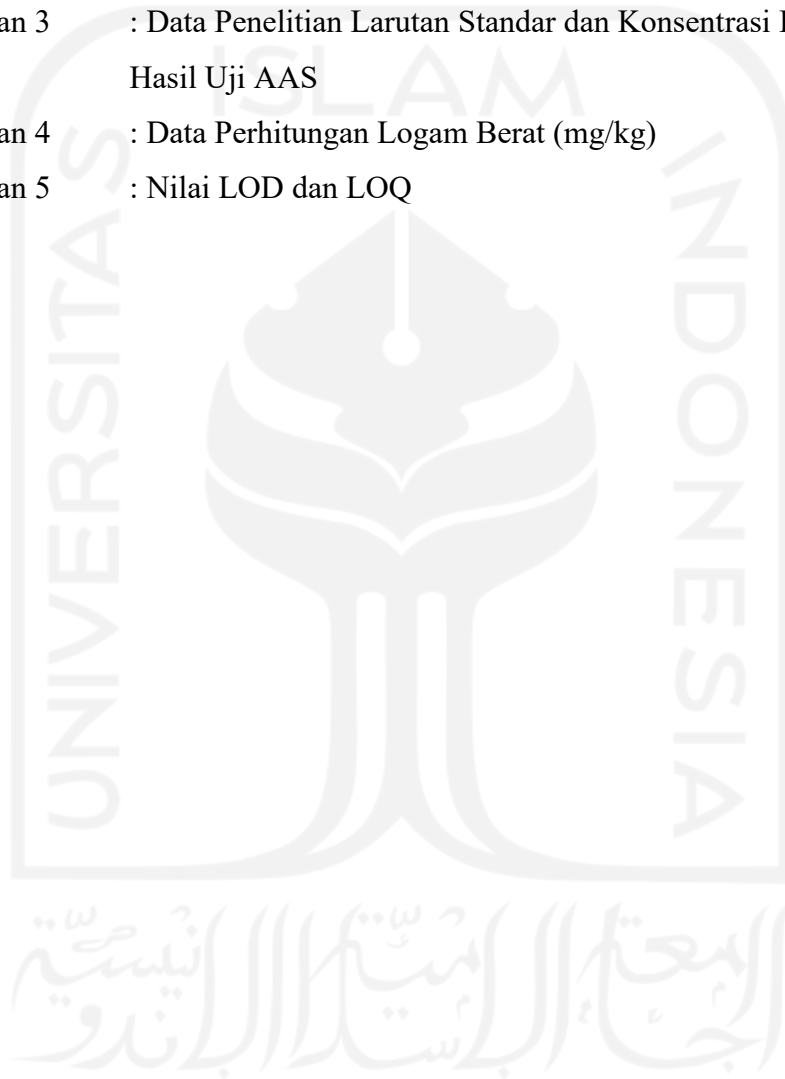
Gambar 4.21 Hasil Pengukuran ORP Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median.....	56
Gambar 4.22 Pengukuran ORP	57
Gambar 4.23 Kandungan Logam Aluminium pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	59
Gambar 4.24 Kadar Aluminium.....	60
Gambar 4.25 Kandungan Logam Kadmium pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	62
Gambar 4.26 Kadar Kadmium	63
Gambar 4.27 Kandungan Logam Kromium pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	64
Gambar 4.28 Kadar Kromium.....	65
Gambar 4. 29 Kandungan Logam Tembaga pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	67
Gambar 4.30 Kadar Tembaga	68
Gambar 4.31 Kandungan Logam Besi pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	70
Gambar 4.32 Kadar Besi	70
Gambar 4.33 Kandungan Logam Mangan pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	72
Gambar 4.34 Kadar Mangan.....	73
Gambar 4.35 Kandungan Logam Nikel pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	74
Gambar 4.36 Kadar Nikel	75
Gambar 4.37 Kandungan Logam Timbal pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median	76
Gambar 4.38 Kadar Timbal.....	77
Gambar 4.39 Ige Value Sampling 1 (Desember 2020).....	80
Gambar 4.40 Ige Value Sampling 2 (Januari 2021).....	81
Gambar 4.41 Ige Value Sampling 3 (Februari 2021).....	82
Gambar 4.42 Nilai Rerata Indeks Geoakumulasi Berdasarkan Waktu.....	82

Gambar 4.43 Persentase Kualitas Sedimen Sungai Winongo..... 87



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Skema Pengerjaan Tugas Akhir
Lampiran 2 : Berat Sampel Uji
Lampiran 3 : Data Penelitian Larutan Standar dan Konsentrasi Logam Berat
Hasil Uji AAS
Lampiran 4 : Data Perhitungan Logam Berat (mg/kg)
Lampiran 5 : Nilai LOD dan LOQ



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan sumber air permukaan yang banyak dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Sungai umumnya digunakan untuk tempat penampungan air atau waduk, transportasi, irigasi persawahan, peternakan, kegiatan industri, perumahan, sumber air, irigasi, budidaya perairan dan sarana rekreasi. Banyak aktivitas yang dilakukan di aliran sungai sehingga dapat mengakibatkan pencemaran dan memiliki dampak penurunan kualitas air (Prawita dkk., 2008). Tidak sedikit masyarakat yang menjadikan sungai sebagai tempat pembuangan limbah yang berasal dari rumah tangga, kegiatan perkotaan, kegiatan industri, maupun pertanian. Akibatnya, air sungai sering terkontaminasi oleh komponen-komponen anorganik, termasuk logam berat berbahaya (Sukirno, 2007).

Sungai Winongo mengalir melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Sungai Winongo merupakan satu dari banyak sungai penting di Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai ini bermata air di Lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak (Kartiko, 2019). Sungai Winongo berperan dalam menunjang dan memenuhi kebutuhan sehari-hari masyarakat sekitarnya. Penduduk di sekitar memanfaatkan sungai untuk memenuhi kebutuhannya.

Sungai Winongo juga merupakan salah satu badan air penerima utama pencemaran sumber titik dan bukan sumber titik. Sumber cemaran ini berasal dari kegiatan domestik dan juga berbagai kegiatan industri. Dapat dikatakan terjadi pencemaran apabila kadar parameter melampaui batas baku mutu yang dipersyaratkan. Semakin bertambahnya aktivitas dan jumlah penduduk di sekitar Sungai Winongo ini akan sebanding dengan tingginya tingkat pencemaran. Menurut Permana (2012), Sungai Winongo mengalami pencemaran terhadap beberapa parameter yaitu *total suspended solid* (TSS), *biological oxygen demand* (BOD), sulfida total, nitrat, fenol, minyak/lemak dan pestisida.

Pemantauan kualitas air dapat dilakukan untuk mengetahui perubahan kualitas suatu perairan. Oleh sebab itu, pemantauan kualitas air dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) (Ponce, 1980 dalam Permana, 2012). Sebuah isu penting yang menarik perhatian untuk dikaji yaitu pencemaran logam berat pada sedimen sungai.

Sedimen merupakan habitat bagi banyak organisme akuatik dan berfungsi sebagai komponen penting dari ekosistem perairan. Akan tetapi, sedimen juga merupakan gudang utama untuk polutan kimia yang persisten dan beracun yang dilepaskan ke lingkungan. Pada ekosistem perairan, limbah kimia yang masuk ke dalam badan air tidak mudah terurai pada akhirnya dapat terakumulasi dalam sedimen. Berdasarkan hal tersebut, sedimen dapat menjadi indikator yang sensitif untuk monitoring kontaminan dalam lingkungan perairan (J. Kruopiene, 2007).

Studi maupun monitoring kualitas sungai terutama di Indonesia masih didominasi oleh pemeriksaan kadar pencemar dalam air sungai. Padahal sedimen juga penting untuk dipantau. Selain itu, studi tentang Sungai Winongo secara umum masih terbatas dibandingkan sungai lainnya di Yogyakarta. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melengkapi kekurangan tersebut dengan mengidentifikasi konsentrasi logam berat (Al, Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb) pada sedimen di Sungai Winongo serta menentukan tingkat pencemaran logam berat di Sungai Winongo.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa besar kandungan logam berat Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb pada sedimen di Sungai Winongo Yogyakarta?
2. Bagaimana tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi konsentrasi logam berat Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb pada sedimen Sungai Winongo Yogyakarta.
2. Menentukan status tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo berdasarkan *Geoaccumulation Index* (Ige).

1.4 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui konsentrasi logam dan status tingkat pencemaran logam berat di Sungai Winongo.
2. Memberikan informasi mengenai konsentrasi logam berat pada sedimen di Sungai Winongo Yogyakarta.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai sumber referensi dan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.
4. Memberikan informasi kepada masyarakat dan pemangku kebijakan dalam rangka pengelolaan Sungai Winongo.

1.5 Ruang Lingkup

1. Lokasi penelitian dilakukan di sepanjang Sungai Winongo dengan 12 titik lokasi sampling.
2. Penelitian ini meliputi logam berat Al, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, dan Pb.
3. Sampel yang digunakan dalam penelitian berupa sedimen Sungai Winongo. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 pada kondisi cuaca hujan.
4. Alat yang digunakan untuk analisis konsentrasi logam berat berupa *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).
5. Metode yang digunakan dalam penentuan status tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo yaitu berdasarkan *Geoaccumulation Index* (Ige).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sedimen

Sedimen merupakan sebuah pecahan material yang biasanya terdiri atas uraian batuan, baik fisika maupun kimia. Ukuran partikel ini mulai dari yang besar (*boulderi*) hingga sangat halus (*koloid*) dengan bentuk yang bervariasi seperti bulat, lonjong, persegi, dll. Di sisi lain, hasil sedimen biasanya diperoleh dengan mengukur kelimpahan sedimen terlarut dalam sungai (*suspended sediment*). Artinya, sedimen adalah fragmen mineral dan bahan organik yang diangkut dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, air, atau oleh es. Ini mengandung mineral yang disimpan oleh padatan tersuspensi dalam air dan larutan kimia (Usman, 2014).

Sedimentasi adalah perpindahan material ke daerah pengendapan yang disebabkan karena terjadinya pengikisan dan pelapukan oleh air, angin atau gletser. Semua batuan yang telah diendapkan dari waktu ke waktu oleh erosi dan pelapukan akan membentuk batuan sedimen. Hasil proses sedimentasi itu sendiri dalam konteks hubungan dengan sungai meliputi, penyempitan palung, erosi, transportasi sedimentasi (*transport sediment*), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimen itu sendiri. Proses pembentukan sedimen diawali dengan proses pengikisan tanah, terbawa arus, meninggalkan sebagian di tanah dan sebagian lagi masuk ke sungai dan diikat oleh sungai (Pangestu dan Haki, 2013).

Proses pengendapan di perairan dapat menyebabkan pendangkalan dan penurunan kualitas air. Jika kadar sedimen di suatu badan air tinggi, maka tidak hanya menyebabkan pendangkalan sungai yang membahayakan biota, tetapi juga menurunkan kualitas air (Solihuddin, 2015). Uji kualitas sedimen terutama pada parameter logam berat merupakan suatu tahap penting dalam penilaian kualitas lingkungan perairan.

2.2 Pencemaran Logam Berat di Perairan

Logam berat masuk kedalam badan air melalui air hujan, limpasan permukaan, pengikisan dan pelapukan batuan mineral, serta limbah dari aktivitas manusia yang mengandung logam sehingga mencemari lingkungan. Kelarutan logam berat dalam air bisa dapat meningkat atau menurun sesuai dengan kondisi lingkungan perairan. Logam berat yang masuk ke badan air sungai dan laut akan dikeluarkan dari badan air oleh organisme akuatik melalui tiga proses yaitu yang dikenal sebagai pengendapan, adsorpsi, dan absorpsi (Zubayr, 2009 dalam Diana, 2013).

Logam berat dalam air akan terakumulasi dalam padatan, terutama pada sedimen. Pengaruh parameter kimia seperti terjadinya perubahan pH akan menyebabkan logam berat dalam sedimen terionisasi ke perairan. Hal tersebut dapat menyebabkan logam berat bersifat racun bagi ekosistem perairan (Connell and Miller, 2006).

2.3 Logam Berat

Dalam Connel (2006), logam berat adalah unsur logam yang memiliki massa jenis $>5 \text{ g/cm}^3$. Unsur yang termasuk dalam logam berat antara lain Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn. Beberapa logam sangat penting bagi organisme, tetapi dalam jumlah yang berlebihan dapat menghasilkan efek toksik. Logam berat dapat masuk ke dalam tanah dari berbagai sumber dan menjadi polutan. Pupuk, pestisida, tambahan bahan organik dan anorganik, residu limbah dan lumpur aktif mengandung berbagai logam berat (Yulipriyanto, 2010).

Logam berat merupakan kontaminan berbahaya dan cenderung terakumulasi dalam tubuh organisme, air, dan sedimen dasar perairan (Harun, 2008). Nordber, 1986 dalam Yudo (2006), menjelaskan bahwa jika logam berat telah diserap oleh tubuh manusia maka tidak dapat dimusnahkan, hanya dapat keluar melalui ekskresi. Hal serupa juga akan terjadi apabila logam berat masuk ke suatu lingkungan terutama pada perairan. Pencemaran logam berat dapat disebabkan dari faktor alam seperti gunung merapi, kebakaran hutan, atau faktor kegiatan manusia

seperti proses industri, pertambangan, peternakan dan perkebunan, kegiatan rumah tangga.

Dalam beberapa dekade terakhir, industri dan kegiatan perkotaan telah berkontribusi pada peningkatan kontaminasi logam. Daerah sungai sering terkontaminasi logam berat yang ada dalam air limbah dari kawasan industri yang seringkali tidak diolah terlebih dahulu. Polusi logam berat juga menjadi penyebab penting dari pencemaran tanah. Bahaya logam berat tidak sama seperti polutan lainnya, terletak pada tidak terdegradasi dan akumulasi di permukaan bumi. Terhadap logam berat dalam air seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), kadmium (Cd), kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), nikel (Ni), dan raksa (Hg) dapat menimbulkan masalah lingkungan ataupun kesehatan. Meskipun tuuh membutuhkan logam berat dalam jumlah tertentu, jumlah yang berlebihan dapat menjadi racun.

Logam berat tidak hanya bersifat racun bagi manusia, tetapi juga mengakumulasi sedimen dan biota melalui biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi oleh organisme akuatik. Liu *et al*, 2005 dalam Mahardika (2012), menyebutkan bahwa logam berat masuk ke perairan sebagai bagian dari sistem suspensi dalam air dan sedimen melalui proses penyerapan, pengendapan dan pertukaran ion. Dalam distribusi logam, sistem pengendapan dalam air sering didorong oleh kesetimbangan dinamis dan interaksi fisikokimia dan dipengaruhi oleh pH, konsentrasi dan jenis senyawa, kondisi redoks, dan bilangan oksidasi logam. Aliran limbah dari aktivitas manusia meningkatkan keberadaan logam berat dalam sistem air. Bahaya logam berat tidak sama seperti polutan lainnya, terletak pada tidak terdegradasi dan akumulasi di permukaan bumi. Polusi logam berat dalam ekosistem perairan menjadi potensi masalah global (Harikumar, 2010). Dalam penelitian Pekey (2006) menunjukkan bahwa logam cenderung terperangkap di lingkungan akuatik dan terakumulasi dalam sedimen.

2.3.1 Aluminium (Al)

Aluminium merupakan turunan dari kata alum yang menunjukkan pada senyawa garam rangkap. Kata alum sendiri berasal dari bahasa latin yaitu alumen yang artinya garam pahit. Bilangan oksidasi senyawa aluminium dengan konfigurasi $[_{10}\text{Ne}] 3s^23p^1$ adalah 3. Aluminium berlimpah di alam, dan merupakan logam terbanyak dikerak bumi (~8,3% berat kerak bumi) (Suyanti, 2010).

Aluminium memiliki titik lebur pada suhu 659 °C. Aluminium membentuk garam yang tidak memiliki warna dengan anion berwarna (Basset, 2013). Logam Al banyak ditemukan dalam air minum. Aluminium dengan konsentrasi tinggi akan mengalami pengendapan dalam perairan membentuk aluminium hidroksida (Singh, 2006).

Paparan logam aluminium masuk ke dalam tubuh manusia melalui oral, inhalasi, dan derma. Apabila logam aluminium terkena kulit dapat menyebabkan pori-pori tersumbat. Akibatnya kulit tidak dapat mengeluarkan zat racun yang ada pada tubuh secara alami. Sedangkan jika terkontak dengan aluminium dalam konsentrasi tinggi dan jangka waktu lama akan menyebabkan gangguan kesehatan yang serius, seperti badan gemetar, kelelahan terus menerus, kehilangan memori hingga mengalami kerusakan pada sistem syaraf pusat (Tumanggor, 2017)

2.3.2 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Logam kadmium (Cd) memiliki nomor atom 48 dengan massa atom 112,41. Kelimpahan Cd pada kerak bumi adalah 0,13 µg/g. Pada perairan, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Umumnya, dalam perairan logam kadmium ada dalam bentuk ion terhidrasi, garam klorida, kompleks dengan ligan anorganik atau ligan organik (Weiner, 2008).

Menurut Palar, 2004 dalam Istarani (2014) menyebutkan bahwa logam kadmium merupakan logam yang memiliki penyebaran sangat luas di alam. Dalam sedimen perairan, Cd yang tak terkontaminasi berkisar antara 0,1 – 1,0 µg/g bobot kering. Cd granular terlarut sering ditemukan di air permukaan.

Koefisien partisi Cd granular ataupun terlarut di perairan sungai di seluruh dunia berkisar antara 10^4 hingga 10^5 (Csuros, 2002 dalam Bana, 2015).

Unsur logam berat kadmium tidak berbau dan memiliki bioakumulasi yang tinggi. Karakteristik logam kadmium mirip dengan logam seng (Zn), yang mana logam Cd mudah diserap manusia, jaringan tumbuhan dan hewan. Kadmium beracun bagi semua organisme dan dapat memasuki tubuh manusia dalam berbagai cara. Ketika Cd atau senyawa terkaitnya diserap ke dalam tubuh manusia, mereka dapat menyebabkan beberapa atau semua gejala seperti air liur berlebih, kesulitan bernapas, mual, muntah, sakit perut, anemia, gagal ginjal, dan diare. Selain itu, ketika debu atau asap Cd terhirup, kadmium dapat menyebabkan tenggorokan kering, sakit kepala, nyeri dada, batuk, peningkatan kegelisahan, dan komplikasi bronkial. Kadmium juga memiliki pengaruh yang sangat negatif pada sistem metabolisme, bahwa Cd dapat menyebabkan kerusakan ginjal hingga kematian (Lu, *et al.*, 2007)

2.3.3 Kromium (Cr)

Kromium ditemukan dalam bentuk kromium logam, bivalen, trivalen dan heksavalen. Kromium merupakan salah satu logam berat berwarna abu-abu dan sulit oksidasi walaupun pada suhu tinggi. Logam Cr mempunyai massa jenis $7,19 \text{ g/cm}^3$, titik leleh $1875 \text{ }^\circ\text{C}$, titik didih $2658 \text{ }^\circ\text{C}$, tergolong logam mengkilap, keras dan tidak berkarat serta sering digunakan sebagai logam pelindung bagi logam lain (Bramandhita, 2009).

Senyawa Cr relatif tidak larut dalam air kecuali Cr oksida dan Cr hidroksida. Cr dapat ditemukan dalam berbagai kompartemen lingkungan, terutama dalam emisi antropogenik. Cr(VI) memiliki banyak kegunaan dalam bidang industri, seperti pengerasan baja, pigmen kromat dalam pewarna, cat, tinta, dan plastik. Kromat ditambahkan sebagai agen anti korosi pada cat, primer, dan pelapis permukaan lainnya. Senyawa Cr(III) digunakan sebagai katalis, inhibitor korosi, bahan tanah api, listrik semikonduktor, dan bahan kimia fotografi. Kegiatan antropogenik yang dapat meningkatkan konsentrasi Cr(III) dan Cr(IV) di lingkungan berasal dari industri manufaktur baja, industri kulit/penyamakan kulit,

dan industri tekstil. Akan tetapi, Cr(IV) dapat juga ditemukan dalam industri elektropainting, dan lainnya. Aplikasi ini dapat meningkatkan konsentrasi Cr dalam perairan. Melalui pembakaran batubara dan pembuangan limbah, Cr berakhir di udara dan tanah (Shanker, 2011).

Logam kromium heksavalen lebih beracun daripada kromium trivalen. Kromium heksavalen dapat menyebabkan kerusakan hati, kerusakan ginjal, pendarahan internal, dermatitis, kerusakan saluran pernapasan dan kanker paru-paru. Kromium heksavalen digolongkan sebagai karsinogenik terhadap manusia (USEPA dalam Indrawati, 2015).

2.3.4 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) memiliki nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083 °C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu^{2+} 0,96 Å. Tembaga termasuk dalam logam transisi 1B berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga beracun bagi makhluk hidup (Kundari, dkk, 2008).

Palar (1994) dalam Pamekasari, 2016 menjelaskan bahwa logam tembaga dapat menembus semua lapisan lingkungan baik air, tanah atau lapisan udara. Tembaga masuk ke lingkungan dapat berasal dari berbagai sumber. Umumnya berasal dari industri, rumah tangga dan pembakaran bahan bakar. Logam Cu masuk ke perairan dapat terjadi secara alamiah maupun sebagai limbah yang dihasilkan oleh manusia. Secara alamiah logam Cu masuk ke perairan dari erosi, pengikisan batuan ataupun dari udara dan dibawa oleh hujan. Logam Cu juga berasal dari aktivitas manusia seperti kegiatan industri, pertambangan Cu, maupun industri lainnya.

Ketika kandungan tembaga meningkat dan melebihi batas mutu, maka populasi organisme akuatik berkembang. Biomagnifikasi dapat diidentifikasi dengan akumulasi Cu dalam tubuh organisme akuatik tersebut. Terjadinya akumulasi sebagai akibat karena jumlah tembaga dalam tubuh telah melebihi nilai batas, sehingga tubuh tidak mampu melakukan proses metabolisme. Tembaga dapat menjadi racun bagi tubuh pada kadar tertentu. Cu dapat menyebabkan gangguan kesehatan bersifat akut dan kronis. Keracunan akut dapat menimbulkan

gejala seperti kejang, mual, muntah, sakit perut, netrofisis, hemofisis hingga menyebabkan kematian. Sedangkan jika kronis, Cu dapat menumpuk di dalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis akan mengakibatkan anemia dan pertumbuhan menjadi terhambat (Darmono, 1995 dalam Adhani, 2017).

2.3.5 Besi (Fe)

Besi (Fe) merupakan logam transisi yang menempati kesepuluh besar sebagian unsur di bumi dengan nomor atom 26. Besi memiliki bilangan oksidasi +3 dan +2. Fe mempunyai berat atom 55,845 g/mol dan titik leleh 1538 °C. Fe menyusun 5 - 5,6% dari kerak bumi. Kadar besi tertinggi terdapat dalam inti bumi dan sejumlah kecil terdapat dalam lapisan terluar kerak bumi (Widowati, 2008). Sebagian besar besi ini ditemukan dalam berbagai bentuk oksida besi, seperti mineral hematit, magnetit, dan taconite. Diyakini bahwa inti bumi terutama terbuat dari paduan besi-nikel (Kamble, *et al.*, 2013).

Suriawiria (2005) dalam Tumanggor, 2017 menjelaskan bahwa ketika besi hadir sebagai ion Fe^{+2} akan sangat mudah terlarut dalam air. Oksigen terlarut didalam air mengoksidasi Fe^{+2} menjadi $Fe(OH)_3$ membuat air keruh dan merah berkarat untuk waktu yang lama. Besi Fe^{+2} dalam air pada umumnya merupakan hasil pelepasan ion Fe^{+2} dari bahan organik.

Semua organisme membutuhkan zat besi untuk menghindari efek buruk akibat kekurangan zat besi, terutama anak-anak dan wanita yang sedang menstruasi. Tingkat zat besi dalam tubuh terlalu rendah bisa menjadi tanda suatu penyakit. Zat besi untuk setiap orang dewasa adalah berkisar 1 mg/hari untuk mengembalikan zat besi yang dikeluarkan oleh tubuh melalui saluran pencernaan, urin, dan kulit (Yang dkk, 2005). Selain sangat berguna, zat besi juga dapat menjadi sangat beracun jika jumlahnya berlebihan (Kamble, *et al.*, 2013). Kadar zat besi yang berlebih dapat merusak dinding usus hingga menyebabkan kematian. Sedangkan paparan besi melalui saluran pernafasan akan terakumulasi di dalam alveoli paru-paru (Yang dkk 2005).

2.3.6 Mangan (Mn)

Mangan (Mn) merupakan kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi. Mangan membentuk senyawa di lingkungan dengan bahan kimia seperti oksigen, belerang (S), dan klorin untuk menjadi larut dalam air. Mn tidak terjadi secara alami sebagai logam dasar tetapi merupakan komponen lebih dari seratus mineral. Mineral yang paling penting secara komersial adalah pirolusit yang terutama terdiri dari MnO_2 (Rollin, 2011).

Mangan berada pada bentuk manganous (Mn^{2+}) dan manganik (Mn^{4+}). Dari tanah, Mn^{4+} dihasilkan sebagai senyawa mangan dioksida. Pada perairan anaerobik, akibat dekomposisi bahan organik konsentrasi tinggi, Mn^{4+} mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} terlarut. Sedangkan dalam perairan aerobik, Mn^{2+} akan mengalami reoksidasi membentuk Mn^{4+} dan mengendap di dasar perairan (Effendi, 2003 dalam Damanik, 2017).

Mn ditemukan secara alami di banyak jenis batuan dan tanah di lingkungan ditemukan di dataran rendah, kadar air, udara, tanah, dan makanan. Level Mn rata-rata dalam berbagai media, kadar dalam air minum sekitar 0,004 ppm; tingkat udara rata-rata sekitar 0,02 mg/m^3 , level di kisaran tanah dari 40-900 ppm, dan rata-rata harian asupan dari makanan berkisar dari 1-5 mg/hari. Kebakaran hutan, vegetasi, dan aktivitas vulkanik adalah sumber alami utama lainnya terhadap logam Mn. Konsentrasi Mn terlarut dalam perairan alami tergantung pada lokasi geografis dan kegiatan antropogenik di daerah tersebut. Sumber utama Mn dalam tanah berasal dari batuan kerak, yaitu karena adanya deposisi atmosfer langsung, pencucian dari tanaman, dan pelepasan atau ekskresi dari tumbuhan dan hewan (Rollin, 2011).

Dalam penelitian Rollin (2011) juga mengatakan bahwa sumber antropogenik utama Mn yaitu berasal dari emisi penambangan bijih Mn, pengelasan, baterai alkaline kering, manufaktur dan produksi garam Mn. Penambangan bijih Mn membutuhkan lokasi yang lembab dimana secara langsung dapat mengganggu kadar alami Mn dalam air tanah dan tanah di wilayah tersebut. Mn juga digunakan dalam pembuatan keramik, pembuatan kaca, aluminium kaleng dan komponen elektronik. Bahan pertanian yang mengandung

Mn seperti fungisida dan pupuk masih digunakan secara luas di beberapa negara. Pembuangan air limbah kota dan limbah lumpur juga menjadi sumber substansial Mn. Sumber polusi Mn lainnya yang muncul adalah zat aditif bensin *methylcyclopentadieny mangan trikarbonil* (MMT), zat ini merupakan turunan organik dari Mn yang diperkenalkan dalam formula bahan bakar mobil sebagai agen penambah oktan dan antiknock, sehingga menggantikan atau mengurangi kandungan timbal (Pb) dalam bensin di beberapa negara.

2.3.7 Nikel (Ni)

Nikel (Ni) adalah logam putih keperakan dengan massa jenis 8,5 dan berat atom 58,71 g/mol. Logam nikel bersifat kuat, gampang dibentuk, dan tahan terhadap karat dan oksidasi (Widowati, 2008). Sukandarrumidi (2009) menjelaskan bahwa nikel adalah logam yang cukup keras, berwarna putih mengkilat. Nikel dalam kerak bumi terdapat $\leq 0,002\%$. Kandungan Ni yang terdapat dalam limbah yang dibuang menyebabkan tanah, air, dan tanaman menjadi terkontamina. Kadar nikel dalam tanah bisa mencapai 5 hingga 500 ppm, sedangkan kadar nikel pada air tanah mencapai 0,005 hingga 0,05 ppm dan kadar nikel dalam tumbuhan < 1 ppm (Sukandarrumidi, 2009).

Unsur Ni ataupun senyawa Ni memiliki kegunaan dalam bidang industri dan komersial karena bahan kimianya murah dijangkau. Nikel digunakan dalam berbagai aplikasi karena tahan terhadap suhu yang sangat tinggi, korosi dan oksidasi, selain itu mudah menyatu dan dapat didaur ulang sepenuhnya. Nikel digunakan dalam perhiasan, kunci, klip kerta, pengencang pakaian (seperti ritsleting, kancing jepret dan ikat pinggang), peralatan rumah tangga stainless steel, peralatan elektronik/listrik, persenjataan, koin, industri metalurgi dan pengolahan makanan (Cempel, 2006; Henderson, 2012). Senyawa nikel juga digunakan dalam elektroplating (25), elektroforming dan produksi baterai nikel-kadmium dan peralatan elektronik. Keberadaan senyawa nikel terbesar di udara berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Pencucian langsung dari batuan dan sedimen menghasilkan nikel konsentrasi tinggi dalam air, dimana ia hadir dalam bentuk nikel divalen, serta partikel tidak larut tersuspensi (Beattie, 2017).

Sumber alami nikel di atmosfer yaitu termasuk debu yang tertiuap angin, berasal dari pelapukan batuan dan tanah, kebakaran hutan dan aktivitas gunung berapi. Kehadiran nikel di udara juga berasal dari pembakaran batubara, minyak solar dan bahan bakar minyak, dan pembakaran limbah dan limbah. Sumber nikel di lingkungan lainnya termasuk peralatan dapur stainless steel, perhiasan dan rokok tembakau. Telah dibuktikan bahwa setiap batang rokok mengandung nikel dalam jumlah 1,1 hingga 3,1 g; nikel dalam asap tembakau mungkin ada sebagai nikel karbonil, yang sangat berbahaya bagi manusia kesehatan (Cempel, *et al.* 2006). Sumber lain dari paparan nikel pada populasi manusia adalah melalui paparan makanan; beberapa sayuran (bayam, asparagus, wortel, brokoli dan kacang hijau, tomat), kakao, coklat an kacang-kacangan mengandung logam beracun ini dalam jumlah tinggi (Carocci, *et al.* 2016; Lavinia, *et al.* 2018). Nikel juga secara tidak sengaja ditambahkan ke dalam makanan melalui pengolahan makanan menggunakan peralatan stainless steel atau melalui kontak tangan ke mulut (Vasiluk, *et al.* 2019).

Dampak dari penggunaan nikel memberikan dampak buruk jika tidak mendapatkan perhatian lebih dalam dosis ataupun penanganannya. Paparan nikel dalam tubuh manusia dapat masuk melalui oral, inhalasi dan dermal. Gangguan kesehatan yang ditimbulkan dari pajanan nikel berupa gangguan sistemik, gangguan imunologi, gangguan neurologis, gangguan reproduksi, gangguan perkembangan hingga kematian. Jika melalui inhalasi, paparan nikel dapat menyebabkan kematian, gangguan sistemik mengakibatkan gangguan pernapasan, gangguan kardiovaskular, gangguan gastrointernal, gangguan hematologi, gangguan pada ginjal, gangguan reproduksi, dan kanker. Paparan melalui oral dapat menyebabkan juga gangguan otot berupa nyeri, gangguan pada hati, gangguan ginjal, dan gangguan neurologi. Sedangkan paparan melalui dermal dapat menyebabkan dermatitis kontak alergi (Miaratiska, 2015).

2.3.8 Timbal (Pb)

Timbal dengan nomor atom 82 dan massa atom 207,2 g/mol mempunyai massa jenis 11,34 g/cm³. Logam timbal merupakan logam lunak dengan titik leleh 327 °C dan titik didih 1.620 °C. Timbal (Pb) termasuk logam yang sangat rapuh dan dapat mengkerut saat didinginkan. Pb terlarut dapat terlarut dalam asam nitrat (HNO₃), asam asetat (CH₃COOH), asam sulfat (H₂SO₄) pekat, sedikit larut dalam air dan bereaksi dengan oksigen di udara untuk membentuk timbal oksida. Logam Pb memiliki keadaan oksidasi paling umum yaitu timbal (II) dan dengan potensi reduksi standar -0,13 V (Palar, 1994 dalam Damayanti, 2011).

Frank (2006) mengatakan bahwa logam timbal tersebar bebas di semua bagian atmosfer. Akan tetapi menurut Gusnita (2012), meskipun timbal jarang ditemukan bebas di alam, timbal terkandung dalam senyawa molekul lain seperti PbBr₂ dan PbCl₂. Dibandingkan dengan logam berat lainnya, timbal lebih tersebar luas di lingkungan. Umumnya kandungan timbal dalam tanah pada rentang 5-25 mg/kg, dalam air tanah pada rentang 1-60 µg/L, dan di udara pada rentang < 1 µg/m³, akan tetapi kadar timbal akan lebih tinggi pada daerah dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi (Frank, 2006).

Hampir semua manusia mengalami kontak dengan timbal dari lingkungan sekitarnya. Manusia dapat terpapar timbal melalui air, makanan, debu, minyak, dan udara (D'souza dkk, 2014). Hasil pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor menjadi penyebab terjadinya peningkatan kandungan timbal di udara. Timbal anorganik merupakan sebuah emisi yang dihasilkan dari pembakaran aditif timbal dalam bahan bakar kendaraan (Sudarmaji dkk, 2006). Menurut Palar (2005), selain dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, pencemaran timbal juga dapat berasal dari penggunaan cat, kegiatan industri, baterai, kabel, insektisida, bahan peledak, penggunaan timbal dalam pembuatan keramik, penggunaan solder timbal dalam industri perhiasan, dan kosmetik.

O'neil, 1994 dalam Adhani (2017) menyebutkan bahwa paparan logam timbal dapat menyebabkan sakit kepala, halusinasi, tremor, menurunnya tingkat konsentrasi dan kecerdasan, gangguan neurologi, gangguan fungsi ginjal,

keguguran, cacat hingga kematian janin, penurunan hemoglobin (Hb) sehingga menyebabkan anemia, dll.

2.4 Paramter Fisika dan Kimia

2.4.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor terpenting dalam keberlangsungan proses yang terjadi dalam perairan, baik proses biologi maupun proses kimia. Suhu memengaruhi kandungan oksigen dalam perairan (Rahayu *et al.*, 2009). Suhu dapat menjadi faktor penentu dalam kehidupan flora dan fauna akuatik, karena dapat memengaruhi jenis, jumlah dan keberadaan flora ataupun fauna akuatik tersebut (Asdal, 2007).

2.4.2 Total Dissolved Solid (TDS)

Wibowo (2020) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa TDS adalah padatan terlarut yang hanya terjadi dari mineral dan kation yang larut dalam air. TDS diukur dengan satuan *Parts per Million* (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air.

TDS merupakan jumlah padatan terlarut di dalam air yang dijadikan sebagai acuan dalam mengukur kandungan material padatan di perairan. Sumber utama penyebab masuknya TDS ke dalam badan perairan yaitu berasal dari limbah pertanian, limbah rumah tangga, dan limbah industri. Jika konsentrasi TDS mengalami perubahan, maka akan menimbulkan dampak yang berbahaya karena dapat menyebabkan perubahan pada salinitas, dan meningkatnya toksisitas setiap ion yang ada dalam perairan tersebut (Weber, *et al.* 2007).

2.4.3 pH (Derajat Keasaman)

Tingkat keasaman atau basa dalam suatu zat, larutan, atau benda dinyatakan dalam derajat keasaman atau pH. pH merupakan singkatan dari *power of hydrogen*. pH memiliki rentang nilai 0-14. Secara umum pH normal memiliki nilai 7, jika nilai pH < 7 memiliki sifat asam, dan untuk nilai pH > memiliki sifat basa.

pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, sedangkan pH 14 menunjukkan derajat tingkat basa paling tinggi (Tri Joko, 2010).

2.4.4 Konduktivitas

Menurut Zullar (2015) dalam penelitian Primawati, 2016 menyebutkan konduktivitas adalah pengukuran konsentrasi total elektrolit dalam air. Kandungan elektrolit yang pada prinsipnya merupakan garam terlarut dalam air, berkaitan dengan daya air dalam menghantarkan arus listrik. Semakin banyak garam terlarut, semakin baik konduktivitas air. Oleh karena itu, air suling yang tidak mengandung garam terlarut bukanlah konduktor. Selain dipengaruhi oleh banyaknya garam terlarut, konduktivitas juga dipengaruhi oleh nilai temperatur.

Konduktivitas atau daya hantar listrik (DHL) juga dikenal sebagai sifat air dalam menghantarkan listrik. Sifat-sifat ini dipengaruhi oleh kandungan yang dikenal sebagai ion bebas. Asam, basa, dan garam merupakan penghantar listrik yang baik, tetapi zat organik merupakan penghantar listrik yang buruk. Karena arus dibawa oleh ion dalam larutan, konduktivitas meningkat dengan meningkatnya konsentrasi ion (Liza, 2014).

Tabel 2.1 Klasifikasi Air Berdasarkan Konduktivitas

No.	Konduktivitas ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Klasifikasi
1.	0,0055	Air murni
2.	0,5-5	Air suling
3.	5-30	Air hujan
4.	30-200	Air tanah
5.	45000-55000	Air laut

(Sumber: Davis *et al.*, 1996 dalam La Goa, 2016)

2.4.5 ORP (Oxidation-Reduction Potential)

ORP mengukur ketahanan larutan terhadap oksidasi atau reduksi. Reaksi oksidasi dan reduksi melibatkan pertukaran elektron. Selain mengukur aktivitas elektron, ORP juga mengukur kapasitas antioksidan suatu larutan (Carpenter, 2009). Menurut Anonim, 2015 dalam penelitian Putri, *et al.* (2016) menyebutkan

bahwa ORP adalah angka yang menggambarkan kebersihan air dan kemampuannya untuk menghancurkan kontaminan. Karena bahan organik membutuhkan oksigen, Semakin banyak kontaminan yang dikandung air, semakin rendah kandungan oksigen terlarut dan semakin rendah nilai ORP dalam kondisi ini. Semakin tinggi nilai ORP, semakin besar kemampuan air untuk menghancurkan benda asing seperti mikroorganisme. Potensi reduksi oksidasi diukur sebagai tegangan tunggal dalam milivolt (mV). Pengoksidasi memiliki nilai ORP positif, sedangkan pereduksi memiliki nilai ORP negatif (SENSOREX, 2021).

Seperti hanya pengukuran pH, pengukuran ORP bukanlah indikator langsung konsentrasi melainkan indikator aktivitas. Namun, dalam larutan dengan satu spesies aktif, seperti air kolam yang mengandung klorin, ORP berkorelasi dengan konsentrasi (SENSOREX, 2021). Data ORP biasanya dapat menjadi lebih berguna jika digunakan sebagai indikator dari waktu ke waktu dan / atau dengan parameter umum lainnya untuk membantu mengembangkan gambaran lengkap tentang pengukuran kualitas air.

Biochemical Reactions and Corresponding ORP Values	
Biochemical Reaction	ORP, mV
Nitrification	+100 to +350
cBOD degradation with free molecular oxygen	+50 to +250
Biological phosphorus removal	+25 to +250
Denitrification	+50 to -50
Sulfide (H ₂ S) formation	-50 to -250
Biological phosphorus release	-100 to -250
Acid formation (fermentation)	-100 to -225
Methane production	-175 to -400

Gambar 2.1 Reaksi Kimia Terhadap ORP

(Sumber: YSI, 2008)

2.5 Sungai Winongo

Sungai Winongo merupakan satu dari banyak sungai yang mengalir melalui Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai Winongo memiliki panjang 43,75 km yang mengalir melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul (Permana, 2012). Daerah Aliran Saluran (DAS) Winongo terletak di tiga wilayah administratif kabupaten/kota di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, meliputi:

- Kabupaten Sleman: Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman dan Kecamatan Mlati
- Kota Yogyakarta: Kecamatan Tegalgrejo, Kecamatan Gredongtengen, Kecamatan Mantijeron, Kecamatan Wirobrajan dan Kraton (batas)
- Kabupaten Bantul: Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis dan Kecamatan Kretek (BPLH, 2014).

Dalam penelitian Handayani (2014) menjelaskan bahwa hasil analisis kadar kromium pada air Sungai Winongo di Yogyakarta menunjukkan hasil yang sama untuk ketiga titik sampling yaitu $<0,0213$ mg/L (Tabel 2.2). Berdasarkan data tersebut bahwa pada semua titik sampling di perairan Sungai Winongo masih di bawah ambang batas yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yaitu sebesar 0,05 mg/L untuk kelas I, II, dan III sebesar 0,05 mg/L.

Tabel 2.2 Hasil Uji Kromium (Cr) pada Air di 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

Selain itu juga, hasil pemantauan kualitas air Sungai Winongo oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta (2019) ditemukan bahwa kadar logam besi (Fe) dan mangan (Mn) yaitu sebesar 0,27 mg/L dan 0,08 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pemantuan terhadap Fe dan Mn tersebut melebihi batas baku mutu yang telah di tetapkan pada

Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu untuk Fe sebesar 0,3 mg/L pada kualitas air kelas I dan Mn sebesar 0,1 mg/L juga untuk kualitas air kelas I.

2.6 Penentuan Konsentrasi Logam Berat

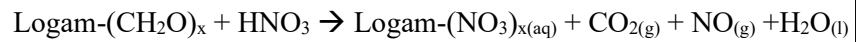
2.6.1 Destruksi Basah

Destruksi adalah sebuah proses penguraian senyawa-senyawa menjadi unsur-unsur sehingga sampel dapat diolah dan dianalisis. Istilah destruksi juga dapat diartikan sebagai penguraian berupa penguraian logam-logam organik menjadi bentuk logam anorganik. Destruksi basah juga merupakan perombakan sampel dengan menggunakan asam kuat baik tunggal maupun campuran, kemudian dioksidasi dengan zat oksidator. Pelarut yang dapat digunakan antara lain asam nitrat, asam sulfat, asam peklorat, dan asam klorida. Semua pelarut ini dapat digunakan sendiri atau dalam campuran. Hasil destruksi yang sempurna ditandai dengan diperolehnya larutan jernih hasil destruksi. Hal ini menunjukkan bahwa semua komponen yang ada telah terlarut sempurna (Raimon, 1993 dalam Kristianingrum, 2012).

Prinsip destruksi yaitu semakin banyak jumlah sampel yang digunakan maka campuran asam yang dibutuhkan sebagai pendestruksi semakin banyak dan waktu yang dibutuhkan pun menjadi semakin lama. Destruksi basah yang dilakukan menggunakan campuran asam kuat dari HNO_3 : HClO_4 . Penggunaan asam nitrat (HNO_3) yang dikombinasikan dengan asam peklorat (HClO_4) bertujuan sebagai campuran asam untuk mendestruksi sampel yang digunakan, dimana HClO_4 bertindak sebagai oksidan kuat (oksidator) yang berfungsi membantu HNO_3 mendekomposisi matriks organik dalam sampel sehingga dapat terdekomposisi sempurna (Handayani, *et al.* 2018).

Gelembung gas berwarna coklat tipis merupakan hasil samping dari proses destruksi menggunakan asam nitrat. Gas tersebut berupa NO_2 . Danko, *et al.*, 2000 dalam Kristianingrum (2012) menjelaskan bahwa adanya gas tersebut mengindikasikan jika bahan organik telah dioksidasi secara sempurna oleh asam nitrat. Penggunaan HNO_3 sebagai agen pengoksidasi dapat menimbulkan gas

berwarna kecoklatan selama proses pemanasan berlangsung. Reaksi yang terjadi antara bahan organik dengan asam nitrat adalah sebagai berikut.



Destruksi basah yang telah dijelaskan di atas menggunakan destruksi terbuka dengan menggunakan pemanasan di atas *hotplate* dengan suhu yang telah ditetapkan. Hasil proses destruksi basah ditandai dengan larutan uji menjadi jernih, hal tersebut menandakan bahwa sampel telah teroksidasi sempurna dan menghasilkan elemen anorganik sesuai untuk dapat dianalisis (Fadhilah, 2016).

2.6.2 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

Menurut Khopkar (2008) menyebutkan bahwa metode Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) didasarkan pada prinsip bahwa atom menyerap cahaya. Atom menyerap panjang gelombang tertentu cahaya tertentu, tergantung pada sifat-sifat unsur. Cahaya pada panjang gelombang tertentu memiliki energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektron dalam atom. Adanya penyerapan energi berarti bahwa atom-atom dalam keadaan dasar meningkat dalam keadaan tereksitasi.

Prinsip dasar SSA adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dan sampel. SSA menggunakan metode yang sangat tepat untuk menganalisis zat dengan konsentrasi rendah. Teknik-teknik ini didasarkan pada pelepasan dan penyerapan uap atom. Komponen utama dari metode SSA adalah sistem (perangkat) yang digunakan untuk menghasilkan uap atom dari sampel (Khopkar, 2008).

Darmono (1995) dalam Lestari (2015) menjelaskan jika pengoperasian SSA didasarkan pada penguapan larutan sampel sehingga mengubah logam yang terkandung menjadi atom bebas. Atom menyerap radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan oleh lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan diukur. Jumlah radiasi yang diserap diukur dengan panjang gelombang tertentu tergantung pada jenis logam. Menurut Hayati dan Dewi (2009), radiasi yang dipancarkan dalam keadaan dasar (*ground state*) suatu unsur menyerap

energi, memungkinkan elektron di kulit terluar naik ke tingkat energi yang lebih tinggi yang disebut dengan tereksitasi sama dengan jumlah energi yang diserap.

2.7 Indeks Penilaian Pencemaran Logam

Dalam penelitiannya, Harikumar (2010) menjelaskan bahwa kriteria umum untuk mengevaluasi logam berat pencemaran dalam sedimen adalah dengan geoakumulasi index (I_{geo}). Konsep ini pertama kali didefinisikan oleh Muller pada tahun 1979 untuk menentukan kontaminasi logam dalam sedimen, dengan membandingkan konsentrasi saat ini dengan tingkat pra- industri sehingga dapat menentukan klasifikasi kualitas sedimen berdasarkan kelas nya. I_{geo} dapat dihitung dengan persamaan 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 konsentrasi logam n dalam sedimen latar atau nilai acuan.

Tabel 2.3 Nilai Latar Logam

Logam	Background (µg/g)
Al	80.000
Fe	47.200
Cr	90
Cd	0,3
Cu	45
Mn	850
Ni	68
Pb	20

(Sumber: Karl, K, 1961).

Dalam Muller (1979) memiliki tujuh (7) kelas geoakumulasi yang disajikan dalam **Tabel 2.4** sebagai berikut.

Tabel 2.4 Klasifikasi Geoakumulasi Indeks

Igeo value	Kelas	Kualitas Sedimen
< 0	0	Tidak tercemar
0-1	1	Tidak tercemar hingga tercemar sedang
1-2	2	Tercemar sedang
2-3	3	Tercemar sedang hingga sangat tercemar
3-4	4	Sangat tercemar
4-5	5	Sangat tercemar hingga ekstrim tercemar
≥ 6	6	Ekstrim tercemar

(Sumber: A. Hayton, 1993)

2.8 Studi Terdahulu

Rekapitulasi mengenai penelitian terlebih dahulu terkait logam berat dan sedimen disajikan dalam **Tabel 2.5** berikut.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

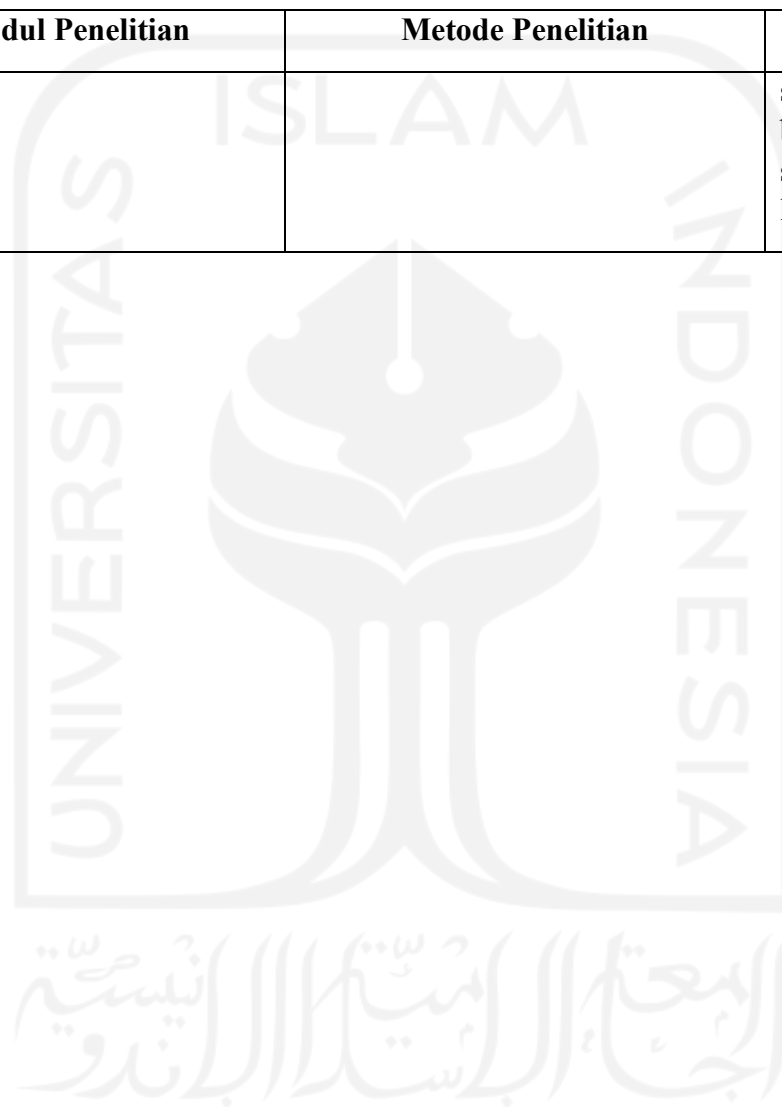
No.	Sumber	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1	Handayani, 2014	Akumulasi Kromium (Cr) Pada Daging Ikan Nila Merah (<i>Oreochromis ssp.</i>) dalam Karamba Jaring Apung di Sungai Winongo Yogyakarta	Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni sampai Juli 2013 (bulan kemarau) di Sungai Winongo Yogyakarta (Badran, Serangan dan Bugisan). Penetapan stasiun pengambilan sampel dengan <i>Purposive Random Sampling</i> berdasarkan lokasi yang terdapat ikan nila merah. Sampel uji dilakukan uji AAS.	<p>Hasil analisis kadar kromium (Cr) pada air di Sungai Winongo diperoleh kadar yang sama untuk semua stasiun yaitu <0,0213 mg/L. Sedangkan untuk kadar logam berat Cr pada daging ikan nila merah melebihi nilai ambang batas konsumsi manusia. Hal ini didasarkan pada nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) pada ketiga stasiun yaitu 480,117 L/kg, 433,075 L/kg dan 460,599 L/kg.</p> <p>Nilai BCF memiliki tiga kategori yaitu, 1) nilai lebih besar dari 1000 L/kg kategori sifat akumulatif tinggi, 2) nilai BCF 100 s/d 1000 L/kg kategori sifat akumulatif sedang, dan 3) nilai BCF <100 L/kg kategori sifat akumulatif rendah. Berdasarkan kategori sifat tersebut, hasil pengujian pada semua</p>

No.	Sumber	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				<p>stasiun penelitian termasuk dalam kategori akumulatif sedang. Hal ini menunjukkan bahwa ikan nila merah ini tidak layak konsumsi manusia karena secara tidak langsung akan terakumulasi juga pada tubuh manusia.</p>
2	Permanawati, 2013	Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd dan Cr) dalam Air dan Sedimen di Perairan Teluk Jakarta	<p>Pengambilan sampel air menggunakan <i>Water Sampler Nennsen</i> yang sudah di modifikasi pada kedalaman 5 m dari permukaan air. Penentuan Nilai Ambang Batas (NAB) air laut didasarkan pada Kep-51/KMNLH/2004 sedangkan untuk sedimen penentuan nilai ambang batas berdasarkan <i>Sediment Quality Standards WAC</i> 172-204-320. Pengukuran konsentrasi logam berat dalam sampel air dan sedimen laut dilakukan dengan metode <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS).</p>	<p>Hasil penelitian pada sampel air menunjukkan nilai konsentrasi Cu dan Cr dalam air laut memiliki nilai yang homogen yaitu Cu sebesar 0,005 mg/L dan Cr sebesar 0,001 mg/L. Sedangkan nilai konsentrasi Pb, Zn, dan Cd menunjukkan nilai yang bervariasi, Pb sekitar 0,005 – 0,011 mg/L, Zn sekitar 0,005 – 0,007 mg/L, dan Cd sekitar 0,005 – 0,015 mg/L. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan logam berat Pb dan Cd telah melebihi NAB yang telah ditetapkan pada KEP-51/MENLH/2004.</p> <p>Sedangkan hasil analisis nilai konsentrasi logam berat sedimen dasar</p>

No.	Sumber	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				<p>laut dalam ppm terukur yaitu, Cu sekitar 15 – 169,5, Pb sekitar 14 – 58,1, Zn sekitar 95,8 – 333, Cd sekitar 0,012 – 0,75, dan Cr sekitar 45,32 – 139,18. Kadar logam berat sedimen tersebut masih sesuai dengan NAB yang berlaku, yaitu Cu sebesar 390 ppm, Pb sebesar 450 ppm, Zn sebesar 410 ppm, Cd sebesar 5,1 ppm, dan Cr sebesar 260 ppm. Sehingga status mutu sedimen di Teluk Jakarta termasuk tidak tercemar/memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.</p>
3	Budiastuti, 2016	Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang	Jenis penelitian yang digunakan merupakan penelitian deskriptif bersifat observasional dengan pendekatan kuantitatif yaitu dengan melakukan pengamatan laboratorium untuk mengidentifikasi kandungan logam berat timbal (Pb) pada sedimen dan biota Sungai Babon.	<p>Hasil pengukuran kandungan logam berat Pb pada sedimen berkisar 4,170 – 7,256 mg/kg. Umumnya kadar logam berat Pb pada sedimen tidak melampaui ambang batas yang ditetapkan <i>Sediment Quality Guideline</i> tahun 2003 yaitu sebesar 36 mg/kg.</p> <p>Kadar timbal dalam biota (<i>Sulcospira testudinaria</i>) pada Sungai Babon yaitu sekitar 1,875 – 2,403 mg/kg. Kadar</p>

No.	Sumber	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				logam berat Pb dalam biota tersebut telah melebihi nilai ambang batas baku mutu pangan ditetapkan dalam SNI 7387:2009 sebesar 1,5 mg/kg
4	Susantoro, 2015	Distribusi Logam Berat Pada Sedimen di Perairan Muara dan Laut Provinsi Jambi	Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan <i>grab sampler</i> . Dilakukan pengujian laboratorium untuk pengukuran konsentrasi logam berat (As, Cd, Cr, Ni, Hg, Se, Zn, Cu, Pb, dan Co).	Pada penelitian bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat (As, Cd, Cr, Ni, Hg, Se, Zn, Cu, Pb, dan Co) pada sedimen di sungai dan laut Provinsi Jambi. Data penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa As, Cd, Hg dan Se tidak terdeteksi pada perairan tersebut. Daerah penelitian terdeteksi tercemar <i>Cobalt</i> (Co) di muara sungai dengan konsentrasi 23-25 mg/kg dan perairan laut dengan konsentrasi 21-31 mg/kg. Hasil tersebut masuk dalam kelas 3 menurut klasifikasi dari <i>Swedish Environmental Protection Agency</i> (SEPA). Sedangkan pada area dekat dengan muara sungai tercemar logam Cu dengan konsentrasi tinggi yaitu sebesar 68 mg/kg masuk kelas 4 menurut SEPA dan sedikit tercemar Ni dengan konsentrasi 14 mg/kg dan Cr

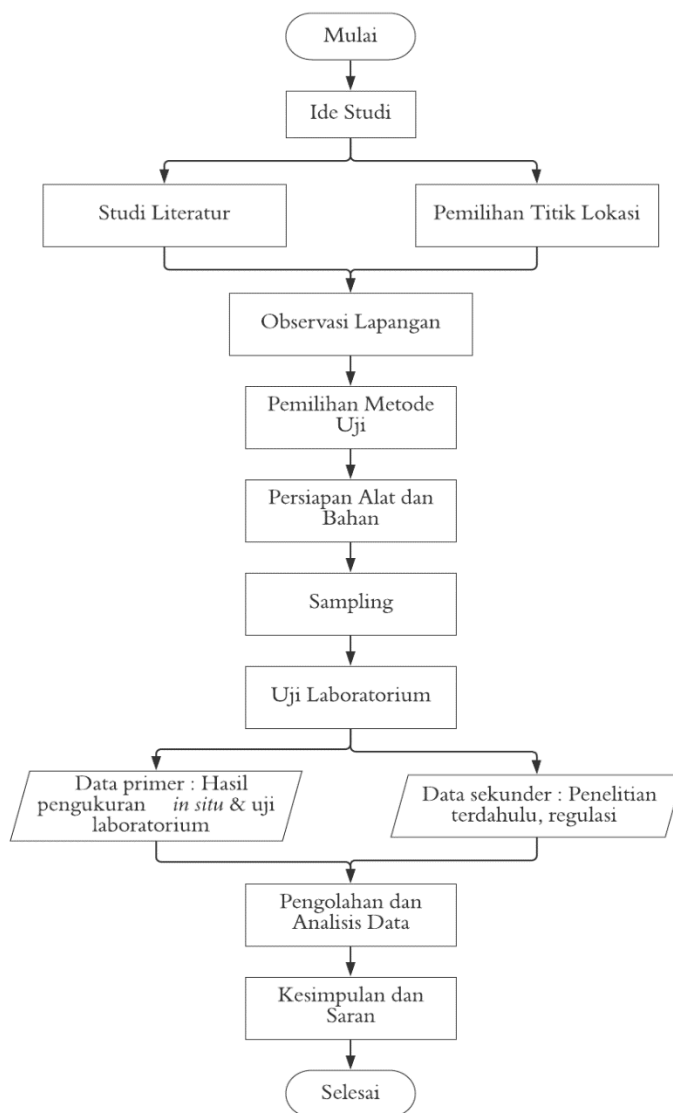
No.	Sumber	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				sebesar 19 mg/kg. Secara umum logam berat cenderung lebih tinggi di muara sungai dibandingkan dengan ke arah laut lepas.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Diagram alir dalam proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 dengan 3 kali sampling (**Tabel 3.1**). Hal ini untuk mengetahui konsentrasi logam berat dalam kurun waktu tersebut agar dapat menentukan tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo.

Tabel 3.1 Waktu Sampling

<i>Sampling ke-</i>	<i>Waktu Sampling</i>	<i>Kondisi Cuaca</i>
1	7 – 8 Desember 2020	
2	19 – 20 Januari 2021	Hujan
3	8 – 9 Februari 2021	

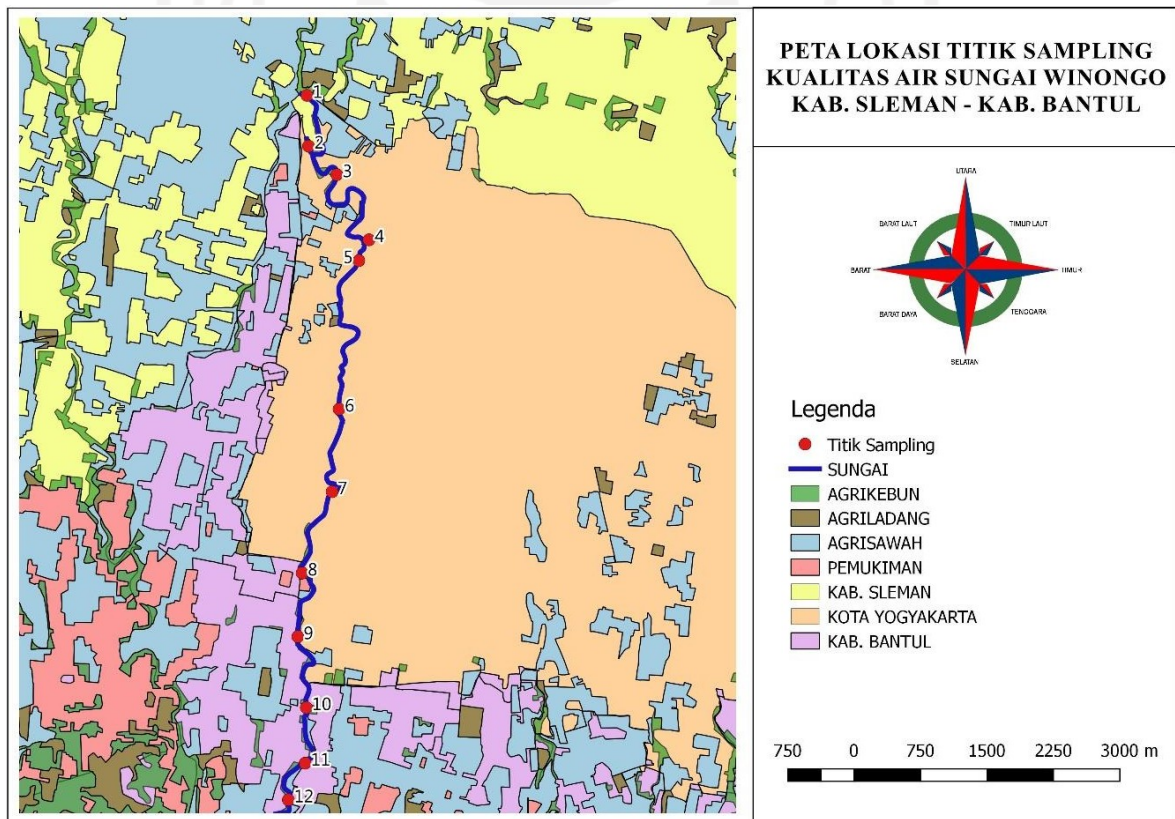
Sampel yang dianalisa berupa sedimen Sungai Winongo dengan titik pengambilan sebanyak 12 titik sampling. Penentuan titik sampling didasarkan pada karakteristik penggunaan lahan di sekitar aliran Sungai Winongo. Titik-titik sampling yang dipilih mewakili bagian hulu dengan perkiraan beban kegiatan dari aktivitas rumah tangga ataupun kegiatan industri yang masih kecil, bagian tengah dan hilir yang intensitas kegiatannya tinggi. Titik sampling juga diletakkan di anak-anak Sungai Winongo. Selain pertimbangan tersebut, pemilihan titik sampling juga memperhitungkan keselamatan dan kemudahan akses pengambilan sampel. Berdasarkan hasil survey lapangan, dibawah ini merupakan deskripsi titik-titik pengambilan sampel.

Tabel 3.2 Lokasi Titik Sampling

<i>Sampling Point</i>	<i>Lokasi</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	Jembatan Jambon	7°45'58.11"S	110°21'6.50"E
2	Panggung	7°46'16.61"S	110°21'7.06"E
3	Jembatan Jatimulyo	7°46'27.02"S	110°21'17.41"E
4	Bumijo, Kec. Jetis	7°46'50.80"S	110°21'29.14"E
5	Kyai Mojo	7°46'58.38"S	110°21'25.44"E
6	Jembatan Merah	7°47'52.53"S	110°21'18.20"E
7	Ngampilan	7°48'22.67"S	110°21'15.67"E
8	Mantrijeron	7°48'52.33"S	110°21'4.70" E
9	Mantrijeron	7°49'15.54"S	110°21'3.17"E
10	Jogonalan Lor, Kel Tirtonirmolo	7°49'41.41"S	110°21'6.26"E

11	Jogonalan Kidul	7°50'1.67"S	110°21'5.84"E
12	Jembatan Winongo	7°50'15.07"S	110°20'59.72"E

Titik lokasi sampling disajikan pula dalam Peta Lokasi Titik Sampling Kualitas Air Sungai Winongo (**Gambar 3.2**). Peta lokasi titik sampling dibuat dengan menggunakan *Quantum Geographic Information System* (QGIS) versi 2.18.15. Informasi peta wilayah D.I Yogyakarta dan sebagainya didapatkan dari website resmi Ina-Geoportal. Ina-Geoportal sendiri merupakan portal Geospasial Indonesia untuk mengakses informasi geospasial yang menghubungkan berbagai informasi Kementrian, Lembaga, Provinsi, dan Daerah yang menjadi penghubung simpul Jaringan Informasi Geospasial Nasional (JIGN) (Badan Informasi Geospasial, 2016).



Gambar 3.2 Peta Lokasi Sampling

3.3 Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif yang dilakukan dengan pengambilan sampel sedimen dan pengujian laboratorium untuk menentukan kandungan logam berat pada sedimen Sungai Winongo. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel utama dan variabel pendukung. Variabel utama dari penelitian ini yaitu logam berat yang meliputi Aluminium (Al), Besi (Fe), Kadmium (Cd), Krom (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb). Variabel pendukungnya terdiri dari temperatur, pH, TDS, konduktivitas, dan ORP yang akan diukur langsung pada saat sampling.

3.4 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam menunjang penelitian ini berupa *Multi-Parameter Water Quality Meter Horiba* yang digunakan sebagai alat pengukuran *in situ* untuk variabel pendukung berupa TDS, pH, suhu, ORP, dan konduktivitas. Dalam pengujian laboratorium, alat yang digunakan untuk preparasi sampel terdiri dari alat gelas, mortal dan alu, *hotplate* atau penangas listrik, oven, dan spektrofotometer serapan atom (SSA).

Selain alat yang digunakan sebagai penunjang penelitian, beberapa bahan berupa HNO₃, kertas saring *whatman* 40, dan HClO₄ juga digunakan dalam penelitian ini. Larutan HNO₃ sebagai reagen pendestruksi berfungsi untuk memutus ikatan senyawa kompleks organologam. Sedangkan larutan HClO₄ berfungsi sebagai katalisator atau pembantu oksidator.

3.5 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diambil dari hasil analisis langsung maupun hasil analisis laboratorium. Sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh dari penelitian terdahulu ataupun sumber yang sudah ada seperti DLHK

DIY, Inageoportel, Qgis, dan jurnal ilmiah lainnya. Standar acuan dan metode yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Standar Acuan dan Metode Pengukuran

Varibel	Parameter	Acuan	Metode	Pengukuran
Variabel Utama	Alumunium (Al)	USEPA	<i>Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)</i>	Laboratorium
	Besi (Fe)	USEPA		
	Timbal (Pb)	SNI 06-6992.3-2004		
	Kadmium (Cd)	SNI 06-6992.4-2004		
	Tembaga (Cu)	SNI 06-6992.5-2004		
	Kromium (Cr)	SNI 06-6992.6-2004		
	Nikel (Ni)	SNI 06-6992.6-2004		
	Mangan (Mn)	SNI 06-6992.7-2004		
Variabel Pendukung	pH	SNI 6989.11-2019	pH meter	<i>In situ</i>
	Temperatur	SNI 06-6989.23-2005	Termometer	
	<i>Total Dissolved Solid (TDS)</i>	SNI 6989.27-2019	Gravimetri	
	<i>Oxidation Reduction Potential (ORP)</i>		DO meter	
	Konduktivitas	SNI 06-6989.1-2004	Konduktometer	

3.5.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sedimen dilakukan di 12 titik sepanjang Sungai Winongo sebanyak 3x dalam rentang waktu Desember 2020 – Februari 2021. Hal ini bertujuan untuk melihat variasi kualitas sedimen antar waktu. Kondisi cuaca pada saat pengambilan sampel termasuk dalam bulan basah yang ditandai dengan intensitas curah hujan yang tinggi pada 3 waktu tersebut. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada kedalaman sekitar 5-10 cm pada bagian pinggir sungai dengan menggunakan sekop. Sedimen yang telah diambil, disaring untuk mengurangi kadar air yang ada pada sedimen. Kemudian sedimen dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* dan diberi label agar tidak tertukar antara satu sampel dengan sampel yang lainnya. Sampel sedimen di bawa ke laboratorium untuk dilakukan proses pengawetan pada lemari pendingin yang selanjutnya sampel sedimen akan dilakukan preparasi sampel.



Gambar 3.3 Sekop

3.5.2 Preparasi Sampel

Preparasi sampel sedimen mengacu pada standar acuan dan metode yang terdapat dalam **Tabel 3.3**. Sampel sedimen dikeringkan menggunakan oven *Memmert UN Series* dengan suhu 105 – 120°C hingga kering, kemudian dilakukan penggerusan dengan menggunakan mortal dan alu. Setelah dilakukan penggerusan, dilakukan pengayakan dengan ayakan ukuran 200 mesh menggunakan *shaker* untuk mendapatkan butiran yang seragam dan homogen.

Digunakan sebanyak ± 3 gr sampel sedimen yang telah diayak, ditambahkan 25 ml aquadest dan 5 ml HNO_3 , lalu dipanaskan hingga berkurang dengan volume 10 ml diatas penangas listrik (*hot plate*) dengan suhu 120°C. Setelah volume larutan menjadi 10 ml, angkat dan dinginkan. Selanjutnya ditambah dengan 5 ml HNO_3 dan 2 ml HClO_4 , larutan dipanaskan kembali hingga timbul asap putih dan larutan menjadi jernih.

Ukur volume sampel ± 10 ml dengan gelas ukur, saring dengan kertas saring *whatman 40* (pori 8,0 μm). Sampel uji ditempatkan pada labu ukur 100 ml dan ditambahkan aquadest sampai batas. Sampel uji siap diukur ke dalam *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

3.5.3 Pengujian Sampel

Analisis logam Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cd, Cr, dan Pb dilakukan dengan menggunakan AAS series GBC Sigma Avanta A 6840. Panjang gelombang yang digunakan untuk masing-masing parameter adalah Al 309,3 nm; Cd 228,8 nm; Cr 357,9 nm; Cu 324,7 nm; Fe 248,3 nm; Mn 279,5 nm; Ni 232,0 nm; dan Pb 283,3 nm.

Prinsip dasar *Atomic Absorption Spectrophotometer* ini adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. SSA menggunakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik-teknik ini didasarkan pada emisi dan absorpsi dari uap atom. Komponen kunci metode SSA adalah sistem (alat) yang dipakai untuk menghasilkan uap atom dalam sampel (Khopkar, 2008).

3.6 Analisis Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data dengan berbagai metode untuk menggambarkan kualitas sedimen Sungai Winongo. Distribusi konsentrasi logam berat di setiap titik sampling akan diolah dan disajikan dengan statistik deskriptif melalui *box/whisker plot*. Konsentrasi setiap titik dibandingkan juga dengan standar baku mutu yang ada. Karena Indonesia tidak memiliki standar baku mutu untuk sedimen, maka yang menjadi acuan adalah standar baku mutu dari negara lain pada *Ontario Ministry of Environment and Energy* tentang *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment*.

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

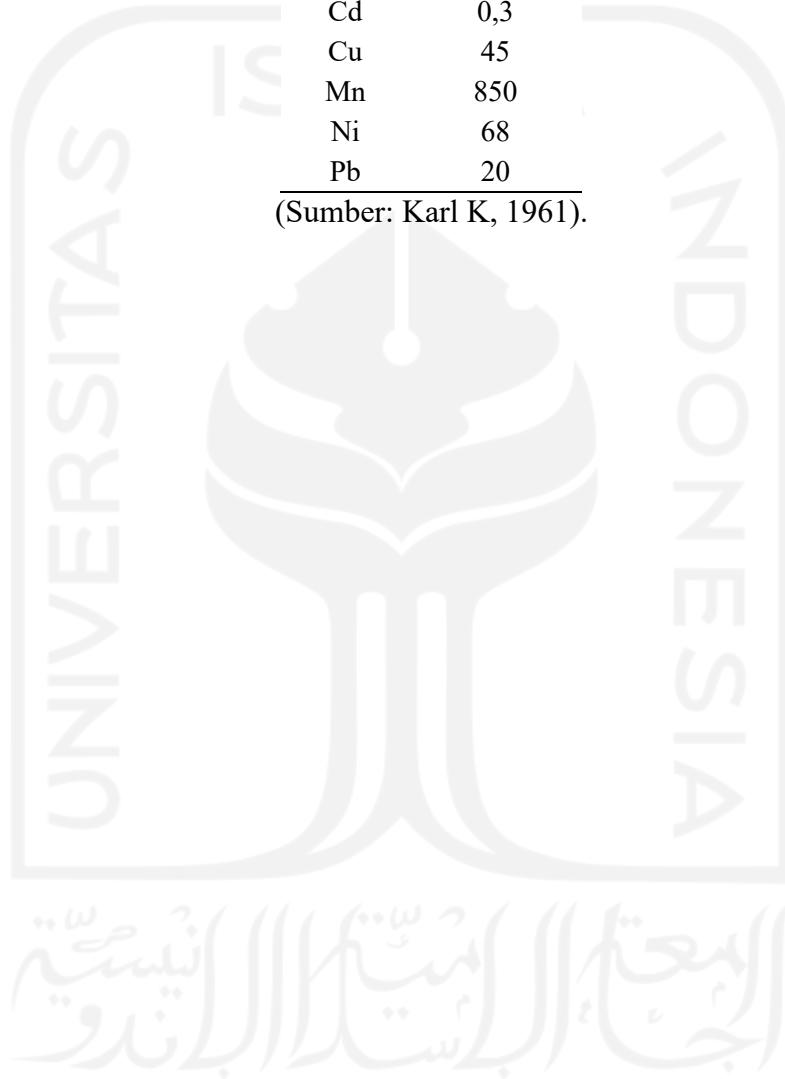
$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times B_n)]$$

dimana C_n merupakan konsentrasi logam n dalam sampel sedimen dan B_n konsentrasi logam n dalam sedimen latar atau nilai acuan. Nilai latar dapat diukur atau diambil dari pustaka untuk data latar sedimen (**Tabel 3.4**). Faktor 1,5 digunakan karena kemungkinan adanya variasi nilai dalam latar seperti adanya pengaruh antropogenik. Hasil perhitungan Igeo dibandingkan dengan Tabel 2.4 halaman 21.

Tabel 3.4 Nilai Latar Logam

Logam	Background ($\mu\text{g/g}$)
Al	80.000
Fe	47.200
Cr	90
Cd	0,3
Cu	45
Mn	850
Ni	68
Pb	20

(Sumber: Karl K, 1961).



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Lokasi Sampling

Dalam penelitian ini, pemilihan lokasi sampling berdasarkan letak administratif Sungai Winongo. Lokasi penelitian dilakukan mulai dari Kabupaten Sleman hingga Kabupaten Bantul sebanyak 12 titik lokasi pengamatan.

4.1.1 Jembatan Jambon

Titik sampling 1 berlokasi di sekitar Jembatan Jambon, Desa Panggungan, Trihanggo, Kec. Gamping, Kabupaten Sleman. Aliran air pada titik pengamatan ini cukup tenang dan tidak terlalu deras. Kondisi air sedikit keruh berwarna keabuan dengan kedalaman sekitar 30-50 cm. Keadaan sekitar lokasi titik sampling terdapat beberapa vegetasi dan merupakan daerah pemukiman padat penduduk. Pada lokasi ini ditemukan beberapa *point source* berupa pipa pembuangan limbah rumah tangga. Pada sekitar lokasi titik pengamatan juga terdapat aktivitas memancing yang dilakukan oleh warga sekitar Jembatan Jambon.

Di sekitar titik lokasi pengamatan ini merupakan wilayah pemukiman padat penduduk. Terdapat berbagai macam aktivitas manusia yang terjadi di sekitar lokasi sampling. Kegiatan antropogenik yang berada di sekitar titik pengamatan berupa aktivitas perdagangan, toko elektronik, salon kecantikan dan aktivitas rumah tangga. Data yang di peroleh melalui Google Maps, terdapat industri pabrik kerupuk pada bagian hulu titik pengamatan dengan jarak 850 m dari lokasi sampling.



Gambar 4.1 Titik Sampling 1

4.1.2 Desa Panggungan

Titik sampling 2 berada di Desa Panggungan, Kec. Gamping, Kabupaten Sleman. Titik pengamatan ini merupakan anak sungai yang masuk ke dalam aliran Sungai Winongo. Kondisi air cukup keruh, terdapat beberapa sampah di dasar sungai maupun yang ikut terbawa aliran. Kedalaman anak sungai cukup dangkal sekitar 20-30 cm. Terdapat beberapa *point source* berupa pipa pembuangan limbah warga dan terlihat beberapa warga mencuci pakaian secara langsung di sungai.

Pada lokasi titik pengamatan merupakan daerah pemukiman padat penduduk. Warga sekitar lokasi pengamatan memanfaatkan sungai untuk kebutuhan sehari-sehari, yaitu mencuci pakaian langsung secara di aliran sungai. Limbah yang masuk pada titik lokasi pengamatan ini secara umum berasal dari kegiatan MCK dari rumah tangga.



Gambar 4.2 Titik Sampling 2

4.1.3 Jembatan Jatimulyo

Lokasi pengamatan 3 berlokasi di Jembatan Jatimulyo Baru, Kricak, Kec. Tegalrejo, Kota Yogyakarta. Titik lokasi sampling ini memiliki kedalaman sekitaran 50-60 cm. Kondisi air pada titik pengamatan ini cukup keruh dengan dasar permukaan berupa batuan kerikil kecil hingga sedang. Terdapat beberapa vegetasi yang ditumbuh disekitar aliran sungai serta ditemukan cukup banyak sampah pada aliran sungai maupun di pinggiran aliran sungai.

Di sekitar lokasi titik pengamatan ini merupakan wilayah pemukiman padat penduduk. Ditemukan beberapa *point source* yang berupa pipa pembuangan limbah rumah tangga.



Gambar 4.3 Titik Sampling 3

4.1.4 Bumijo

Titik sampling 4 ini merupakan sebuah anak sungai yang masuk ke dalam aliran utama Sungai Winongo. Titik pengamatan ini berlokasi di belakang Kampus Janabadra, Bumijo, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta. Pada titik lokasi pengamatan memiliki kedalaman sekitar 140-170 cm.

Kondisi fisik perairan pada titik ini memiliki kondisi air yang cukup keruh. Pada titik lokasi ini masih ditemukan banyak biota air, hal ini dibuktikan bahwa terdapat kegiatan memancing yang dilakukan oleh warga sekitar sebagai mata pencaharian ataupun digunakan sebagai konsumsi pribadi. Pada titik lokasi ini

ditemukan pipa buangan limbah rumah tangga. Di sekitar lokasi pengamatan juga terdapat berbagai aktivitas perdagangan, seperti toko elektronik, toko burung, dan toko perlengkapan rumah, selain itu juga terdapat bengkel motor yang berjarak 300-350 m dari titik lokasi sampling. Berada di hulu titik pengamatan, sekitar 550-600 m terdapat industri manufaktur yaitu PT Fuboru Indonesi yang merupakan sebuah toko suku cadang mobil. Hal ini dapat memungkinkan bahwa dari beragam kegiatan antropogenik tersebut menjadi penyumbang dalam pencemaran logam berat.



Gambar 4.4 Titik Sampling 4

4.1.5 Jembatan Kyai Mojo

Titik sampling 5 berlokasi di dekat Jembatan Kyai Mojo, Bumijo, Kc. Jetis, Kota Yogyakarta. Titik pengamatan ini memiliki kedalaman sungai sekitar 80-100 cm dengan kondisi air keruh berwarna keabuan. Kondisi sekitar sungai berupa vegetasi dan merupakan wilayah padat penduduk. Disekitar lokasi titik pengamatan tidak ditemukan banyak aktivitas lain selain yang berasal dari rumah tangga.



Gambar 4.5 Titik Sampling 5

4.1.6 Jembatan Merah

Titik pengamatan 6 berlokasi di Jembatan Merah, Ngampilan, Kota Yogyakarta. Kondisi air pada titik ini cukup jernih dengan kedalaman sekitar 40-60 cm. Kondisi sekitar berupa perumahan, toko dan beberapa vegetasi. Warga sekitar titik pengamatan ini masih memanfaatkan air sungai untuk kebutuhan sehari-hari seperti mencuci pakaian dan mandi. Selain itu juga terdapat tambak ikan milik warga sekitar titik pengamatan.

Pada sekitar titik pengamatan ini juga terdapat perkantoran dari Dinas Perpustakaan dan Kearsipan Kota Yogyakarta yang hanya berjarak 250-300 m dari titik lokasi pengamatan. Adapun SPBU dan toko bangunan dengan masing-masing jarak 96 m dan 240 m dari titik lokasi pengamatan.



Gambar 4.6 Titik Sampling 6

4.1.7 Ngampilan

Lokasi titik sampling 7 berlokasi di Notoprajan, Ngampilan, Kota Yogyakarta. Pada titik lokasi sampling ini memiliki kedalaman sungai sekitar 80-100 cm dengan kondisi air berwarna keruh. Disekitar lokasi pengamatan ditumbuhi oleh beberapa vegetasi di pinggir sungai dan juga titik lokasi pengamatan ini berada di sekitar pemukiman padat penduduk. Warga sekitar

lokasi sampling melakukan penambangan pasir sungai di titik lokasi ini. Selain itu juga, warga sekitar membuang limbah dari kegiatan MCK ke badan air yang ditandai dengan adanya beberapa *point source* berupa pipa pembuangan yang diduga berasal dari rumah warga sekitar titik pengamatan.



Gambar 4.7 Titik Sampling 7

4.1.8 Mantijeron

Lokasi sampling 8 berlokasi di Kec. Mantrijeron, Kota Yogyakarta. Area sekitar lokasi pengamatan ditumbuhi beberapa vegetasi dan berada di sekitar wilayah pemukiman penduduk. Akses untuk masuknya cukup sulit karena harus masuk ke dalam desa dan melewati jalan sawah. Kondisi air sungai cukup jernih dengan kedalaman sekitar 50-60 cm.

Pada lokasi pengamatan ini ditemukan kegiatan memancing oleh warga sekitar. Selain itu, pada hulu titik lokasi terdapat pabrik tahu yang berjarak 1,9 km dari lokasi penelitian.



Gambar 4.8 Titik Sampling 8

4.1.9 Mantijeron

Titik sampling 9 berlokasi daerah Gedongkiwo, Kec. Mantrijeron, Kota Yogyakarta. Pada titik lokasi ini memiliki kedalaman sungai sekitar 100-150 cm. Kondisi sekitar lokasi pengamatan berupa perumahan dan vegetasi bambu. Ditemukan beberapa sampah di aliran maupun sekitar sungai. Warga sekitar memanfaatkan sungai untuk penambangan pasir sungai dan juga memancing.

Berada di sekitar lokasi pengamatan juga terdapat industri/produsen tahu dengan jarak berkisar 700-750 m. Selain itu juga ditemukan banyak aktivitas perdagangan disekitar lokasi sampling 9. Di samping kanan lokasi titik pengamatan (timur) terdapat tempat pengrajin patung, pada bagian barat terdapat toko daging dan toko bahan bangunan.



Gambar 4.9 Titik Sampling 9

4.1.10 Jembatan Winongo

Berlokasi di Jembatan Winongo, Kec. Kasihan, Bantul. Kondisi sekitar dipenuhi oleh vegetasi. Ditemukan beberapa sampah di aliran maupun sekitar sungai. Terdapat terjunan tepat dibawah jembatan. Kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 150-180 cm.

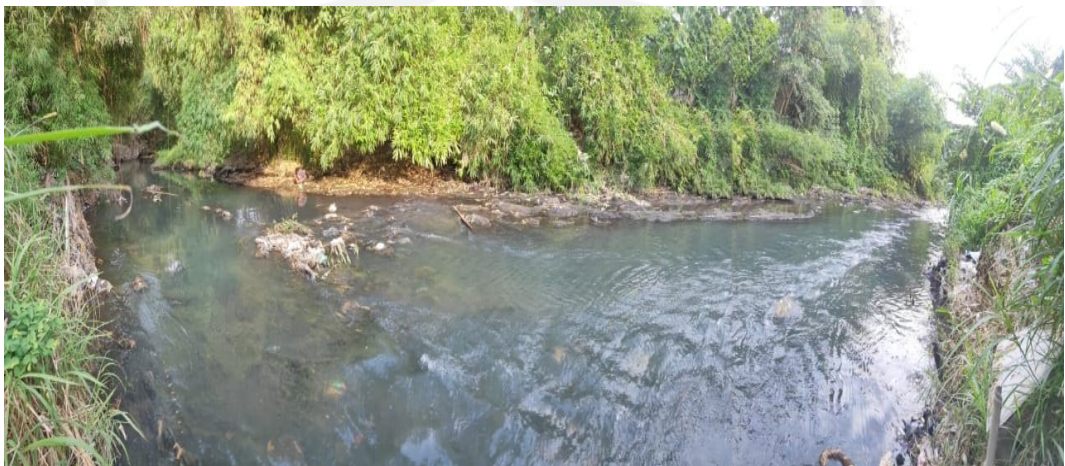
Pada titik pengamatan ini ditemukan cukup banyak sampah di aliran sungai. Beberapa biota air masih dapat banyak ditemukan, sehingga ditemukan aktivitas memancing di area sekitar lokasi pengamatan. Titik sampling ini berada disekitar pemukiman padat penduduk. Pada bagian hulu dari titik lokasi penelitian terdapat pabrik plastik, rumah produksi (Pelangoi Rotan & Craft Jogja), toko meubel (Bubut Kayu Abakura), bengkel, dan rumah produksi frozen food.



Gambar 4.10 Titik Sampling 10

4.1.11 Jogonalan Kidul

Pada titik pengamatan ini berlokasi di Kasihan, Jogonalan Kidul, Tirtonirmolo, Kec. Kasihan, Bantul. Kondisi sekitar lokasi pengamatan dipenuhi oleh vegetasi. Ditemukan beberapa sampah di aliran maupun sekitar sungai. Terdapat terjunan serta beberapa *point source*. Kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 100-120 cm. Limbah yang masuk ke badan air pada titik ini berasal dari limbah rumah tangga.



Gambar 4.11 Tiitk Sampling 11

4.1.12 Tirtonirmalan

Titik sampling 12 berada di Jembatan Winongo herlokasi di Tirtonirmalan, Bantul. Kondisi sekitar berupa vegetasi dan beberapa rumah warga. Ditemukan beberapa sampah pada sekitar sungai. Kondisi air sungai keruh keabuan dengan kedalaman sekitar 20-30 cm.

Lokasi pengamatan berada di sekitar pemukiman padat penduduk. Disekitar lokasi pengamatan ditemukan aktivitas tambang/pengerukan pasir sungai, beberapa sampah di sekitar sungai maupun aliran sungai, selain itu juga tedapat kandang ternak milik warga sekitar. Tidak jauh dari lokasi pengamatan merupakan lokasi persawahan.



Gambar 4.12 Titik Sampling 12

4.2 Parameter Fisika dan Kimia Sungai Winongo

Parameter fisika dan kimia menjadi indikator dalam penilaian kualitas air Sungai Winongo. Secara umum, kualitas air menunjukkan mutu atau suatu kondisi perairan tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian parameter fisika dan kimia.

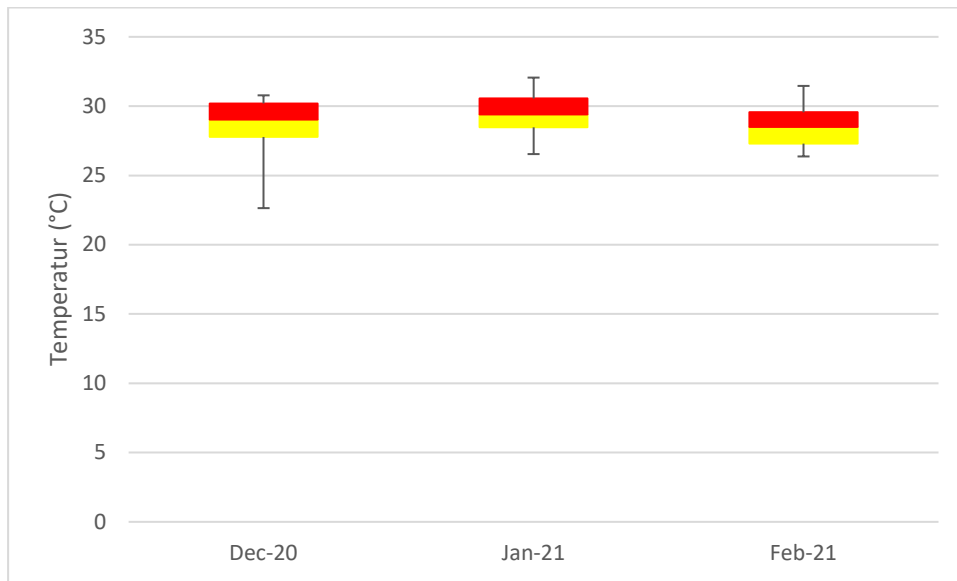
Hasil data yang diperoleh terhadap parameter suhu, padatan terlarut (TDS) dan pH pada lokasi sampling di perairan Sungai Winongo dibandingkan dengan nilai baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Tabel 4.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

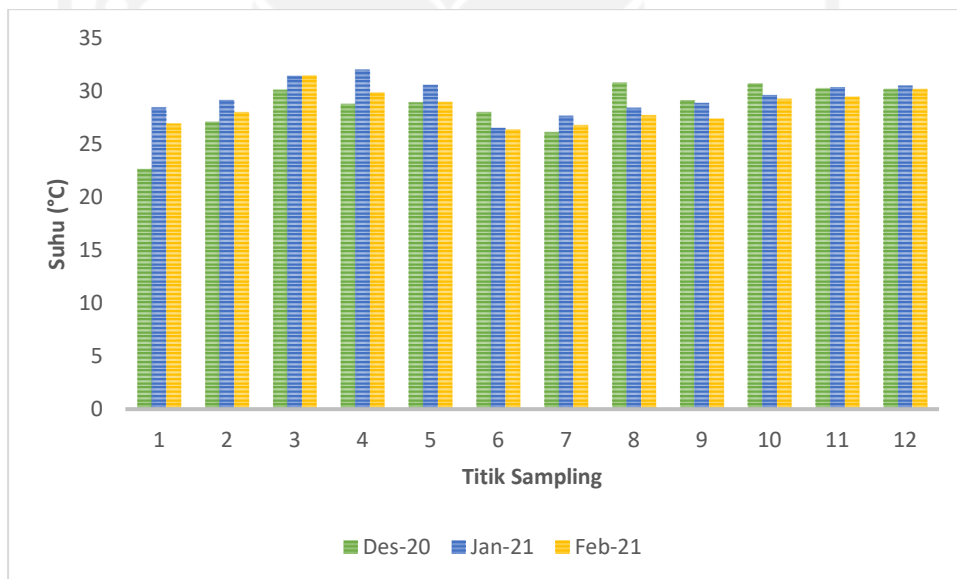
PARAMETER	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
Suhu	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alamian
Padatan terlarut (TDS)	mg/L	1000	1000	1000	2000	
pH	-	6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah

4.2.1 Suhu

Hasil pengukuran parameter suhu dalam diagram *boxplot* (**Gambar 4.13**) menunjukkan hasil analisis nilai tengah/median terhadap pengamatan suhu dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) di sepanjang lokasi titik sampling Sungai Winongo. Hasil analisis terhadap pengukuran suhu dari waktu ke waktu menunjukkan tren yang fluktuatif. Data yang diperoleh terhadap nilai tengah/median pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 yaitu sebesar 29,03 °C, 29,41 °C, dan 28,50 °C.



Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Suhu Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.14 Pengukuran Suhu

Sedangkan data yang diperoleh dari setiap titik pengamatan terhadap waktu (Desember 2020 – Februari 2021) di perairan Sungai Winongo ditampilkan dalam **Gambar 4.14**. Hasil pengukuran *insitu* pada bulan Desember 2020 terhadap parameter suhu berkisar antara 22,64 - 30,78 °C dengan rata-rata suhu 28,56 °C. Pada bulan Januari 2021 hasil pengukuran *insitu* terhadap parameter suhu berkisar antara 26,54 - 32,06 °C dengan rata-rata suhu 29,49 °C. Sedangkan pada bulan Februari 2021 hasil pengukuran *insitu* pada parameter suhu berkisar antara 26,37 - 31,46 °C dengan rata-rata suhu 28,54 °C. Secara keseluruhan dari semua waktu pengamatan, suhu terendah terdapat pada titik 1 sampling 1 (Desember 2020) dan suhu tertinggi terdapat pada titik 4 sampling 2 (Januari 2021). Hasil analisis pengukuran suhu perairan Sungai Winongo berdasarkan kriteria kualitas air yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 termasuk ke dalam kelas I, II, III, dan IV.

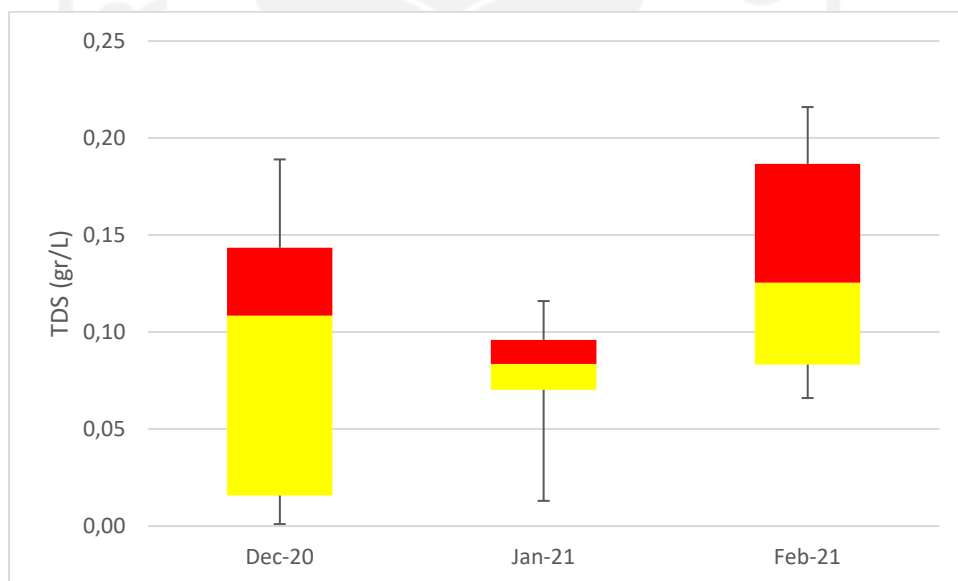
Hasil pengamatan temperatur pada setiap titik sampling ini memperoleh tren yang fluktuatif. Perbedaan nilai terendah pada titik 1 bulan Desember 2020 dengan hasil pengamatan lainnya dapat terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti cuaca saat pengamatan dan keberadaan vegetasi disekitar lokasi pengamatan. Hal ini disebutkan dalam Chin (2006) dan Boyd (2015) bahwa faktor-faktor yang memengaruhi perubahan suhu di perairan adalah keberadaan naungan (misalnya pohon atau tanaman air), air buangan (limbah) yang masuk ke badan air, radiasi matahari, suhu udara, cuaca, dan iklim.

Perubahan suhu pada titik pengamatan juga akan memengaruhi nilai konsentrasi logam berat di dalam badan air. Menurut Sukoasih (2016), bahwa suhu dapat memengaruhi konsentrasi logam berat di dalam air dan sedimen. Pada suhu yang lebih dingin akan memudahkan logam berat mengendap ke dalam sedimen. Sedangkan pada suhu yang tinggi, senyawa logam berat akan terlarut di dalam air. Peningkatan suhu dalam perairan cenderung akan meningkatkan akumulasi dan toksisitas logam berat yang disebabkan oleh adanya peningkatan laju metabolisme dari organisme akuatik (Fauziah *et al*, 2012). Hal ini di dukung dalam Sarjono (2009) bahwa peningkatan suhu perairan tidak hanya dapat

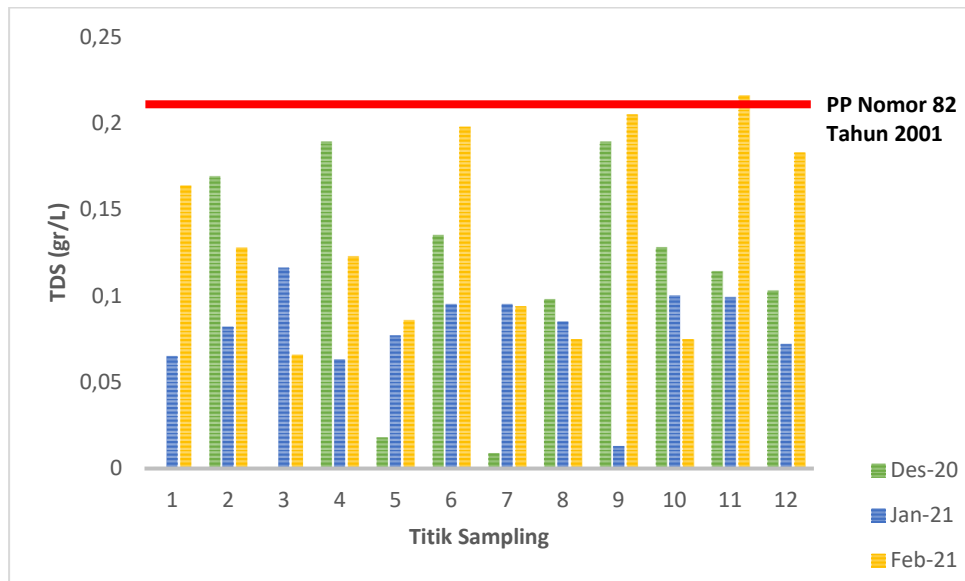
meningkatkan metabolisme biota air, namun toksisitas logam berat di perairan juga akan mengalami peningkatan.

4.2.2 TDS (Total Dissolved Oxygen)

Hasil pengukuran padatan terlarut atau *total dissolved solid* (TDS) di perairan Sungai Winongo yang ditampilkan dalam grafik *boxplot* (**Gambar 4.15**) menunjukkan hasil yang bersifat fluktuatif. Dalam box plot tersebut menunjukkan pendistribusian yang tidak simetris karena garis whisker dan garis median pada bulan Desember 2020 dan Februari 2021 tidak berada di tengah. Nilai tengah/median yang diperoleh terhadap analisis padatan terlarut pada bulan Desember 2020, Januari 2021, dan Februari 2021 masing-masing sebesar 0,11 gr/L; 0,08 gr/L; dan 0,13 gr/L.



Gambar 4.15 Hasil Pengukuran TDS Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.16 Pengukuran TDS

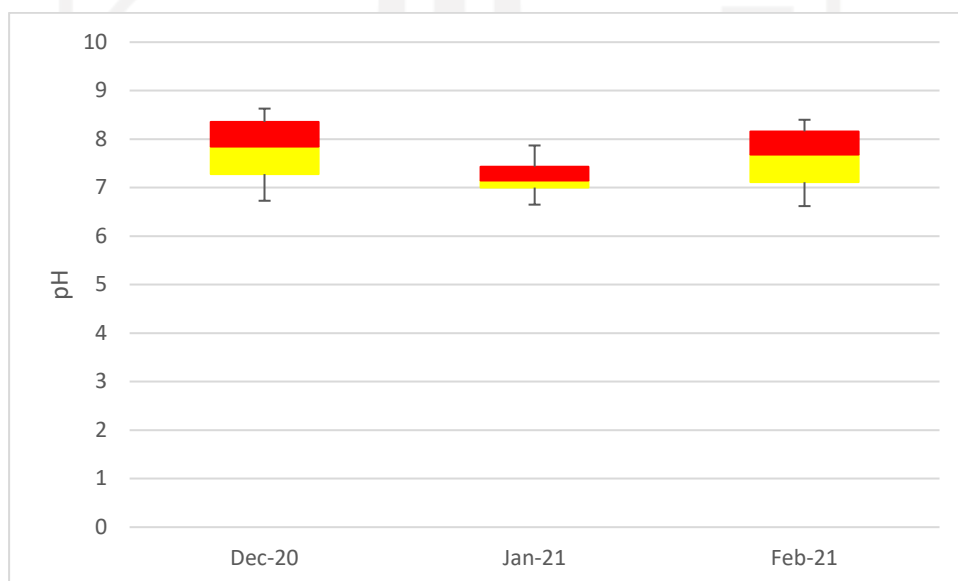
Data yang diperoleh dari pengamatan terhadap padatan terlarut pada setiap lokasi pengamatan di sepanjang Sungai Winongo ditampilkan juga dalam **Gambar 4.16**. Hasil analisis tersebut menunjukkan nilai padatan terlarut pada bulan Desember 2020, hasil pengukuran padatan terlarut berada pada rentang nilai 0,001 - 0,189 gr/L dengan rata-rata 0,096 gr/L. Pada bulan Januari 2021, hasil pengukuran padatan terlarut berkisar berada pada rentang nilai 0,013 - 0,116 gr/L dengan rata-rata sebesar 0,080 gr/L. Sedangkan hasil pengukuran TDS pada bulan Februari 2021 berada pada rentang 0,066 - 0,216 gr/L dengan rata-rata 0,134 gr/L. Berdasarkan hasil pengukuran padatan terlarut dari Desember 2020 hingga Februari 2021, nilai TDS terendah terdapat pada titik 1 sampling 1 (Desember 2020) dan tertinggi terdapat pada titik 11 sampling 3 (Februari 2021).

Berdasarkan hasil pengukuran padatan terlarut di perairan Sungai Winongo dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) jika dibandingkan dengan baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 masih berada dibawah batas baku mutu yaitu 1000 mg/L atau 1 gr/L. Hasil analisis terhadap padatan terlarut perairan Sungai Winongo menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Winongo termasuk ke dalam kelas I, II, III, dan IV.

Perbedaan nilai TDS pada setiap lokasi pengamatan dari waktu ke waktu sangat di pengaruhi oleh pelapukan batuan dari tanah dan pengaruh antropogenik (limbah industri dan domestik) (Rinawati, 2016). Berdasarkan hasil analisis pengukuran TDS di lokasi pengamatan dalam kurun waktu 3 bulan (Desember 2020 – Februari 2021) tersebut bahwa nilai rerata TDS bulan Februari 2021 lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya dapat disebabkan karena pada bulan Februari merupakan puncak intensitas curah hujan yang memungkinkan terjadinya pelapukan batuan menjadi lebih banyak. Selain itu juga hal ini dapat dipengaruhi kemungkinan jika limbah yang masuk ke badan sungai pada bulan Februari lebih banyak dibandingkan bulan lainnya.

4.2.3 pH (Derajat Keasaman)

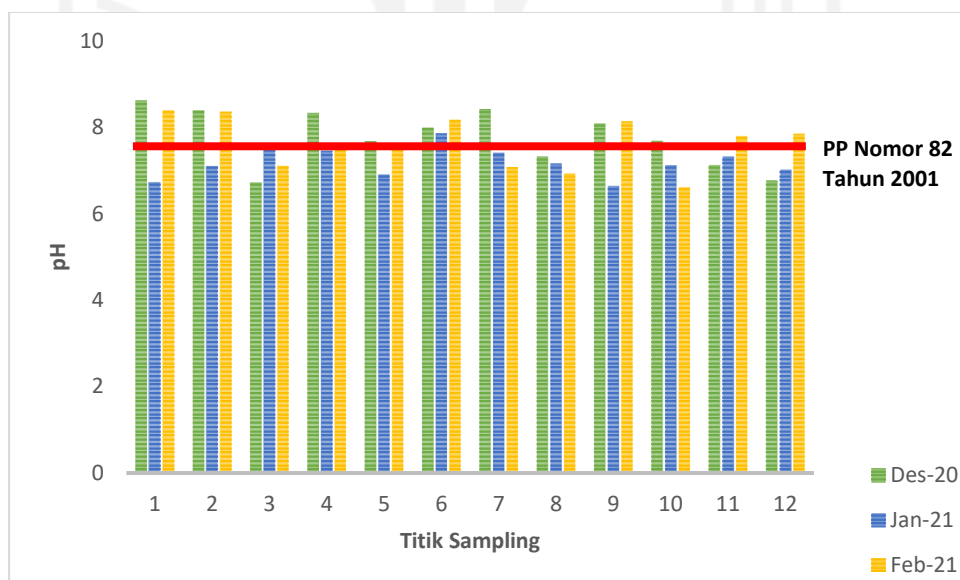
Pengukuran pH di sepanjang lokasi pengamatan dari waktu ke waktu menunjukkan nilai yang beragam dan tren yang fluktuatif. Dalam *boxplot* (Gambar 4.17) nilai tengah/median yang diperoleh dari setiap waktu pengamatan yaitu pada Desember 2020 hingga Februari 2021 sebesar 7,85; 7,15; dan 7,69. Diagram *boxplot* pada gambar 4.17 dibawah juga menunjukkan bahwa nilai pH di lokasi pengamatan relatif seragam.



Gambar 4.17 Hasil Pengukuran pH Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median

Gambar 4.18 menunjukkan perbandingan terhadap hasil pengukuran pH di sepanjang titik lokasi pada Sungai Winongo. Hasil pengukuran pH pada bulan Desember 2020 menunjukkan nilai pH berkisar 6,73 - 8,63 dengan rata-rata 7,77. Pada bulan Januari 2021 berkisar antara 6,65 - 7,87 dengan rata-rata nilai 7,20. Sedangkan hasil pengukuran pada bulan Februari 2021 berkisar antara 6,62 - 8,40 dengan rata-rata 7,63. Dari data pengukuran pH pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021, nilai pH terendah terdapat pada titik 10 sampling 3 (Februari 2021) dan titik tertinggi terdapat pada titik 1 sampling 1 (Desember 2020).

Berdasarkan hasil analisis dari pengukuran pH di perairan Sungai Winongo, jika dibandingkan dengan nilai baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 rentang nilai pH dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) masih dalam ambang batas yang ditetapkan yaitu 6 - 9. Kriteria air Sungai Winongo terhadap analisis parameter pH termasuk ke dalam kelas I, II, III, dan IV.

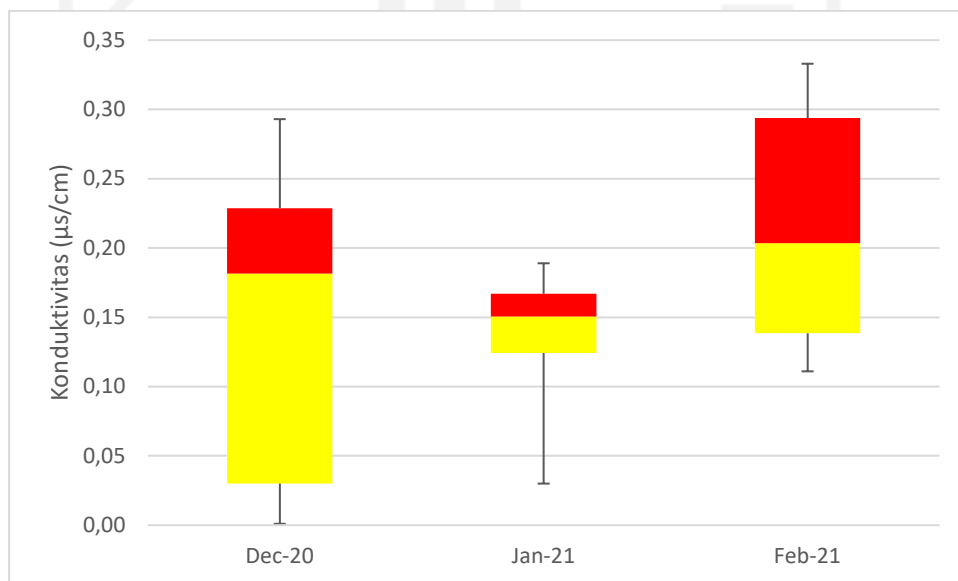


Gambar 4.18 Pengukuran pH

Hasil analisis terhadap pH pada setiap lokasi titik sampling dari waktu ke waktu yaitu Desember 2020 hingga Februari 2021 memiliki nilai pH yang berbeda-beda. Tinggi rendahnya nilai pH dalam suatu perairan akan memengaruhi kelarutan logam berat, hal ini disebabkan karena pada pH basa ion-ion logam berada dalam bentuk terhidrat sehingga kelarutannya menurun (Grace *et al*, 2010). Menurut Sukoasih (2016), nilai pH dalam air dalam memengaruhi toksisitas dari logam berat, toksisitas logam berat akan meningkat jika terjadi penurunan pH dalam air.

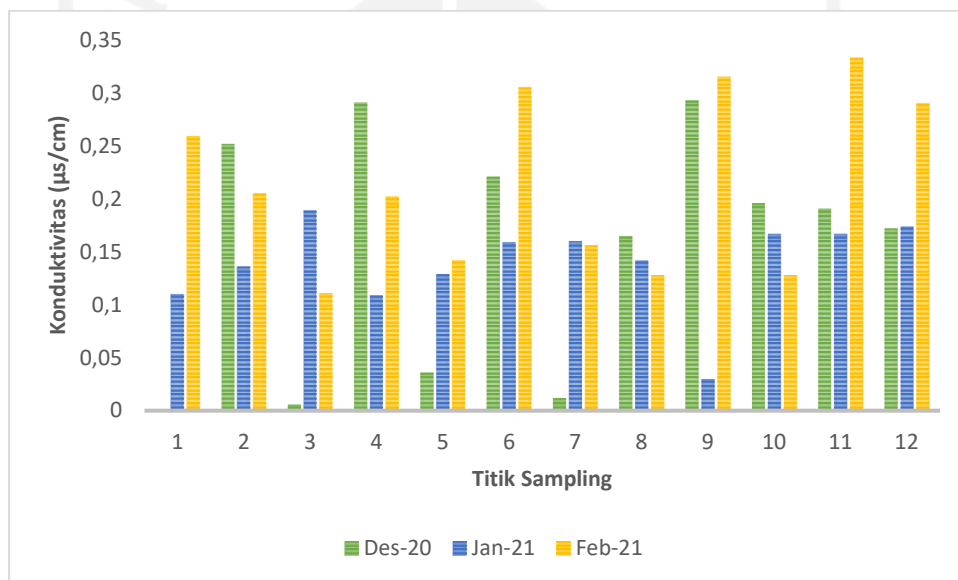
4.2.4 Konduktivitas

Grafik *boxplot* dalam **Gambar 4.19** menunjukkan distribusi hasil pengukuran konduktivitas pada lokasi pengamatan dari waktu ke waktu. Data yang diperoleh dari hasil analisis konduktivitas pada bulan Desember 2020 menunjukkan nilai tengah 0,18 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Pada bulan Januari 2021 menunjukkan nilai tengah 0,15 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Sedangkan pada bulan Februari 2021 menunjukkan nilai tengah 0,20 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Hasil analisis tersebut menunjukkan tren yang fluktuatif, dimana nilai konduktivitas mengalami penurunan dari bulan Desember 2020 ke Januari 2021 dan mengalami peningkatan pada bulan Februari 2021.



Gambar 4.19 Hasil Pengukuran Konduktivitas Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median

Dalam **Gambar 4.20** merupakan grafik yang menunjukkan hasil pengukuran konduktivitas pada perairan Sungai Winogo pada bulan Desember 2020 – Februari 2021. Pada bulan Desember 2020, hasil pengukuran konduktivitas berkisar antara 0,001 - 0,293 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dengan rata-rata 0,153 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Pada bulan Januari 2021 berkisar antara 0,030 - 0,189 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dengan rata-rata 0,139 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Sedangkan pada bulan Februari 2021 berkisar antara 0,111 - 0,333 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dengan rata-rata 0,215 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Hasil pengukuran konduktivitas dari waktu ke waktu tertinggi terdapat pada titik 11 sampling 3 (Februari 2021), sedangkan terendah terdapat pada titik 1 sampling 1 (Desember 2020).



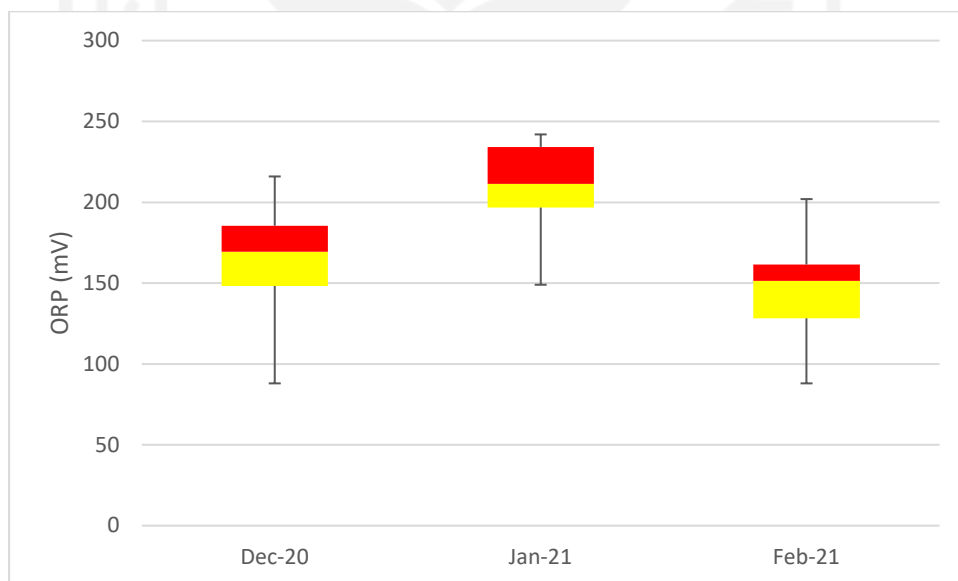
Gambar 4.20 Pengukuran Konduktivitas

Nilai konduktivitas di sepanjang titik lokasi pengamatan Sungai Winongo memiliki nilai yang beragam. Perbedaan konduktivitas dapat terjadi karena dipengaruhi oleh konsentrasi ion di dalam larutan, semakin banyak ion semakin besar nilai konduktivitasnya (Nicola, 2015). Konsentrasi ion, khususnya pada ion logam akan memengaruhi konsentrasi logam berat dalam perairan. Pada perairan lebih banyak ditemukan ion tidak stabil, sedangkan ion stabil pada umumnya akan mengendap dalam sedimen. Hal ini juga dijelaskan dalam penelitian Sahara (2009) dan Amin (2002), dimana kandungan logam berat lebih tinggi di temukan

pada sedimen yang ukuran partikelnya lebih kecil. Partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dengan kerapatan ion yang lebih stabil untuk mengikat logam daripada partikel sedimen yang lebih besar.

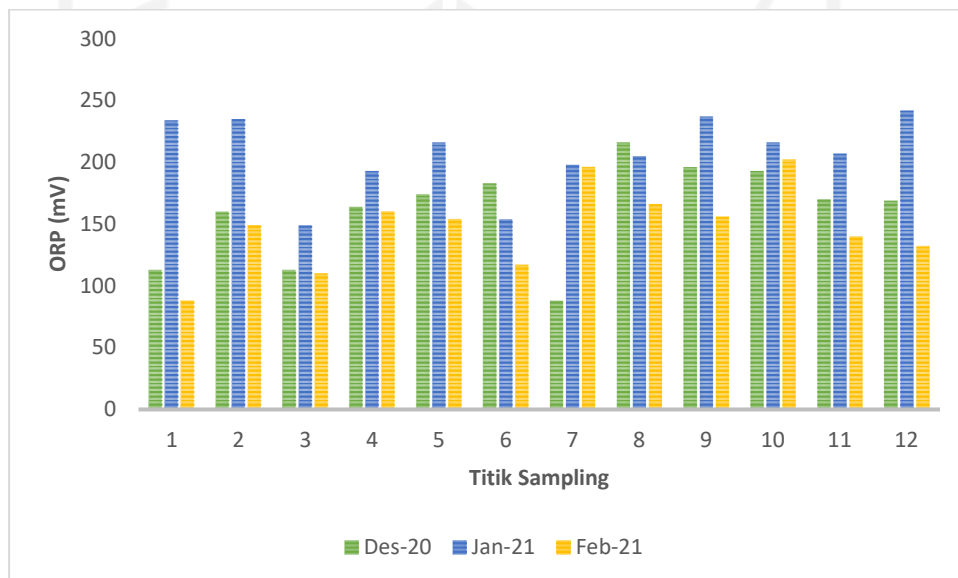
4.2.5 ORP (*Oxidation-Reduction Potential*)

Analisis nilai ORP yang ditampilkan dalam **Gambar 4.21** merupakan grafik *boxplot* hasil analisis nilai tengah/median dari pengukuran *oxidation-reduction potential* (ORP). Nilai tengah/median terhadap ORP pada bulan Desember 2020 yaitu sebesar 169,50 mV. Pada bulan Januari 2021 sebesar 211,50 mV. Pada bulan Februari 2021 sebesar 151,50 mV. Data tersebut menunjukkan nilai ORP yang beragam dengan tren yang fluktuatif. Nilai tengah/median mengalami peningkatan pada bulan Januari 2021 dan mengalami penurunan pada bulan Februari 2021.



Gambar 4.21 Hasil Pengukuran ORP Tiap Waktu dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median

Dalam Gambar 4.22 merupakan diagram yang menunjukkan hasil analisis ORP pada setiap lokasi sampling dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021). Nilai ORP pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 menunjukkan nilai yang bersifat yang bervariasi. Pada bulan Desember 2020, nilai ORP sepanjang titik sampling Sungai Winongo pada rentang 88 – 216 mV dengan rata-rata 161,58 mV. Pada bulan Januari 2021 pada rentang 149 – 242 mV dengan rata-rata 207,17 mV. Sedangkan pada bulan Februari 2021 pada rentang 88 - 202 mV dengan rata-rata 147,50 mV.



Gambar 4.22 Pengukuran ORP

Nilai ORP merupakan angka yang menunjukkan tingkat kebersihan air dan kemampuannya untuk menghancurkan kontaminan. Semakin banyak kontaminan dalam air, kandungan oksigen terlarut akan semakin rendah karena bahan organik memerlukan oksigen, sehingga pada kondisi tersebut nilai ORP semakin rendah (Putri, *et al.*, 2016).

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap parameter fisika kimia, yaitu suhu, padatan terlarut atau *total dissolved solid* (TDS), dan pH dapat diasumsikan bahwa kualitas air Sungai Winongo termasuk ke dalam kriteria kelas I, II, III, dan IV yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, perternakan, mengairi pertanian. Akan tetapi, hal ini tidak mutlak termasuk dalam kriteria kelas tersebut, perlu dilakukan pengujian parameter lain untuk menentukan kualitas air Sungai Winongo.

4.3 Analisis Kandungan Logam Berat dalam Sedimen

Analisis kandungan logam berat bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat dalam sedimen Sungai Winongo, yaitu konsentrasi logam berat pada bulan Desember 2020, Januari 2021, dan Februari 2021. Nilai konsentrasi logam berat Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, dan Pb dalam kurun waktu tersebut dibandingkan berdasarkan nilai baku mutu sedimen dari *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*.

Tabel 4.2 Nilai Baku Mutu Sedimen (mg/kg)

LOGAM (mg/kg)	No Effect Level	Lowest Effect Level	Severe Effect Level
Kadmium (Cd)	-	0,6	10
Kromium (Cr)	-	26	110
Tembaga (Cu)	-	16	110
Besi (Fe)	-	20.000	40.000
Timbal (Pb)	-	31	250
Mangan (Mn)	-	460	1100
Nikel (Ni)	-	16	75

(Sumber: A. Hayton, 1993)

Dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sedimen Quality in Ontario* menetapkan 3 tingkat level terhadap nilai baku mutu yaitu *No Effect Level*, *Lowest Effect Level*, dan *Severe Effect Level*.

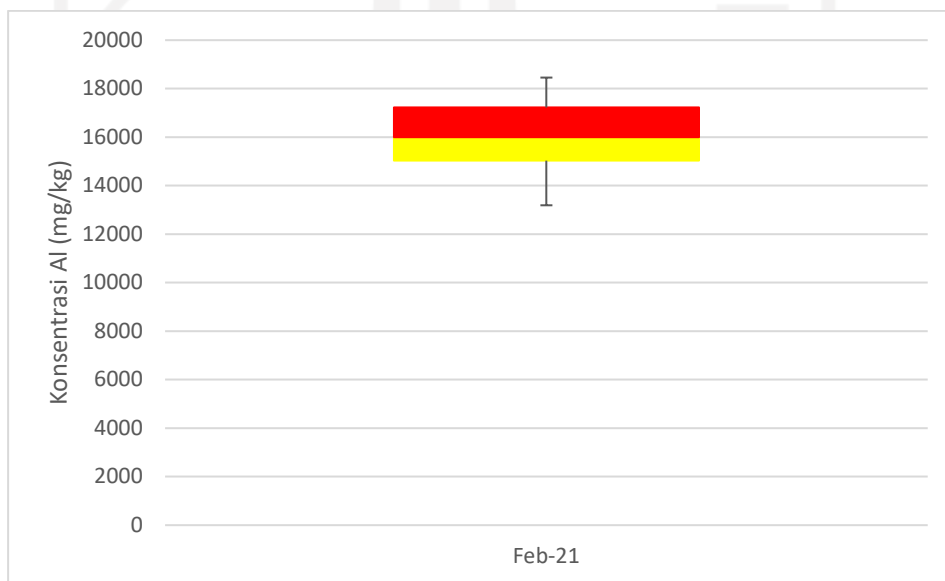
- a. **No Effect Level**: ini adalah tingkat di mana bahan kimia dalam sedimen tidak mempengaruhi ikan atau organisme yang tinggal di sedimen. Pada tingkat ini

tidak ada transfer bahan kimia melalui rantai makanan dan tidak berpengaruh pada kualitas air yang diharapkan.

- b. **Lowest Effect Level** : ini menunjukkan tingkat kontaminasi yang tidak berpengaruh pada mayoritas organisme yang tinggal di sedimen. Sedimen adalah gudang utama untuk tercemar secara marjinal. Kontaminasi dalam sedimen yang melebihi Tingkat Efek Terendah (*Lowest Effect Level*) mungkin memerlukan pengujian lebih lanjut dan rencana manajemen.
- c. **Severe Effect Level** : Pada tingkat ini, sedimen dianggap sangat tercemar dan cenderung mempengaruhi kesehatan organisme yang tinggal di sedimen. Jika tingkat kontaminasi melebihi Tingkat Efek Parah (*Severe Effect Level*) maka diperlukan pengujian untuk menentukan apakah sedimen tersebut beracun atau tidak.

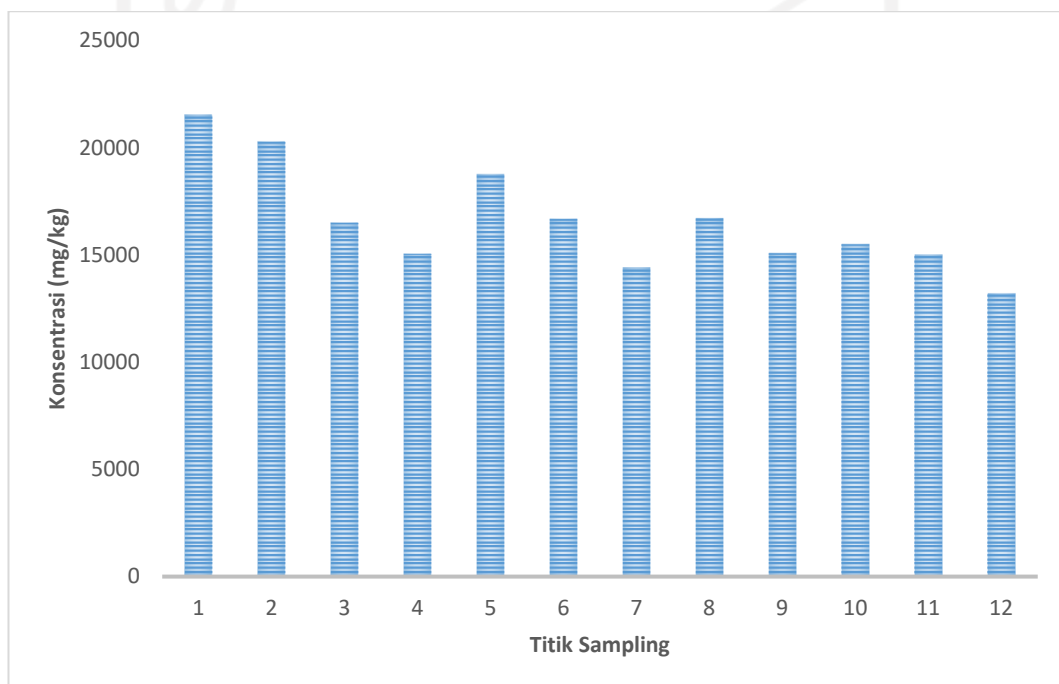
4.3.1 Aluminium (Al)

Dari grafik *boxplot* **Gambar 4.23** menunjukkan pendistribusian data aluminium pada bulan Februari 2021. Nilai median yang diperoleh dari analisis aluminium terhadap sedimen Sungai Winongo yaitu sebesar 15992,70 mg/kg.



Gambar 4.23 Kandungan Logam Aluminium pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median

Data yang diperoleh dari hasil analisis logam Al dalam sedimen Sungai Winongo menunjukkan hasil yang bervariasi pada setiap titik sampling. Hasil analisis konsentrasi logam Al terhadap sedimen Sungai Winongo yang ditunjukkan dalam **Gambar 4.24** bahwa pada setiap titik pengamatan berkisar antara 13190,93-21532,87 mg/kg dengan rata-rata 16554,30 mg/kg. Konsentrasi aluminium tertinggi pada bulan Februari 2021 terdapat pada titik sampling 1, sedangkan konsentrasi aluminium terendah terdapat pada titik sampling 12.



Gambar 4.24 Kadar Aluminium

Kandungan logam Al dalam perairan Sungai Winongo dapat berasal dari proses alamiah dan non alamiah. Kandungan logam Al dalam perairan Sungai Winongo secara alamiah dapat berasal dari proses alami pelapukan dan erosi dari batuan dan tanah, selain itu juga dapat berasal dari adanya aktivitas vulkanik. Menurut Cas and Wright (1988) dalam penelitian Wahyuni (2012) bahwa pada umumnya 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 dapat juga ditemukan beberapa unsur logam berat berbahaya seperti timbal,

kadmium dan arsen. Sasmito, 2015 menyebutkan bahwa Sungai Winongo memiliki hulu di Gunung Merapi. Berdasarkan hal tersebut dapat diasumsikan bahwa aktivitas Gunung Merapi menjadi penyumbang logam dalam perairan Sungai Winongo.

Selain karena adanya proses alam, aktivitas manusia memiliki peran dalam terjadinya pencemaran aluminium dalam perairan, khususnya pada perairan Sungai Winongo. Limbah dari kegiatan pertanian, rumah tangga, maupun industri peleburan aluminium disekitar sepanjang Sungai Winongo.

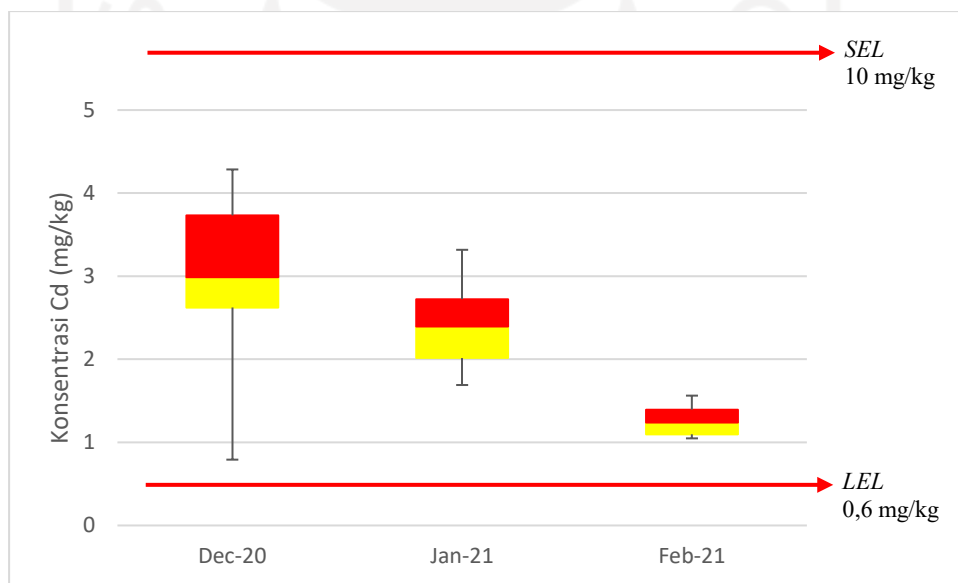
4.3.2 Kadmium (Cd)

Hasil analisis kandungan logam Cd dalam sedimen Sungai Winongo menunjukkan tren yang fluktuatif. Konsentrasi logam Cd pada grafik *whisker box & plot* yang disajikan dalam **Gambar 4.25** 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.

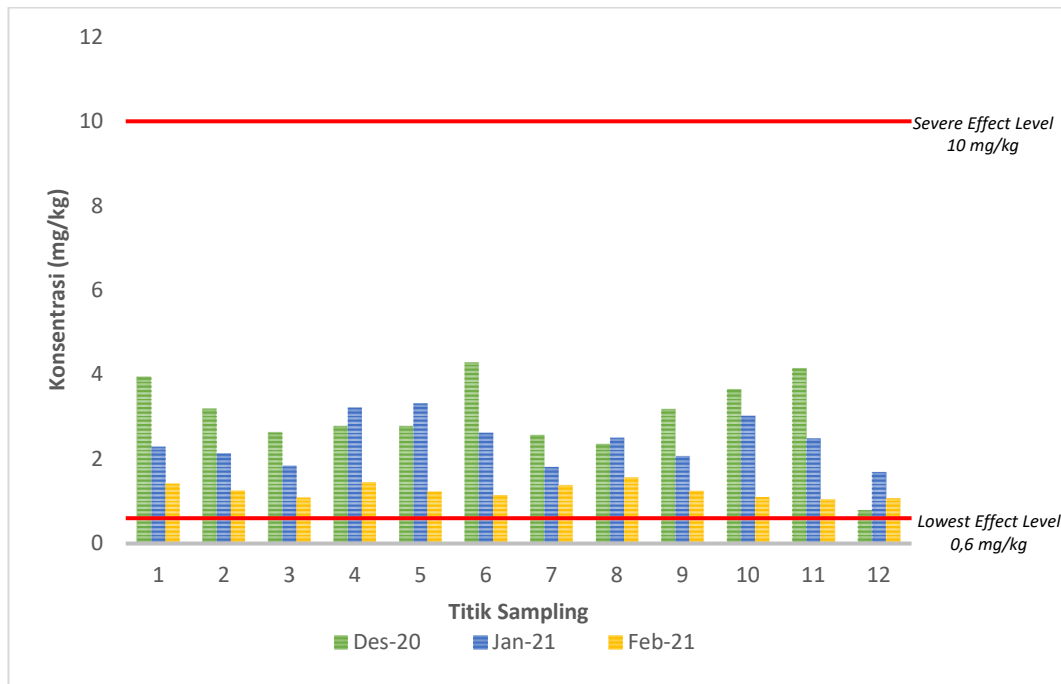
Kandungan kadmium pada sedimen Sungai Winongo berdasarkan penelitian dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) secara umum menunjukkan adanya penurunan (**Gambar 4.26**). Pada bulan Desember 2020 kandungan kadmium pada sedimen Sungai Winongo berkisar antara 0,79-4,29 mg/kg dengan rata-rata kandungan kadmium sebesar 3,23 mg/kg. Kandungan kadmium tertinggi pada bulan Desember 2020 terdapat pada titik 6, sedangkan kandungan kadmium terendah terdapat pada titik 12. Pada bulan Januari 2021 mengalami penurunan dari bulan sebelumnya kecuali pada titik 2, 3, 8, dan 12. Pada bulan Januari 2021 kandungan kadmium dalam sedimen Sungai Winongo berkisar antara 1,69-3,23 mg/kg dengan nilai rata-rata kandungan sebesar 2,42 mg/kg. Sama seperti pada bulan sebelumnya, pada Februari 2021 kandungan kadmium mengalami penurunan yang cukup signifikan dari bulan sebelumnya, penurunan ini terjadi pada semua titik lokasi sampling. Kandungan kadmium pada

Februari 2021 berkisar antara 1,05-1,56 mg/kg dengan rata-rata kadmium pada bulan Februari 2021 sebesar 1,25 mg/kg.

Berdasarkan hasil analisis kandungan kadmium (**Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26**) dalam sedimen 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. Pada tingkat konsentrasi Cd yang berada di antara nilai LEL dan SEL menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi dalam sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Hal ini akan memengaruhi kualitas perairan oleh organisme benthik.



Gambar 4.25 Kandungan Logam Kadmium pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.26 Kadar Kadmium

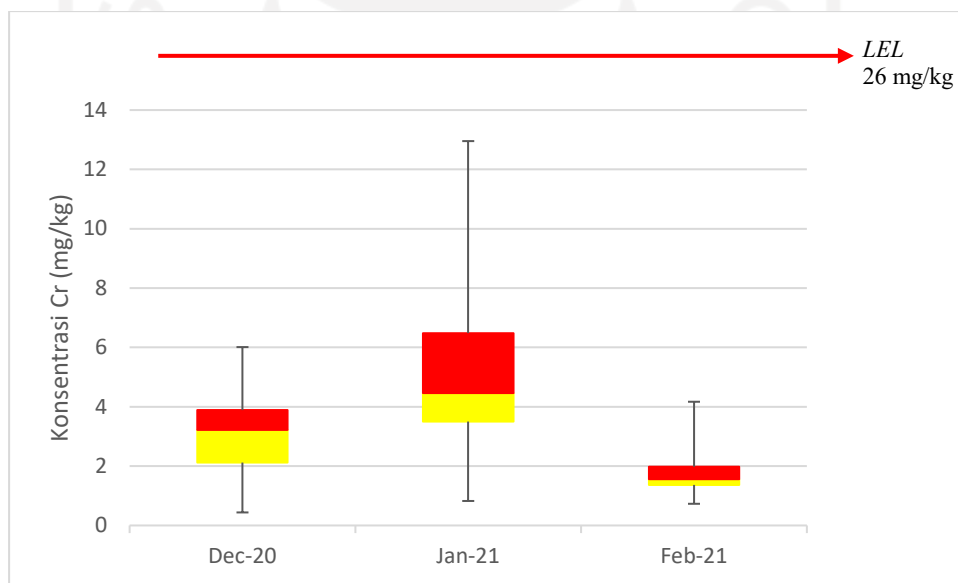
Kontaminasi kadmium dalam perairan Sungai Winongo dapat berasal dari proses alami yang berasal dari alam itu sendiri, seperti erosi sungai. Selain terjadinya karena proses alam, kontaminasi kadmium dalam perairan Sungai Winongo juga bersumber dari aktivitas manusia. Pembuangan sampah yang mengandung logam Cd seperti baterai, kabel, dan barang elektronik lainnya menjadi salah satu sumber pencemaran logam Cd di perairan.

4.3.3 Kromium (Cr)

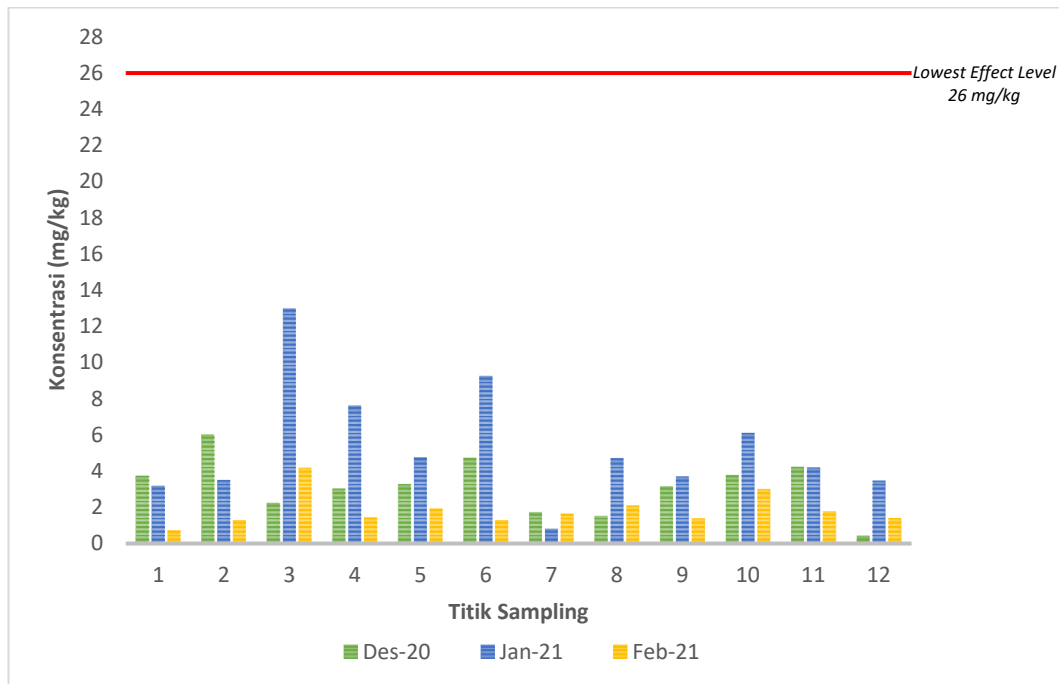
Dari hasil yang diperoleh terhadap kandungan kadmium sedimen Sungai Winongo menunjukkan hasil yang fluktuatif. Berdasarkan grafik *boxplot* pada Gambar 4.27 dapat ditemukan bahwa nilai median kandungan kadmium dalam sedimen Sungai Winongo dari waktu ke waktu adalah 3,22 mg/kg; 4,46 mg/kg; dan 1,56 mg/kg.

Hasil pengamatan logam berat kromium dalam sedimen Sungai Winongo pada setiap bulannya (Desember 2020 – Februari 2021) ditunjukkan dalam Gambar 4.28. Kandungan kromium pada bulan Desember 2020 berkisar antar

0,44-6,01 mg/kg dengan rata-rata 3,41 mg/kg. Pada bulan Desember 2020 kandungan kromium tertinggi terdapat pada titik 2, sedangkan kandungan kromium tertinggi terdapat pada titik 12. Kandungan kromium pada bulan Januari 2021 memiliki kandungan Cr berkisar antara 0,83-12,95 mg/kg dengan rata-rata nilai kandungan Cr sebesar 5,36 mg/kg. Kandungan kromium pada bulan Januari 2021 tertinggi terdapat pada titik sampling 3 dan terendah terdapat pada titik sampling 7. Sedangkan pada bulan Februari 2021, kandungan kromium dalam sedimen sungai berkisar antara 0,73-4,17 mg/kg dengan rata-rata nilai kandungan Cr sebesar 1,85 mg/kg. Titik sampling 3 merupakan titik penelitian yang memiliki kandungan krom tertinggi pada bulan Februari 2021, sedangkan titik sampling 1 merupakan titik sampling dengan kandungan krom terendah.



Gambar 4.27 Kandungan Logam Kromium pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.28 Kadar Kromium

Berdasarkan data (**Gambar 4.27** dan **Gambar 4.28**) yang diperoleh dari hasil analisis kandungan logam berat 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. Nilai batas baku mutu dibawah LEL menunjukkan bahwa kandungan logam Cr dalam sedimen tidak berpengaruh pada mayoritas organisme yang tinggal di sedimen, hal ini dikarenakan nilai mutu LEL merupakan tingkat kontaminasi sedimen yang dapat ditoleransi oleh mayoritas organisme benthik.

Logam berat kromium (Cr) merupakan salah satu jenis logam berat yang berpotensi sebagai pencemaran lingkungan jika konsentrasi logam berat tersebut melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Kromium (Cr) dalam perairan Sungai Winongo berasal dari aktivitas manusia dan proses alamiah. Proses alamiah yang terjadi seperti erosi pada batuan mineral dapat memengaruhi konsentrasi logam Cr dalam perairan. Masukan logam Cr oleh aktivitas manusia diantaranya berasal dari sampah rumah tangga yang berada di sepanjang aliran

Sungai Winongo, selain itu juga adanya aktivitas pertanian juga menjadi penunjang meningkatnya kadar Cr dalam badan air.

4.3.4 Tembaga (Cu)

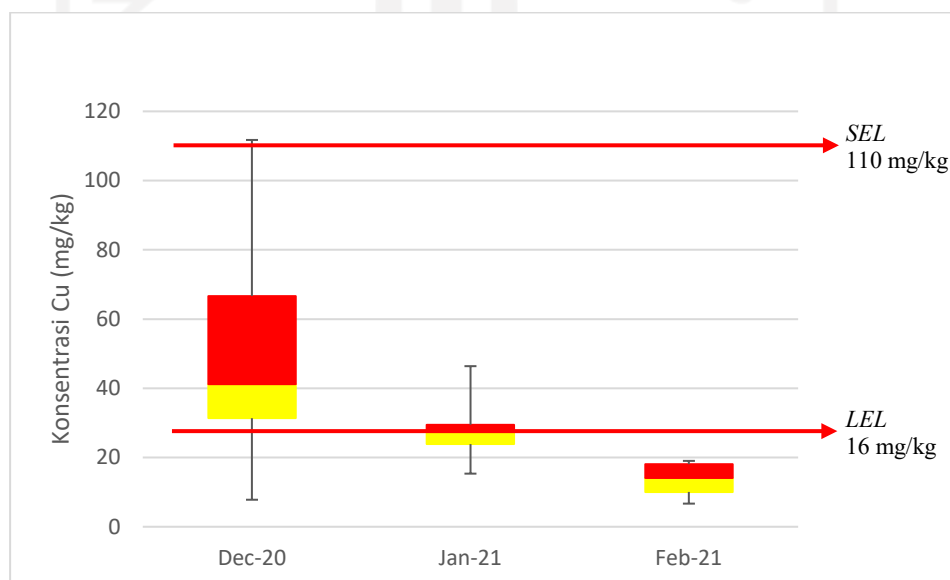
Grafik *boxplot* dalam **Gambar 4.29** menunjukkan hasil analisis kandungan tembaga dalam sedimen Sungai Winongo. Berdasarkan grafik *boxplot* tersebut persebaran data kadar Cu pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 tidak simetris, hal ini tujukkan pada garis whisker yang tidak sama dan/atau garis median yang tidak berada ditengah. Hasil penelitian yang dilakukan pada bulan Desember 2020 – Februari 2021, nilai median pada masing-masing waktu berturut-turut adalah sebesar 41,18 mg/kg; 27,83 mg/kg; dan 14,10 mg/kg. Kadar Cu dilihat dari nilai median tersebut mengalami penurunan dari waktu ke waktu. Konsentrasi Cu tertinggi terdapat pada bulan Desember 2020 dan paling rendah pada bulan Februari 2021

Hasil analisis kandungan tembaga terhadap sedimen Sungai Winongo (**Gambar 4.30**) menunjukkan nilai kandungan yang sangat bervariasi. Pada bulan Desember 2020, hasil pengamatan kandungan logam tembaga dalam sedimen Sungai Winongo berkisar antar 7,81-111,74 mg/kg dengan rata-rata 55,15 mg/kg. Kandungan logam Cu tertinggi pada bulan Desember 2020 terdapat pada titik sampling 3 dan kadnungan logam Cu terendah pada titik sampling 12. Pada bulan Januari 2021, kandungan tembaga dalam sedimen berkisar antara 15,35-46,39 mg/kg dengan rata-rata 27,56 mg/kg. Diperoleh nilai kandungan tembaga tertinggi pada bulan Januari 2021 yaitu terdapat pada titik sampling 4 dan titik terendah terdapat pada titik sampling 2. Nilai kandungan tembaga yang diperoleh dari pengamatan bulan Februari 2021 berkisar antara 6,68-19,03 mg/kg dengan rata-rata nilai kandungan tembaga sebesar 13,63 mg/kg. Pada bulan Februari 2021, nilai kandungan tembaga tertinggi terdapat pada titik sampling 10, sedangkan untuk nilai kandungan tembaga terendah terdapat pada titik sampling 2.

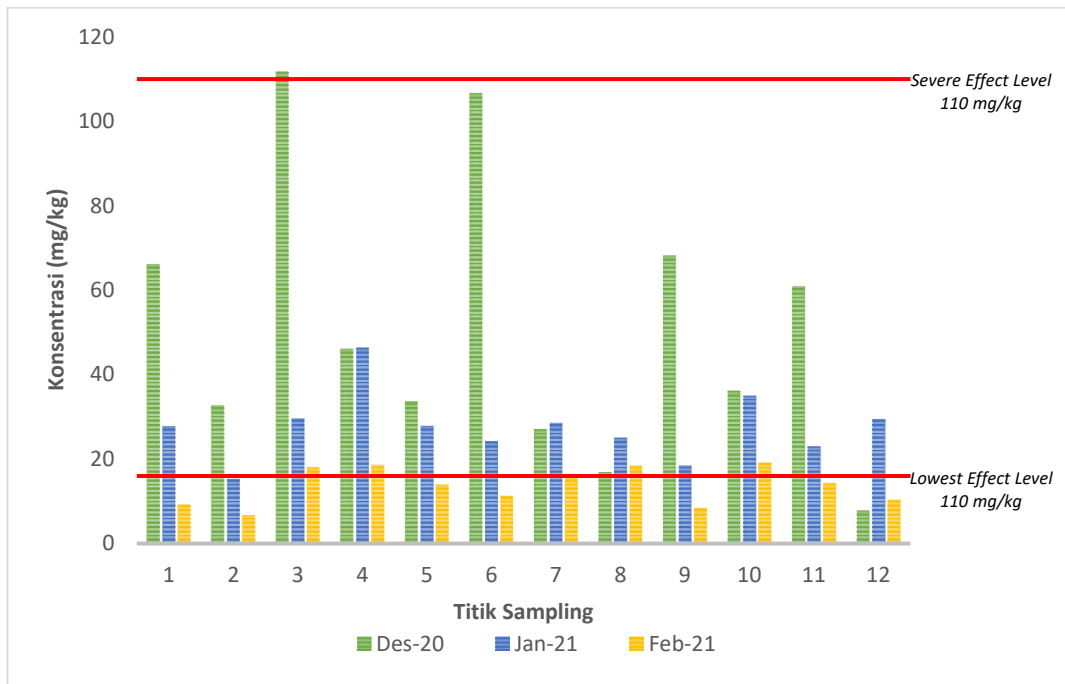
Menurut *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*, nilai batas mutu terkecil logam Cu yaitu 16 mg/kg dan batas mutu tertinggi untuk tingkat keparahan kontaminasi Cu adalah 110

mg/kg. Hasil analisis kandungan logam Cu (**Gambar 4.29** dan **Gambar 4.30**) 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.

Pada konsentrasi Cu dibawah nilai batas baku mutu LEL menunjukkan tingkat yang tidak berpengaruh pada banyak organisme dalam sedimen, hal ini dikarenakan pada nilai mutu LEL merupakan tingkat kontaminasi sedimen yang dapat ditoleransi oleh mayoritas organisme bentik. Untuk konsentrasi Cu yang berada di antara nilai LEL dan SEL menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Hal ini akan memengaruhi kualitas perairan oleh organisme bentik. Sedangkan pada konsentrasi logam Cu yang telah melebihi nilai SEL, pada tingkat ini mengindikasikan bahwa sedimen dianggap sangat tercemar dan cenderung memengaruhi kesehatan organisme yang tinggal di sedimen.



Gambar 4. 29 Kandungan Logam Tembaga pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.30 Kadar Tembaga

Konsentrasi logam Cu paling tinggi terdapat pada bulan Desember 2020 hal ini dapat disasumsikan karena limbah yang masuk ke dalam sungai pada bulan tersebut lebih banyak dibandingkan bulan Januari dan Februari 2021. Selain itu juga, konsentrasi logam Cu pada Sungai Winongo tersebut dapat dipengaruhi karena adanya aktivitas vulkanik dari Gunung Merapi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat terjadinya guguran melalui rekaman seismograf pada tanggal 5 Desember 2020. Pada waktu tersebut, tercatat 36 kali gempa Gugur, 34 kali gempa Hembusan, 1 kali gempa *Low Frequency*, 278 kali gempa Hybrid/Fase Banyak, dan 37 kali gempa Vulkanik Dangkal.

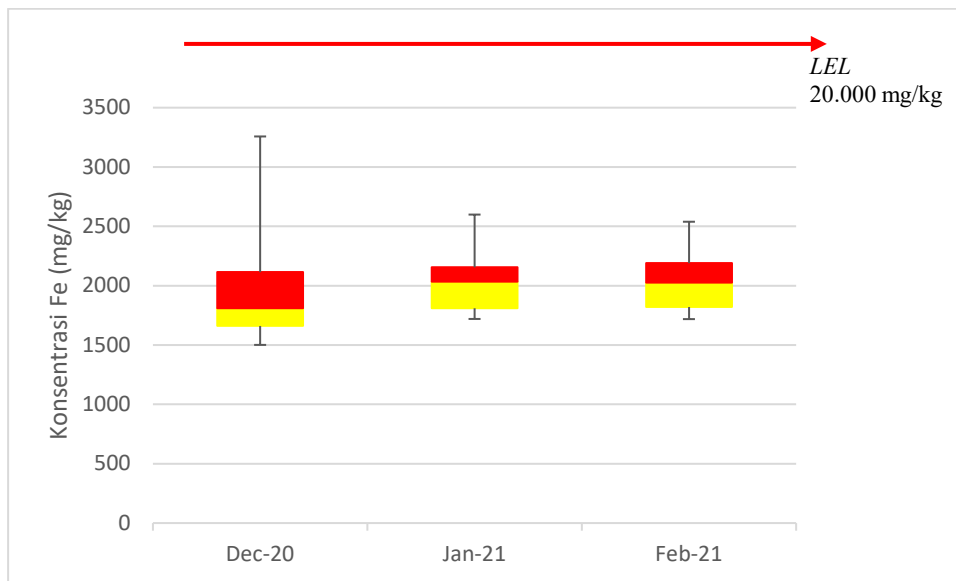
Selain itu juga, data yang diperoleh oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada bulan Desember 2020 hingga Januari 2021 merupakan intensitas curah hujan tinggi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan puncak tertinggi curah hujan terjadi pada bulan Februari 2021. Pada kondisi hujan dengan intensitas yang lebih tinggi umumnya konsentrasi logam berat akan menurun atau lebih kecil. Hal ini terjadi karena akibat adanya pengenceran air hujan (Misno, *et al.*, 2014).

Tembaga masuk ke dalam badan air melalui peristiwa alami dan non-alami. Logam Cu masuk ke badan air sebagai akibat dari terjadinya erosi batuan mineral dan keberadaan Cu di atmosfer yang terbawa oleh air hujan. Peristiwa non-alami yang menjadi pengaruh konsentrasi logam Cu dalam badan air adalah kegiatan antropogenik. Kegiatan antropogenik tersebut berasal dari kegiatan industri dan rumah tangga. Tidak sedikit ditemukan kegiatan antropogenik yang berperan dalam meningkatkan jumlah Cu dalam badan air Sungai Winongo, salah satunya yaitu aktivitas perdagangan. Banyak ditemukan toko elektronik disekitar titik sampling sepanjang aliran Sungai Winongo, dimana dari kegiatan domestik tersebut menghasilkan limbah elektronik seperti kabel, baterai dan lain sebagainya. Tembaga (Cu) menjadi salah satu mineral yang terkandung di dalamnya. Selain itu, logam Cu juga dapat ditemukan pada zat pewarna dalam cat, keramik, tinta, dan pernis.

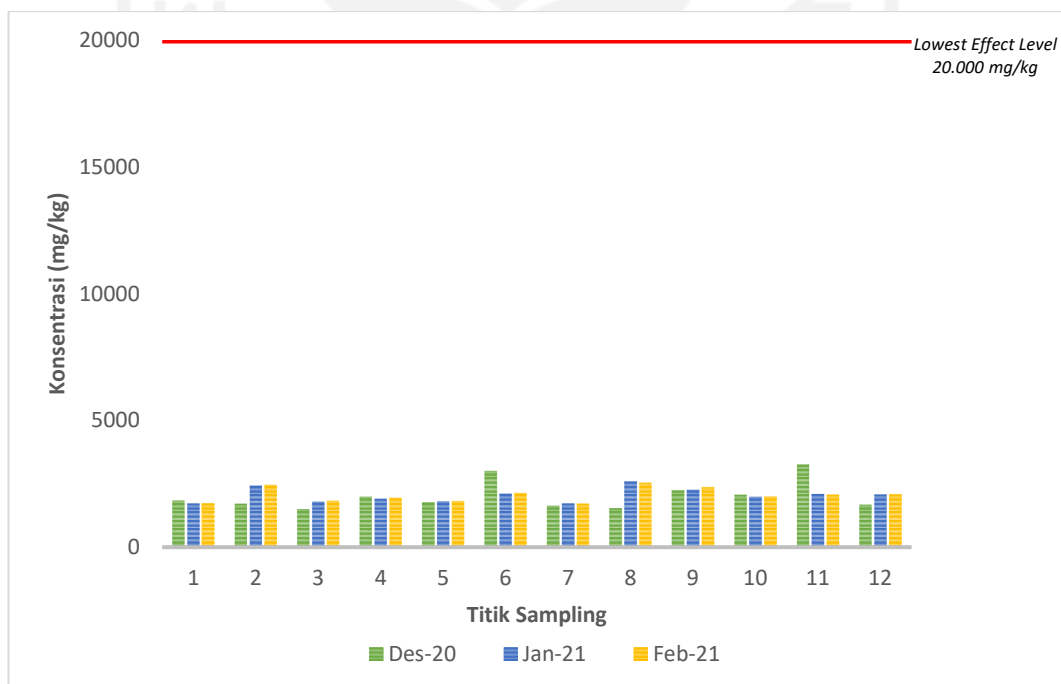
4.3.5 Besi (Fe)

Grafik *boxplot* dalam **Gambar 4.31** dibawah ini merupakan diagram *boxplot* konsentrasi logam Fe dalam sedimen Sungai Winongo pada bulan Desember 2020 – Februari 2021. Dalam grafik *boxplot* tersebut menunjukkan nilai median dari masing-masing waktu adalah 1810,23 mg/kg; 2033,90 mg/kg; dan 2027,22 mg/kg.

Hasil pengamatan logam berat besi (**Gambar 4.32**) dalam sedimen perairan Sungai Winongo pada bulan Desember 2020 berkisar antara 1501,22-3257,51 mg/kg dengan rata-rata sebesar 2051,85 mg/kg. Kandungan logam Fe tertinggi pada bulan Desember 2020 terdapat pada titik sampling 11, sedangkan terendah terdapat pada titik sampling 3. Kandungan Fe dalam sedimen Sungai Winongo pada bulan Januari 2021 berkisar antara 1719,87-2599,24 mg/kg dengan rata-rata sebesar 2047,79 mg/kg. Kandungan Fe tertinggi pada bulan Januari 2021 terdapat pada titik sampling 8, sedangkan terendah terdapat pada titik sampling 1. Pada bulan Februari 2021 kandungan Fe berkisar antara 1718,50-2539,04 mg/kg dengan rata-rata 2051,33 mg/kg. Kandungan Fe tertinggi pada bulan Februari 2021 terdapat pada titik sampling 8, sedangkan terendah pada titik sampling 7.



Gambar 4.31 Kandungan Logam Besi pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.32 Kadar Besi

Hasil analisis kandungan logam besi 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 (**Gambar 4.31** dan **Gambar 4.32**) dalam sedimen perairan Sungai Winongo masih berada dibawah batas baku mutu nilai *lowest effect level* (LEL) yaitu < 20.000 mg/kg. Konsentrasi Fe yang masih berada di bawah nilai baku mutu *lowest effect level* (LEL) menunjukkan bahwa kandungan Fe dalam sedimen tidak berpengaruh pada mayoritas organisme yang tinggal di sedimen, hal ini karena nilai baku mutu LEL merupakan tingkat kontaminasi sedimen yang dapat ditoleransi oleh mayoritas organisme bentik.

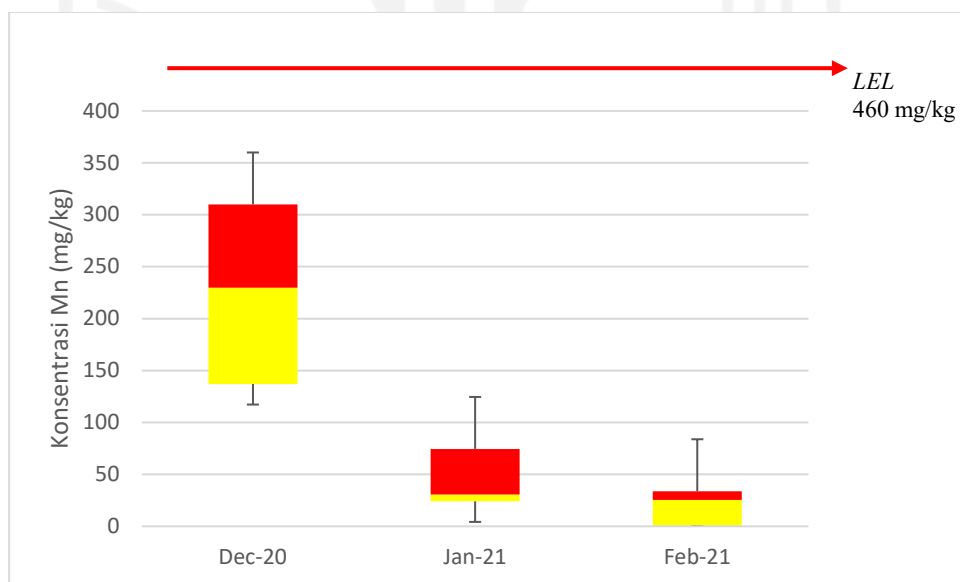
Pencemaran logam Fe ini disebabkan karena adanya proses alamiah yang berasal dari alam dan adanya aktivitas manusia di sepanjang aliran Sungai Winongo. Secara alami, logam Fe dapat berasal karena adanya aktivitas gunung berapi. Dalam penelitian Sasmito (2015) menyebutkan bahwa Sungai Winongo memiliki hulu di puncak Gunung Merapi hingga hilir di pantai selatan. Berdasarkan hal tersebut dapat diasumsikan bahwa aktivitas Gunung Merapi memiliki peran

Selain itu juga, beragam kegiatan antropogenik di sekitar lokasi sampling sepanjang aliran Sungai Winongo menjadi penyumbang tinggi nya konsentrasi logam berat Fe dalam perairan Sungai Winongo. Sampah yang dihasilkan dari kegiatan antropogenik seperti bengkel, kegiatan MCK.

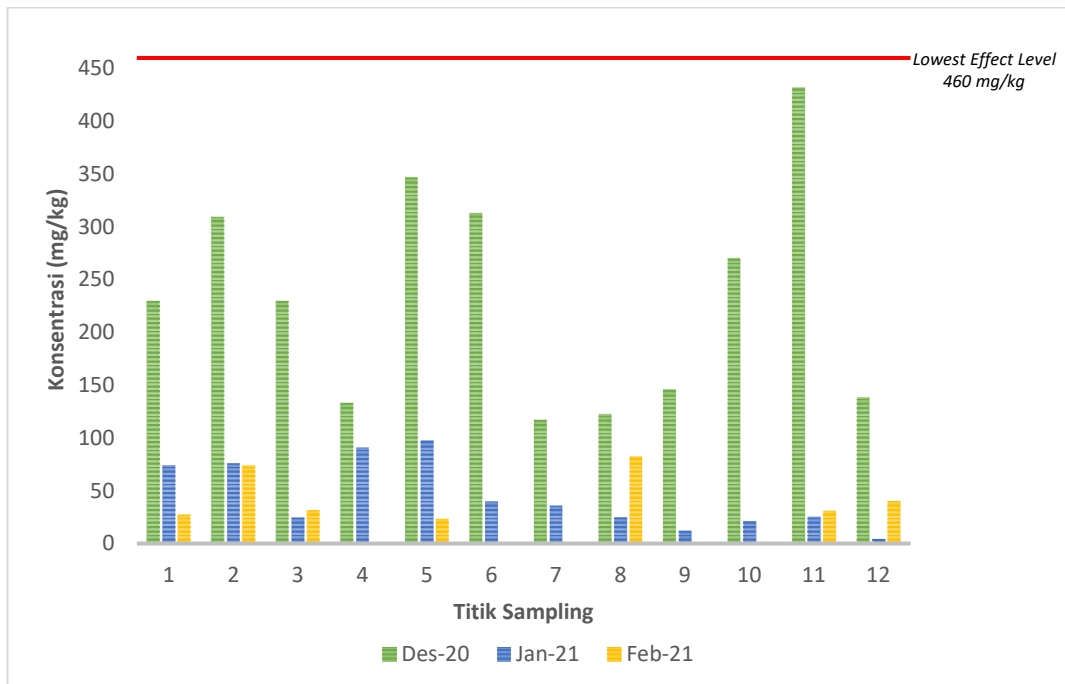
4.3.6 Mangan (Mn)

Kandungan logam berat mangan pada sedimen Sungai Winongo pada grafik *boxplot* (**Gambar 4.33**) menunjukkan distribusi data logam Mn pada bulan Desember 2020 – Februari 2021. Nilai median yang di peroleh pada *boxplot* 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.

Hasil analisa mangan (**Gambar 4.34**) pada sedimen di perairan Sungai Winongo ada terjadi fluktuasi pada setiap pengamatan. Pada bulan Desember 2020 kandungan Mn dalam sedimen Sungai Winongo berkisar antara 117,25-431,37 mg/kg dengan rata-rata sebesar 240,76 mg/kg. Kandungan Mn pada bulan Desember 2020 tertinggi terdapat pada titik samplig 11, sedangkan terendah pada titik sampling 7. Pada bulan Januari 2021 kandungan mangan dalam sedimen berkisar antara 4,26-97,62 mg/kg dengan rata-rata kandungan Mn sebesar 44,01 mg/kg. Pada bulan Januari 2021 kandungan mangan tertinggi terdapat pada titik 5, sedangkan terendah pada titik 1. Kandungan Mn pada Februari 2021 berkisar antara 0,04-82,63 mg/kg. Kandungan mangan pada bulan Februari 2021 tertinggi terdapat pada titik sampling 8, sedangkan terendah terdapat dalam titik sampling 4, 6, 7, 9, dan 10. Dari kelima (5) titik sampling tersebut nilai kandungan logam Mn menggunakan nilai $\frac{1}{2}$ LoD, dengan nilai LoD tersebut adalah 0,07 mg/kg. Hal ini kemungkinan nilai konsentrasi pada titik sampling tersebut melebihi batas kemampuan alat uji dalam membaca konsentrasi Mn.



Gambar 4.33 Kandungan Logam Mangan pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.34 Kadar Mangan

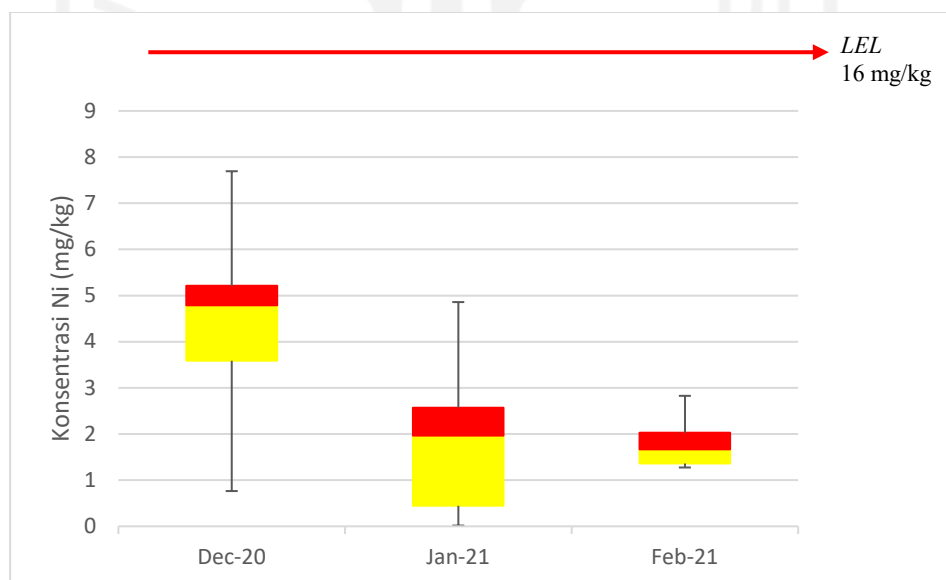
Dari data kandungan mangan (**Gambar 4.33** dan **Gambar 4.34**) dalam sedimen Sungai Winongo yang diperoleh menunjukkan bahwa kandungan Mn pada sedimen Sungai Winongo tidak melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* yaitu dengan nilai *lowest effect level* (LEL) sebesar 460 mg/L. Kandungan Mn dalam sedimen yang masih berada di bawah nilai LEL dapat diartikan bahwa kandungan mangan dalam sedimen tidak berpengaruh pada mayoritas organisme yang tinggal di sedimen, hal ini dikarenakan nilai mutu LEL merupakan tingkat kontaminasi sedimen yang dapat ditoleransi oleh mayoritas organisme bentik.

4.3.7 Nikel (Ni)

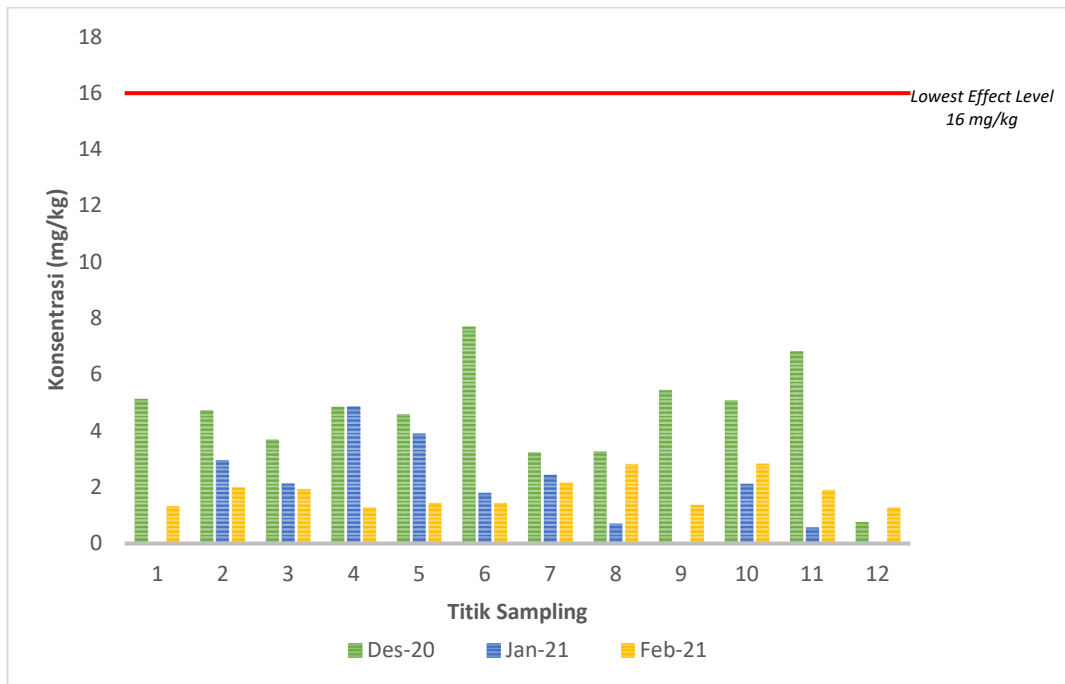
Kandungan nikel pada sedimen di perairan Sungai Winongo berdasarkan penelitian dari waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) menunjukkan adanya penurunan yang disajikan dalam **Gambar 4.35** dan **Gambar 4.36**. Grafik *boxplot* dalam **Gambar 4.35** menunjukkan nilai median kandungan nikel dari

waktu ke waktu (Desember 2020 – Februari 2021) yaitu sebesar 4,79 mg/kg; 1,97 mg/kg; dan 1,67 mg/kg.

Hasil analisis kandungan logam nikel (**Gambar 4.36**) pada pengamatan bulan Desember 2020 berkisar antara 0,76-7,69 mg/kg dengan rata-rata sebesar 4,96 mg/kg. Kandungan nikel tertinggi pada bulan Desember 2020 terdapat pada titik sampling 6, sedangkan terendah terdapat pada titik sampling 12. Pada bulan Januari 2021 kandungan nikel dalam sedimen Sungai Winongo berkisar antara 0,02-4,86 mg/kg dengan nilai rata-rata kandungan Ni sebesar 1,80 mg/kg. Nilai kandungan nikel pada bulan Januari tertinggi terdapat pada titik 4 dan terendah pada titik 9 dan 12. Kandungan nikel pada titik 9 dan 12 diasumsikan dengan nilai $\frac{1}{2}$ LoD. Nilai LoD logam nikel adalah sebesar 0,03 mg/kg. Sedangkan hasil analisis kandungan nikel pada bulan Februari 2021 diperoleh nilai kandungan nikel berkisar antara 1,27-2,83 mg/kg dengan rata-rata 1,81 mg/kg. Pada bulan Februari 2021 kandungan nikel tertinggi terdapat pada titik sampling 10 dan terendah pada titik sampling 4.



Gambar 4.35 Kandungan Logam Nikel pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.36 Kadar Nikel

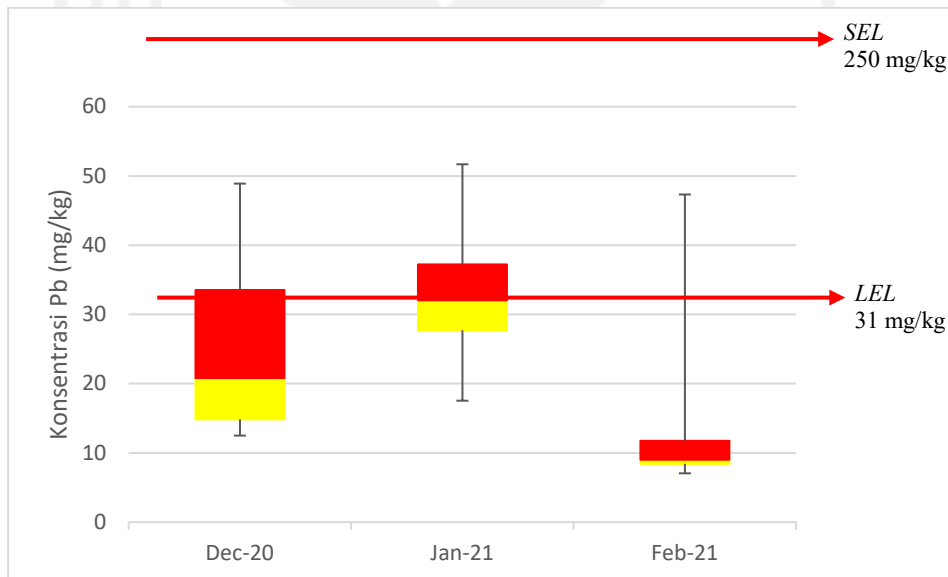
Hasil analisis kadar Ni (**Gambar 4.35** dan **Gambar 4.36**) yang diperoleh pada bulan Desember 2020 – Februari 2021 menunjukkan bahwa kandungan nikel dalam sedimen Sungai Winongo masih dibawah nilai batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) yang ditetapkan dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* yaitu sebesar 16 mg/kg. Kadar nikel dalam sedimen yang berada di bawah nilai batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) menunjukkan bahwa kandungan nikel dalam sedimen tidak berpengaruh pada mayoritas organisme yang tinggal di sedimen, hal ini dikarenakan nilai mutu LEL merupakan tingkat kontaminasi sedimen yang dapat ditoleransi oleh mayoritas organisme benthik.

4.3.8 Timbal (Pb)

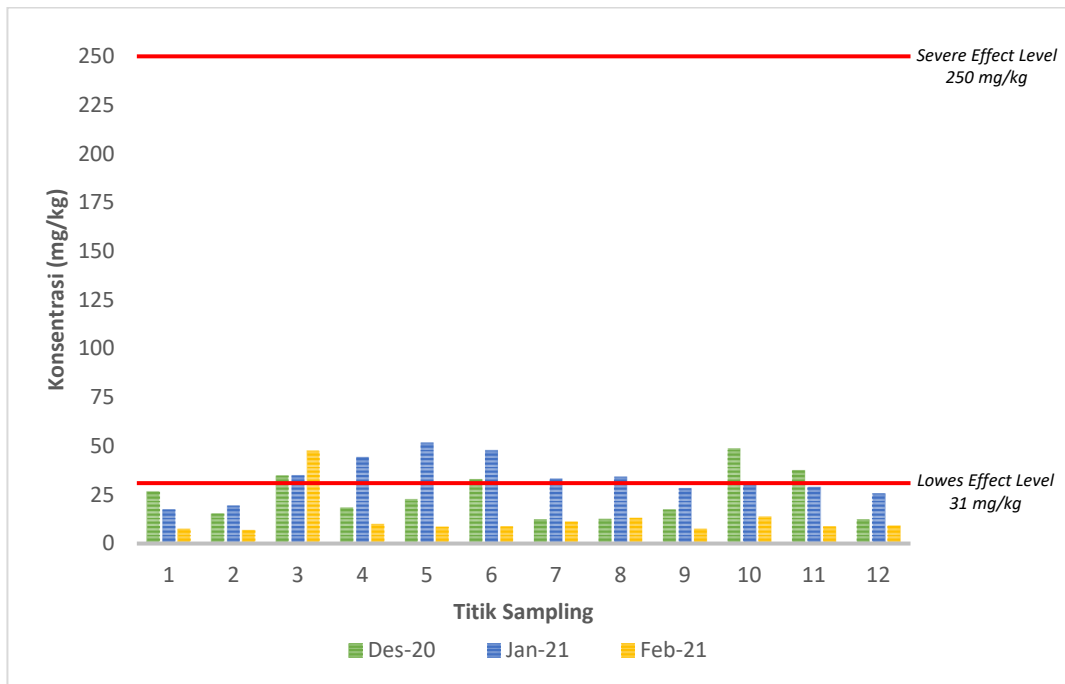
Grafik *boxplot* dalam **Gambar 4.37** merupakan hasil analisis kandungan timbal dalam kurun waktu 3 bulan yaitu pada bulan Desember 2020, Januari 2021, dan Februari 2021. Nilai median yang diperoleh dari analisis kandungan logam

timbal dari waktu ke waktu adalah sebesar 20,80 mg/kg; 32,02 mg/kg; dan 9,01 mg/kg.

Hasil analisis kandungan timbal pada bulan Desember 2020 – Februari 2021 menunjukkan nilai kandungan yang fluktuatif (**Gambar 4.38**). Kandungan timbal pada bulan Desember 2020 berkisar antara 12,50-48,89 mg/kg dengan rata-rata 25,57 mg/kg. Pada bulan Desember 2020 kandungan timbal tertinggi terdapat pada titik sampling 7, sedangkan terendah 48,89 mg/kg. Pada bulan Januari 2021, secara umum kandungan timbal mengalami peningkatan dari bulan sebelumnya dengan kandungan timbal berkisar 33,09-51,69 mg/kg dengan rata-rata 33,09 mg/kg. Kandungan timbal tertinggi pada bulan Januari 2021 terdapat pada titik 5 dan terendah pada titik 1. Pada bulan Februari 2021 kandungan logam timbal berkisar antara 7,04-47,32 mg/kg dengan rata-rata sebesar 12,80 mg/kg. Pada bulan Februari 2021 kandungan timbal tertinggi terdapat pada titik sampling 3 dan terendah terdapat pada titik sampling 2.



Gambar 4.37 Kandungan Logam Timbal pada Sedimen (mg/kg) dalam Grafik Whisker Box & Plot Menunjukkan Nilai Tengah/Median



Gambar 4.38 Kadar Timbal

Dari hasil analisis kadar Pb (**Gambar 4.37** dan **Gambar 4.38**) pada sedimen Sungai Winongo memiliki konsentrasi yang sangat bervariasi. Pada umumnya, 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. Nilai konsentrasi Pb yang berada di bawah nilai batas baku mutu LEL menunjukkan tingkat yang tidak berpengaruh pada banyak organisme dalam sedimen, hal ini dikarenakan pada nilai mutu LEL merupakan tingkat kontaminasi sedimen yang dapat ditoleransi oleh mayoritas organisme bentik. Sedangkan untuk konsentrasi Pb yang berada di antara nilai LEL dan SEL menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Hal ini akan memengaruhi kualitas perairan oleh organisme bentik.

Keberadaan timbal secara alami timbal dapat ditemukan pada tanah. Timbal (Pb) tidak memiliki bau dan tidak memiliki rasa. Logam Pb dapat bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk berbagai senyawa timbal, baik timbal oksida (PbO), timbal klorida (PbCl₂) dan lain sebagainya (BSN, 2009).

Selain itu, keberadaan timbal tidak dapat terlepas dari aktivitas manusia. Pada sekitar lokasi titik sampling aliran Sungai Winongo merupakan wilayah padat penduduk dimana tidak sedikit kendaraan bermotor yang berlalu lalang. Kandungan logam Pb pada setiap titik pengamatan memiliki kandungan timbal yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan tingkat kepadatan lalu lintas disekitar lokasi sampling. Menurut WHO (2011), tingginya konsentrasi logam Pb dalam perairan salah satunya disebabkan oleh senyawa TEL (*Tetra Ethyl Lead*) dimana merupakan bahan *antinox* yang berada dalam bahan bakar bensin pada kendaraan. Hasil sisa pembakaran kendaraan bermotor tersebut terbawa oleh air hujan yang masuk ke perairan.

Berdasarkan hasil analisis logam berat diatas bahwa sumber utama logam berat dalam Sungai Winongo yaitu terjadi karena proses alam dan aktivitas manusia. Proses alami yang menjadi sumber penyumbang logam berat dalam sedimen Sungai Winongo dapat berasal dari aktivitas pelapukan dan pengikisan batuan. Selain itu, keberadaan Gunung Merapi juga memiliki peran terbesar dalam penyumbang logam di Sungai Winongo. Dalam penelitian Wahyuni., *et al* (2012) menunjukkan bahwa abu Gunung Merapi mengandung berbagai unsur mayor (Al, Si, Ca, dan Fe), minor (K, Mg, Mn, Na, P, S, dan Ti), dan tingkat *trace* (Au, As, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sn, Sr, V, Zn, dan Zr). Selain logam tersebut, ditemukan juga logam Cd dalam abu vulkanik Gunung Merapi dalam kadar yang rendah.

Sungai Winongo ini merupakan salah satu dari banyak sungai di D.I Yogyakarta yang melintasi Kota Yogyakarta, yang berhulu di Sleman dan bermuara di Bantul. DLH Kabupaten Bantul (2020), menyebutkan bahwa keberadaan sehari-harinya, Sungai Winongo menerima limbah baik dari kegiatan rumah tangga, aktivitas perkantoran, industri, maupun pertanian. Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi sampling, Sungai Winongo tersebut berada di sekitar daerah pemukiman padat penduduk. Selain aktivitas rumah tangga, ditemukan banyak aktivitas lainnya disekitar lokasi pengamatan yaitu, perbengkelan, aktivitas perdagangan, pabrik tahu, pengrajin patung, perkantoran, pertanian, toko dan reparasi elektronik,

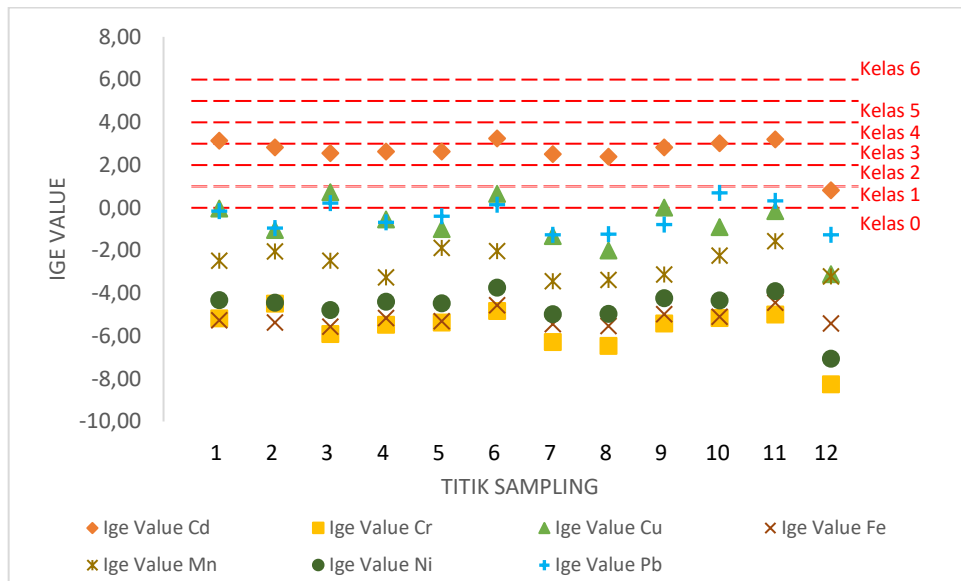
industri manufaktur, pengrajin kayu, industri makanan rumahan, dan lainnya sebagainya yang diduga menjadi pendonor limbah khususnya pada logam berat yang masuk ke Sungai Winongo sehingga memengaruhi kualitas perairan tersebut.

4.4 Analisis Indeks Geoakumulasi Logam Berat

Dari hasil analisis konsentrasi logam berat sedimen Sungai Winongo digunakan untuk menganalisis tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen dengan menggunakan indeks geoakumulasi. *Ige value* diperoleh dengan perhitungan \log_2 dikalikan dengan konsentrasi logam berat dan nilai latar logam pada saat pra-industri (Harikumar, 2010).

Dalam **Gambar 4.39** menunjukkan nilai hasil analisis indeks geoakumulasi logam berat pada bulan Desember 2020. Hasil perhitungan indeks geoakumulasi terhadap logam Cd sebesar $0,82 - 3,25$ ($0 < I_{ge} < 4$). Hal ini bahwa kualitas sedimen Sungai Winongo dalam kategori kelas 1 hingga kelas 4 bahwa kualitas sedimen tidak tercemar hingga sangat tercemar. Nilai indeks geoakumulasi terhadap logam Cu sebesar $-3,11 - 0,73$ ($I_{ge} < 0 < I_{ge} < 1$) dan logam Pb sebesar $-1,26 - 0,76$ ($I_{ge} < 0 < I_{ge} < 1$). Dari hasil perhitungan indeks geoakumulasi logam Cu dan logam Pb tersebut dalam kategori kelas 0 hingga 1 yaitu dengan kualitas sedimen tidak tercemar hingga tercemar sedang oleh Cu dan Pb.

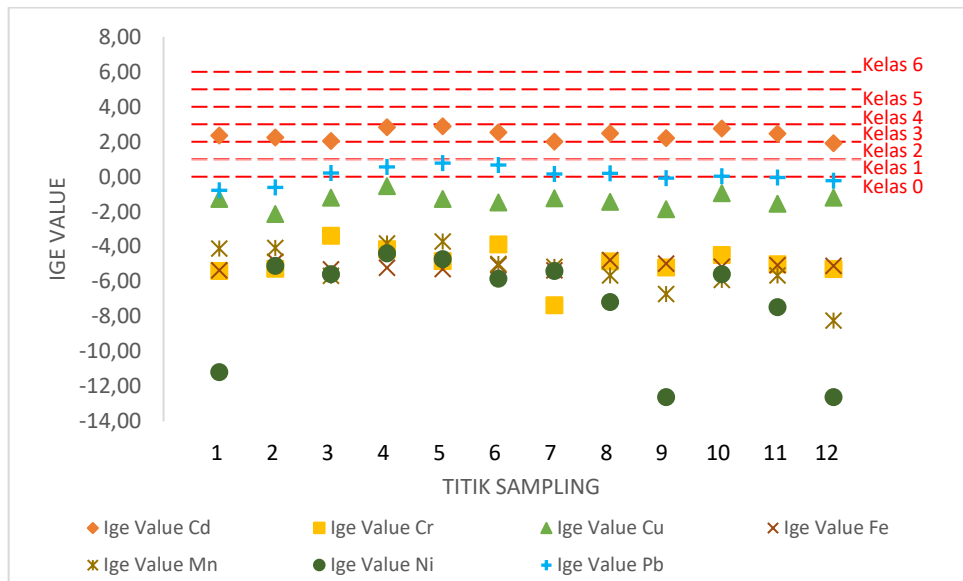
Sedangkan hasil perhitungan indeks geoakumulasi logam Cr sebesar $-8,26 - -4,49$ ($I_{ge} < 0$), logam Fe sebesar $-5,56 - -4,44$ ($I_{ge} < 0$), logam Mn sebesar $-3,44 - -1,56$ ($I_{ge} < 0$), dan logam Ni menunjukkan nilai $-7,06 - -3,73$ ($I_{ge} < 0$). Berdasarkan nilai indeks geoakumulasi terhadap logam Cr, Fe, Mn, dan Ni tersebut bahwa kualitas sedimen dalam tingkat pencemaran tidak tercemar oleh logam krom, besi, mangan, dan nikel yaitu kualitas sedimen kategori kelas 0.



Gambar 4.39 Ige Value Sampling 1 (Desember 2020)

Hasil perhitungan indeks geoakumulasi pada bulan Januari 2021 ditampilkan dalam **Gambar 4.40** dibawah. Hasil analisis perhitungan indeks geoakumulasi terhadap logam Cd sebesar 1,91 – 2,88 ($1 < I_{ge} < 3$). Berdasarkan nilai indeks geoakumulasi tersebut bahwa kualitas sedimen sungai winogo dalam kategori kelas 2 hingga 3 tercemar sedang hingga sangat tercemar. Pada hasil perhitungan indeks geoakumulasi terhadap logam Pb sebesar -0,77 – 0,78 ($I_{ge} < 0 < I_{ge} < 1$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa kualitas sedimen dalam kategori kelas 0 hingga 1 yaitu tidak tercemar hingga tercemar sedang oleh Pb.

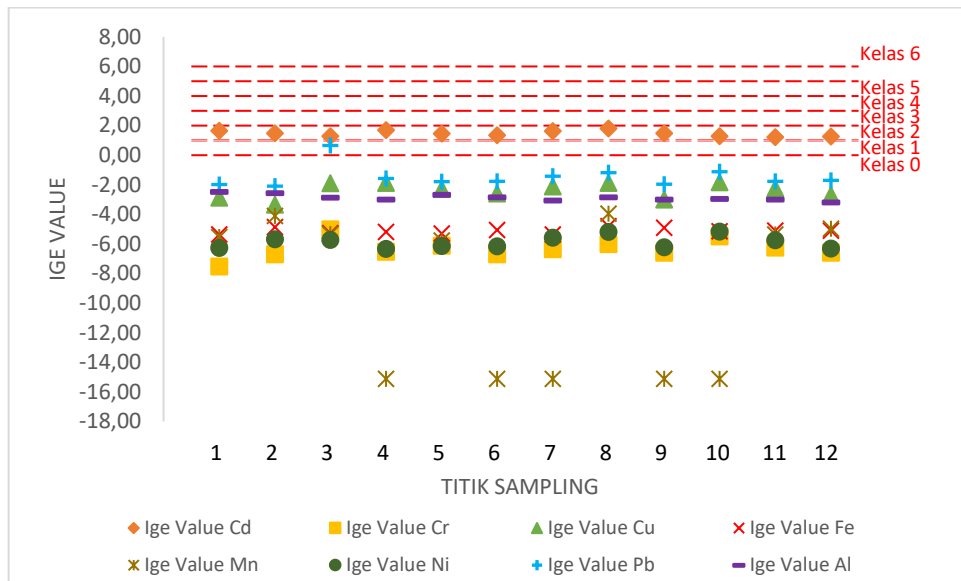
Nilai indeks geoakumulasi terhadap logam Cr sebesar -7,35 – -3,38 ($I_{ge} < 0$), logam Cu sebesar -2,14 – -0,54 ($I_{ge} < 0$), logam Fe sebesar -5,36 – -4,77 ($I_{ge} < 0$), logam Mn sebesar -8,23 – -3,71 ($I_{ge} < 0$), dan logam Ni sebesar -12,60 – -4,39 ($I_{ge} < 0$). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut bahwa kualitas sedimen dalam kategori kelas 0 yaitu dala tingkat pencemaran tidak tercemar oleh logam Cr, Cu, Fe, Mn, dan Ni.



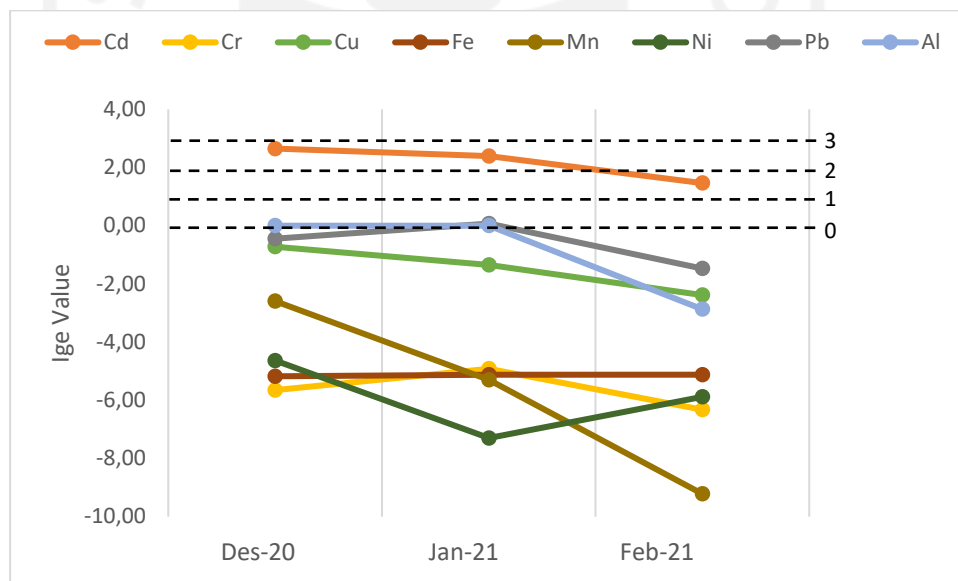
Gambar 4.40 Ige Value Sampling 2 (Januari 2021)

Hasil analisis indeks geoakumulasi terhadap sedimen Sungai Winongo pada bulan Februari 2021 ditunjukkan dalam **Gambar 4.41**. Berdasarkan perhitungan indeks geoakumulasi pada logam Cd menunjukkan nilai sebesar 1,22 – 1,80 ($1 < I_{ge} < 2$). Hasil analisis tersebut bahwa kualitas sedimen dalam kategori kelas 2 yaitu dalam tingkat pencemaran tercemar sedang oleh Cd. Pada logam Pb, nilai indeks geoakumulasi yang diperoleh sebesar -2,09 – 0,66 ($I_{ge} < 0 < I_{ge} < 1$). Kualitas sedimen yang ditunjukkan dari nilai indeks geoakumulasi logam Pb yaitu dalam kategori kelas 0 hingga 1 dalam tingkat pencemaran tidak tercemar hingga tercemar sedang.

Nilai indeks geoakumulasi pada logam Cr sebesar -7,53 – -5,02 ($I_{ge} < 0$), logam Cu sebesar -3,34 – -1,83 ($I_{ge} < 0$), logam Fe sebesar -5,36 – -4,80 ($I_{ge} < 0$), logam Mn sebesar -15,12 – -3,95 ($I_{ge} < 0$), logam Ni sebesar -6,32 – -5,17 ($I_{ge} < 0$) dan logam Al sebesar -3,19 – -2,87 ($I_{ge} < 0$). Hal ini menunjukkan bahwa kualitas sedimen dalam kategori kelas 0 yaitu dengan tingkat pencemaran tidak tercemar terhadap logam Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, dan Al.



Gambar 4.41 Ige Value Sampling 3 (Februari 2021)



Gambar 4.42 Nilai Rerata Indeks Geoakumulasi Berdasarkan Waktu

Dalam **Gambar 4.42** diatas menampilkan bahwa tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen secara umum menunjukkan grafik yang menurun pada setiap bulan nya dan juga menunjukkan kualitas sedimen berdasarkan kelasnya. Kualitas sedimen sendiri memiliki 7 kelas, hal ini telah dijelaskan dalam **Tabel 2.4** halaman 22 bahwa kelas terendah berada pada kelas 0 dengan kualitas sedimen tidak

tercemar hingga kelas tertinggi berada pada kelas 6 dengan kualitas sedimen ekstrem tercemar. Dari hasil analisis indeks geoakumulasi terhadap logam berat dalam sedimen Sungai Winongo, pada umumnya menunjukkan kualitas sedimen berada di kelas 0. Kualitas sedimen pada kelas 3 hanya terdapat satu (1) jenis logam yaitu kadmium.

Berdasarkan hasil analisis nilai indeks geoakumulasi tersebut, diperoleh rata-rata nilai indeks pada masing-masing titik sampling yang disajikan dalam **Tabel 4.3**. Nilai rata-rata indeks geoakumulasi dalam **Tabel 4.3** menunjukkan bahwa secara umum tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo berada di kelas 0 ($I_{ge} < 0$). Berdasarkan kelas nya tersebut bahwa umumnya tingkat pencemaran sedimen Sungai Winongo tidak tercemar oleh logam Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Al. Akan tetapi, rerata indeks geoakumulasi terhadap logam Pb di titik sampling 3 menunjukkan tingkat pencemaran kelas 1 ($0 < I_{ge} < 1$) yaitu kualitas sedimen tidak tercemar hingga tercemar sedang. Aktivitas kendaraan bermotor yang cukup padat pada daerah titik sampling 3 dapat menjadi penyumbang tingginya pencemaran Pb pada lokasi tersebut. Dalam penelitian Sudarmaji (2006) mengatakan bahwa timbal anorganik merupakan sebuah emisi yang dihasilkan dari pembakaran aditif timbal dalam bahan bakar kendaraan. Hal ini didukung oleh WHO (2011) bahwa tingginya konsentrasi logam Pb dalam perairan salah satunya disebabkan oleh senyawa TEL (*Tetra Ethyl Lead*) dimana merupakan bahan *anti-knock* yang berada dalam bahan bakar bensin pada kendaraan. Emisi Pb dari hasil pembakaran kendaraan bermotor tersebut dalam bentuk gas (Palar, 2012). Dari zat buangan tersebut masuk ke perairan yang terbawa oleh air hujan.

Berkaitan dengan padatnya lalu lintas pada daerah tersebut penggunaan kendaraan bermotor yang terus meningkat juga dapat mengakibatkan semakin bertambahnya jumlah tempat perbaikan dan perawatan kendaraan bermotor, hal ini dikenal sebagai bengkel. Di sekitar lokasi sampling titik 3 ditemukan cukup banyak bengkel yang berada tidak jauh dari lokasi pengamatan. Dari aktivitas perbengkelan tersebut menghasilkan limbah cair, seperti oli bekas, air aki, pelarut, cat, dan cairan pembersihan. Hampir dari setiap bengkel tidak memperhatikan penanganan terkait limbah yang dihasilkan.

Dalam penelitian Nadeak (2015) menjelaskan bahwa jumlah timbulan oli bekas dan botol bekas oli sebanding dengan kategori bengkel, dimana semakin banyak bengkel maka jumlah timbulan yang dihasilkan juga akan semakin besar. Kadar timbal yang tinggi di dalam limbah cair tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, hingga mencemari perairan.

Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan reparasi kendaraan bermotor di sekitar lokasi titik pengamatan menjadi salah satu penyumbang tinggi nya kadar logam timbal (Pb) di titik sampling 3. Hal ini diperkuat oleh DLH Surabaya (2019) yang menyebutkan bahwa limbah bengkel memiliki kandungan COD, logam timbal (Pb), fosfat (PO_4) dan *oil grease* (OG). Apabila air limbah dari bengkel disekitar lokasi pengamatan masuk ke badan Sungai Winongo maka dapat merusak dan menyebabkan pencemaran logam dalam badan perairan. Hal tersebut didukung dalam penelitian Cindiyanti (2011) yang mengatakan bahwa oli bekas mengandung komponen logam berat (Cd, Pb, Fe), *polychlorinated biphenyls* (PCBs), dan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), komponen-komponen tersebut mengandung bahan beracun saat terlepas ke lingkungan. Selain oli bekas, limbah bengkel yang lainnya dapat menyebabkan pencemaran adalah tidak adanya pengelolaan limbah aki bekas, sehingga dapat mencemari lingkungan karena mengandung kadar timbal dan asam kuat.

Pada logam kadmium (Cd), rerata indeks geoakumulasi sebagian besar menunjukkan bahwa tingkat pencemaran logam Cd dalam sedimen Sungai umumnya dalam kategori kelas 3 yaitu tercemar sedang hingga sangat tercemar. Nilai rata-rata indeks geoakumulasi tertinggi terdapat pada titik sampling 1, 4, dan 6. Secara keseluruhan limbah yang masuk pada lokasi tersebut sebagian besar berasal dari rumah tangga. Limbah yang dihasilkan tersebut sebagian besar berupa kemasan plastik dan kemasan kaleng, selain itu juga beberapa limbah elektronik seperti potongan sisa kabel, baterai dan lain sebagainya. Dari berbagai limbah tersebut, sedikit banyak mengandung logam kadmium di dalamnya. Hal ini didukung dalam penelitian Sembel (2015) bahwa kadmium dipergunakan sebagai bahan pembuatan baterai, bahan pelapis besi dan baja, cat, dan pigmen warna. Selain dari limbah yang masuk ke dalam badan air, saluran pembuangan dari rumah

tangga juga dapat menyumbang pencemaran. Dalam hal ini, dijelaskan oleh Jennings (2005) bahwa dalam PVC, kadmium digunakan sebagai penstabil panas, cahaya, dan pelapukan.

Jika dilihat secara keseluruhan dari semua lokasi pengamatan nilai rata-rata indeks geoakumulasi logam Cd tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dapat dikatakan bahwa nilai indeks geoakumulasi tersebut seragam. Hal ini dapat memungkinkan terjadi karena adanya aktivitas vulkanik Gunung Merapi yang berlokasi di hulu Sungai Winongo. Berdasarkan hal tersebut bahwa aktivitas vulkanik dari Gunung Merapi memiliki peran dalam pencemaran logam Sungai Winongo. Menurut Dinas Kesehatan D.I Yogyakarta (2019) bahwa abu vulkanik mengandung banyak unsur logam seperti timbal (Pb), tembaga (Cu), krom (Cr), kadmium (Cd), seng (Zn), boron (Br), barium (Ba), selenium (Se), perak (Ag), besi (Fe), dan silika (Si).

Tabel 4.3 Rata-rata Nilai Indeks Geoakumulasi

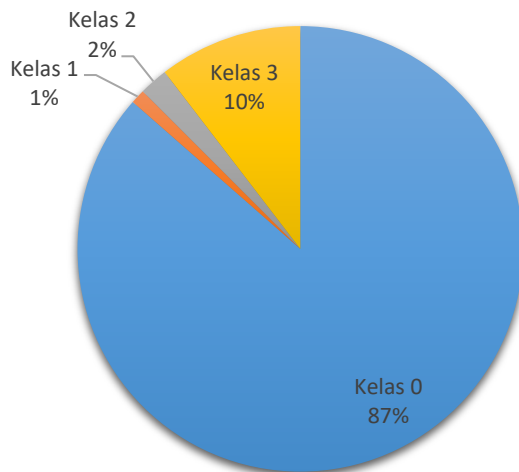
Titik Sampling	Logam							
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Al
1	2,38	-6,03	-1,40	-5,33	-4,04	-7,25	-0,97	-2,48
2	2,18	-5,48	-2,17	-5,03	-3,41	-5,07	-1,22	-2,57
3	1,96	-4,77	-0,79	-5,38	-4,49	-5,36	0,36	-2,86
4	2,38	-5,38	-0,99	-5,18	-7,40	-5,04	-0,56	-3,00
5	2,32	-5,44	-1,52	-5,30	-3,79	-5,11	-0,46	-2,68
6	2,38	-5,13	-1,14	-4,89	-7,38	-5,23	-0,32	-2,85
7	2,05	-6,66	-1,56	-5,39	-7,90	-5,31	-0,84	-3,06
8	2,22	-5,77	-1,77	-5,03	-4,33	-5,77	-0,74	-2,84
9	2,17	-5,74	-1,61	-4,95	-8,32	-7,68	-0,94	-2,99
10	2,35	-5,04	-1,22	-5,13	-7,76	-5,03	-0,13	-2,95
11	2,30	-5,42	-1,31	-4,87	-4,19	-5,71	-0,49	-3,00
12	1,33	-6,71	-2,34	-5,20	-5,47	-8,66	-1,06	-3,19

Kelas 0
 Kelas 1
 Kelas 2
 Kelas 3

Dari hasil perhitungan rerata Ige sedimen Sungai Winongo, kualitas sedimen berada pada kelas 0 sebesar 83%, pada kelas 1 sebesar 1%, pada kelas 2 sebesar 2% dan pada kelas 3 sebesar 10% (**Gambar 4.43**). Perbedaan tingkat pencemaran pada

setiap titik lokasi pengamatan dipengaruhi oleh jenis dan jumlah limbah yang masuk di setiap lokasi tersebut. Sungai Winongo yang berlokasi di wilayah pemukiman padat penduduk menghasilkan beraneka ragam aktivitas manusia yang terjadi di sekitar badan Sungai Winongo, hal ini akan sangat mempengaruhi tingkat pencemaran logam berat. Mengingat bahwa titik lokasi pengamatan yang memiliki tingkat pencemaran paling tinggi diantara titik lainnya yaitu pada logam Pb di titik 3 dan pada logam Cd di titik 1, 4, dan 6 dimana lokasi tersebut berada di bagian tengah Sungai Winongo. Bagian tengah Sungai Winongo sendiri berada di Kota Yogyakarta yang mana di lokasi tersebut memiliki tingkat tutupan lahan bangunan yang paling tinggi dibandingkan dengan bagian hulu (Kabupaten Sleman) dan bagian hilir (Kabupaten Bantul). Berdasarkan studi penelitian Jana (2021) bahwa persentase tutupan lahan pada tahun 2013-2020 menunjukkan lahan bangunan cenderung meningkat. Hasil identifikasi tutupan lahan menunjukkan bahwa secara spasial pemukiman merupakan tutupan lahan yang paling dominan di Kota Yogyakarta dengan persentase tutupan lahan bangunan di Kota Yogyakarta sendiri sebesar 90.5 %.

Selain dari pengaruh jumlah dan jenis limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, ada proses alami yang ikut berperan dalam pengaruh konsentrasi dan tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai Winongo. Proses alami pelapukan dan pengikisan batuan mineral serta adanya aktivitas vulkanik yang berasal dari Gunung Merapi dapat menjadi pengaruh penting keberadaan logam berat dalam sedimen Sungai Winongo. Secara umum abu atau material dari letusan gunung berapi seperti Gunung Merapi mengandung oksida beberapa unsur logam seperti Al, Si, Fe, Ca, Mg, Na, dan K serta belerang, dan mungkin terkandung beberapa unsur logam berbahaya seperti Pb, Cd, dan As (Cas and Wright, 1988; Smith, *et al.*, 1983; Christenson, 2000). Hal ini didukung dalam studi penelitian Wahyuni (2012) bahwa abu Gunung Merapi mengandung unsur Al, Si, Ca, dan Fe sebagai unsur mayor, unsur Mg, K, Mn, Na, P, S dan Ti sebagai unsur minor, serta unsur lainnya pada tingkat *trace* seperti Au, As, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sn, Sr, V, Zn, dan Zr. Terdapat pula unsur Cd, Cr, Cu, dan Ni dalam kadar yang rendah di dalam kandungan abu vulkanik Gunung Merapi.



Gambar 4.43 Persentase Kualitas Sedimen Sungai Winongo

Hasil analisis perhitungan indeks geoakumulasi terhadap logam yang diteliti sejalan dengan konsentrasi pada setiap masing-masing logam berat. Pada konsentrasi dibawah nilai baku mutu *lowest effect level* (LEL) berada pada kelas 0 yaitu kualitas sedimen tidak tercemar. Sedangkan logam dengan konsentrasi berada diantara nilai batas baku mutu *lowest effect level* (LEL) dan *severe effect level* (SEL) berada pada kelas 0 – 4 yaitu kualitas sedimen tidak tercemar hingga sangat tercemar.

Analisis indeks geoakumulasi ini juga terdapat dalam penelitian Mulyaningsih (2014) bahwa hasil perhitungan nilai indeks geoakumulasi terhadap kualitas sedimen Sungai Cimandur, Banten terhadap unsur As, Co, Cr, Hg, dan Zn. Indeks geoakumulasi untuk logam Hg berkisar antara 0,31-2,47, hal ini menunjukkan bahwa kondisi sedimen tercemar sedang hingga sangat tercemar oleh Hg. Demikian untuk logam As berkisar antara 0,43-1,15. Hasil analisis *I_{geo} value* tersebut menunjukkan bahwa kondisi sedimen pada lokasi penelitian pada kondisi tidak tercemar hingga tercemar sedang. Sedangkan hasil analisis indeks geoakumulasi terhadap logam Co, Cr, dan Zn $0 < I_{geo} \leq 1$. Selain itu juga, Ahmad (2013) dalam penelitiannya bahwa kualitas sedimen pada stasiun

pengamatan (st. 1-20) termasuk dalam kategori tidak tercemar oleh logam Pb, Zn, Cu, dan Ni ($I_{geo} < 0$), kecuali Cd terdapat 3 kategori yaitu tidak tercemar ($I_{geo} < 0$), tercemar ringan ($0 < I_{geo} < 1$), dan tercemar sedang ($1 < I_{geo} < 2$).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi logam berat dalam sedimen sungai Winongo untuk logam Al berkisar 13190,93 – 21532,87 mg/kg, logam Cd berkisar 0,79 – 4,29 mg/kg, logam Cr berkisar 0,44 – 12,95 mg/kg, logam Cu berkisar 6,68 – 111,74 mg/kg, logam Fe berkisar 1501,22 – 3257,51 mg/kg, logam Mn berkisar 0,04 – 431,37 mg/kg, logam Ni berkisar 0,02 – 7,69 mg/kg, dan logam Pb berkisar 7,04 – 51,69 mg/kg. Berdasarkan nilai baku mutu sedimen dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* bahwa konsentrasi logam Cd, Cr, Fe, Mn, Ni dan Pb kecuali Cu tidak melebihi batas nilai baku *severe effect level* (SEL).
2. Kualitas sedimen pada lokasi pengamatan di sepanjang Sungai Winongo dalam tingkatan pencemaran tidak tercemar oleh Al, Cr, Fe, Mn, dan Ni, tidak tercemar hingga sangat tercemar oleh Cd, tidak tercemar hingga tercemar sedang oleh Cu dan Pb.

5.2 Saran

Adapun saran yang perlu diperhatikan bagi peneliti selanjutnya yang memiliki ketertarikan mengenai pencemaran logam berat khususnya dalam sedimen Sungai Winongo yaitu diharapkan untuk mengkaji lebih banyak sumber maupun referensi yang berkaitan dengan pencemaran logam berat dalam sedimen perairan sehingga hasil penelitiannya dapat lebih baik dan lebih lengkap lagi. Selanjutnya diharapkan ditunjang pula dengan menelusuri lebih detail lagi terkait daerah sekitar lokasi pengamatan serta ditunjang juga dengan wawancara terhadap warga sekitar lokasi pengamatan, sehingga kita dapat mengetahui sedikit banyak pengelolaan limbah dari kegiatan antropogenik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Hayton., D. Persuad., dan R. Jaagumagi. 1993. **Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario**. Ontario Ministry of Environment and Energy.
- Adhani, Rosihan dan Husaini. 2017. **Logam Berat Sekitar Manusia**. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Ahmad, Fasmi. 2013. **Distribusi dan Prediksi Tingkat Pencemaran Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni) dalam Sedimen di Perairan Pulau Bangka Menggunakan Indeks Beban Pencemaran dan Indeks Geoakumulasi**. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis. LIPI. 5(1): 170-181
- Anonim. 2021. **Oxidation-Reduction Potential**.
- Anwariani, Destari. 2019. **Pengaruh Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Sungai**. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Asdak, Chay. 2007. **Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai**. Bandung: Gadjah Mada University Press.
- Badan Informasi Geospasial. 2016. **INAGEOPORTAL**. Bogor: Pusat Pengelolaan dan Penyerbaluasan Informasi Geospasial.
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. 2014. **Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Yogyakarta Tahun 2014**. Yogyakarta: BPLHD.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. **Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan. SNI 7387:2009**. Jakarta: BSN.
- Bahtiar, Ayi. 2007. **Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri dan Rumah Tangga Serta Pemecahannya**. Bandung: UNPAD.

- Bana, Vera Stianita Sarce. 2015. **Potensi Pektin Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca forma typica) Untuk Menyerap Logam Berat Kadmium (Cd)**. Yogyakarta: UAJY.
- Basset, J. 2013. **Buku Ajar Vogel Kimia Analisa Kualitatif Anorganik**. Edisi Empat. Jakarta: EGC.
- Beattie, H., Keen C, Coldwell, M., Tan, E., Morton, J., McAlinden, J., Smith, P. 2017. **The Use of Bio-Monitoring to Assess Exposure in the Electroplating Industri**. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 27: 47-55.
- Boyd, CE. 2015. **Water Quality**. Switzerland: Springer.
- Budiastuti, Putri., Mursid Rahajo., dan Nikie Astorina Y. D. 2016. **Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang**. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Carocci, A., Catalano, A., Lauria, G., Sinicropi, M.S., Genchi, G. 2016. **A Review on Mercury Toxicity in Food. Chapter 16**. USA: CRC Press.
- Cas, R.A.F., 1984. **Volcanic Succession: Modern and Acient**. London: Chapman & Hall. Pg. 528.
- Cempel, E., Salnikow, K. 2006. **Nickel: A review of Its Sources and Environmental Toxicology**. Pol. J. Environ. Stud. 15: 375-382.
- Chin, DA. 2006. **Water Quality Engineering in Natural System**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Christenson, B.W. 2000. **Geochemistry of Fluids Associated with the 1995-1996 eruption of Mt Ruapehu, New Zealand: Signatures and Processes in the Magmatic-Hydrothermal System**. Journal of Volcanology and Geothermal Research. (97): 1-30.
- Cindiyanti, Z.A. 2011. **Pabrik Base Oil dari Limbah Plastik dengan Proses Pirolisis**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

- Connell, Des. W., dan Miller, Gregory J. 2006. **Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran**. Terjemahan oleh Yanti Koestoer. Jakarta: UI-Press.
- Damanik, Ornia Dreamy. 2017. **Penetapan Kadar Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Sumber Tanah Bor dan Air Dalam Tangki DMI (Damage Manganese Iron) dengan Spektrofotometri di PT Tirta Sukses Perkasa**. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- D'souza, Rohan., dkk. 2014. **Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora**. Environment Risk Assessment of Soil Contamination.
- Damayanti, Devita Ayu. 2011. **Evaluasi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd Dalam Sedimen Air Sungai Bengawan Solo g Surakdi Sekitar Industri Jurug Surakarta**. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Diana, Nur. 2013. **Potensi Bakteri Enterobacter agglomerans sebagai Biosorben Logam Berat (Pb)**. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Dinas Kesehatan Daerah Istimewa Yogyakarta. 2019. **Bahaya Abu Vulkanik**. Yogyakarta: DLH.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta. 2019. **Hasil Pemantauan Kualitas Air Sungai Winongo**. Yogyakarta: DLHK.
- Dinas Lingkungan Hidup Surabaya. 2019. **Pengelolaan Air Limbah Kegiatan Bengkel**. Surabaya: DLH.
- Ensyah, Nurul Ziqra. 2018. **Unjuk Kerja Tray Bioreaktor Dengan Media Penyangga Luffa Cyllindrica dan Bioball Dalam Meningkatkan Kualitas Air Olahan IPAL Komunal (Parameter COD dan TSS)**. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Fadhilah, Ria Laili. 2016. **Analisis Logam Timbal (Pb) pada Sampo dengan Variasi Metode Destruksi Basah dan Zat Pengoksidasi Menggunakan**

Spektroskopi Serapan Atom. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Farid, Retno. 2011. **Sistem Pengolahan Limbah Lumpur Pengeboran Minyak Bumi di PT Chevron Pacific Indonesia Duri.** Medan: Universitas Sumatera Utara.

Fauziah AR, Rahardja BS, Cahyoko Y. 2012. **Korelasi Ukuran Kerang Darah (*Anadara ganosa*) dengan Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) di Muara Sungai Ketingan, Sidoarjo, Jawa Timur.** *Jurnal of Marine and Coastal Science.* 1(1): 34-44.

Frank, Lu C. 2006. **Toksikologi Dasar.** Jakarta: UI Press.

Gustina, Dessy. 2012. **Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal.** *Penelitian-penelitian Bidang Komposisi Atmosfer. LAPAN.* 13(3): 95-101.

Handayani, C., M. Mushlih, & J. Lestari. 2018. **Validasi Metode Analisa Kadar Logam Fe pada Rambut Masyarakat di Sekitar Kawasan Industri Semen. Jurnal Katalisator.** III(1): 36-42.

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.

Harikumar, P.S., K. Prajitha., dan S. Silpa. 2010. **Assessment of Heavy Metal Contamination in the Sediments of a River Draining into a Ramsar Site in the Indian Subcontinent.** India: Water Quality Division, Centre for Water Resources Development and Management.

Harun, N.H., Tuah, P.M., Yusof M.Y. 2008. **Distribution of Heavy Metals in *Monochoria hastata* and *Eichornia crassipes* in Natural Habitats.** Malaysia: Environment Science Programme School of Science and Technology. Universitas of Malaysia.

- Hayati dan Dewi. 2009. **Diktat Praktikum Kimia Instrumen**. Malang: Laboratorium UIN Malang.
- Henderson, R.G., Durando, J., Oller, A.R., Oller, A.R., Merkel, D.J., Marone, P.A dan Bates, H.K. 2012. **Acute Oral Toxicity of Nickel Compounds**. Regul. Toxicol. Pharm. 62: 425-432.
- Indrawati, Titik. 2015. **Penurunan Kadar Cr(VI) pada Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Serbuk Besi Limbah Industri Elektroplating**. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Istarani, Festri., Ellina S. Pandebesie. 2014. **Studi Dampak Arsen (as) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan**. Jurnal Teknik POMITS. 3(1): 53-58.
- J. Kruopiene. 2007. **Distribution of Heavy Metals in Sediment of the Nemunas River (Lithuania)**. Polish Journal of Environment Studies Vol. 6.
- Jana, Raudatun. 2021.
- Jennings, Thomas C. 2005. **Cadmium Environmental Concerns**. Germany: Hanser Verlag.
- Kamble, Rahul K., *et al.* 2013. **Iron in the Environment**. Indian Journal of Environment Protection. 33(11): 881-888.
- Karl, K dan Karl Hans Wedepohl. 1961. **Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust**. Germany: Dept. Geology, Yale University.
- Kartiko, Hendro. 2019. **Estimasi Sumber Pencemar dan Beban Pencemar Sungai Winongo (Sub DAS Bagian Barat-Hilir)**. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Khopkar, S.M. 2008. **Konsep Dasar Kimia Analitik**. Jakarta: UI Press.
- Kristianingrum, Susila. 2012. **Kajian Berbagai Proses Destruksi Sampel dan Efeknya**. Yogyakarta: UNY.

- Kundari, N. A dan Wiyuniati, S. 2008. **Tinjauan Keseimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB Dengan Zeolit**. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN.
- La Goa, Yusnita., Umar Rusli Marasabessy dan Hendrik Pristianto. 2016. **Modul Praktikum Pengelolaan Kualitas Air**. Sorong: Universitas Muhammadiyah Sorong.
- Lavinia, B., Florina, R., Augustin, C. 2018. **Is it possible a nickel-free diet?** Romania: Marisiensis
- Lestari, Wahyu Fajer. 2015. **Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) pada Teripang Terung (Phyllophorus sp.) Asal Pantai Kenjeran Surabaya Secara Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)**. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Malang.
- Liza, Hamairoh. 2014. **Penerapan Metode Elektrokoagulasi Dalam Penjernihan Air Sungai Musi Menggunakan Elektroda Aluminium**. Palembang: POLSRI.
- Lu, Li-Teh., *et al.* 2007. **Identifiacion of Pollution Source of Cadmium in Soil**. Environmental Science Pollution Research. 14(1): 49-59.
- Mahardika, Dwiki Irvan., dan Indah Rachmatiah S.S. 2012. **Profil Distribusi Pencemaran Logam Berat Pada Air dan Sedimen Aliran Sungai dari Air Lindi TPA Sari Mukti**. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Miarastika, Nurul dan R. Azizah. 2015. **Hubungan Paparan Nikel dengan Gangguan Kesehatan Kulit pada Pekerja Industri Rumah Tangga Pelapisan Logam di Kabupaten Sidoarjo**. Surabaya: UNAIR.
- Misno, *et al.* 2014. **Kajian Penyebaran Logam Berat Mangan (Mn) dan Timbal (Pb) pada Air Tanah Bebas di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah di Batu Layang Pontianak**. Pontianak: UNTAN.

- Mulyaningsih, Th. Rina., Siti Suprpti. 2014. **Penaksiran Kontaminasi Logam Berat dan Kualitas Sedimen Sungai Cimadur, Banten.** Jurnal Iptek Nuklir Ganendra. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju. BATAN. 18(1): 11-21
- Nadeak, Erpina S.M., Novian Aldo dan Hevi Horiza. 2015. **Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Limbah Cair Bengkel Kendaraan Bermotor di Kota Tanjungpinang Tahun 2014.** Jurnal Poltekkes Jambi. 13(3): 181-189.
- Nicola, Fendra. 20215. **Hubungan Antara Konduktivitas, TDS (*Total Dissolved Solid*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) dengan Kadar Fe^{2+} dan Fe Total pada Air Sumur Galian.** Jember: Universitas Jember.
- Pangestu, H., dan Haki, H. 2013. **Analisis Angkutan Sedimen Total pada Sungai Dawas Kabupaten Musi Banyuasin.** Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. 1(1): 103-109.
- Palar, H. 2004. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat.** Jakarta: Rineka Cipta.
- Palar, H. 2005. **Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat.** Jakarta: Rineka Cipta.
- Palar, H. 2012. **Pencemaran dan Toksisistas Logam Berat.** Jakarta: Rineka Cipta.
- Pamekasari, Veronica Erni. 2016. **Efektivitas Bungkil Biji Jarak Pagar Dalam Menurunkan Logam Berat Tembaga.** Yogyakarta: UAJY.
- Pekey, H. 2006. **Heavy Metals Pollution Assessment in Sediments of the Izmit Bay, Turkey.** Environmental Monitoring and Assessment, 123: 219-231.
- Permana, Dhanny Indra., dan M. Widyastuti. 2012. **Studi Perubahan Kualitas Air Sungai Winongo Tahun 2003 dan 2013.** Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Permanawati, Yani., Rina Zuraida., dan Andrian Ibrahim. 2013. **Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) Dalam Air dan Sedimen di Perairan Teluk Jakarta.** Bandung: Puslitbang Geologi Kelautan.

- Prawita, A., Murnitasari, D., dan Darmawati, A. 2008. **Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) dalam Air Kali Wonokromo, Surabaya.** Surabaya: Universitas Airlangga.
- Primawati, Fissa Septy. 2016. **Sistem Penjernihan Air Groundtalk LPPMP UNY Sebagai Air Minum Dengan Memanfaatkan Karbon Aktif Batok Kelapa, Pasir Aktif Pantai Indrayanti, dan Kerikir Aktif Kali Krasak.** *Universitas Negeri Yogyakarta*. 5(3): 169-178.
- Putri, M. R. A., *et al.* 2016. **Kematian Massal Ikan dan Sebaran Parameter Kualitas Air di Teluk Jakarta.** Jakarta. BAWAL. 8(2): 77-90
- Rahayu, Subekti., Widodo Rudy Harto., Noordwijk Meine., Suryadi Indra dan Verbist Bruno. 2009. **Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai.** Bogor: World Agroforestry Centre-Southeast Asia Regional Office.
- Rinawati., Diki Hidayat, R. Suprianto, Putri Sari Dewi. 2016. **Penentuan Kandungan Zat Padatan (*Total Dissolved Solid dan Total Suspended Solid*) di Perairan Teluk Lampung.** Lampung: Universitas Lampung.
- Rollin, Halina. 2011. **Encyclopedia of Environmental Health. Chapter: Manganese: Environmental Pollution and Health Effects.** South Africa: Burlington, Elsevier.
- Sarjono, Aryono. 2009. **Analisis Kandungan Logam Cd, Pb, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara Jakarta Utara.** Bogor: IPB.
- Sasmito, Dindi. E.C., *et al.* 2015. **Kualitas Visual Koridor Sungai Winongo Berdasarkan Karakter Visual Elemen Fisik Kawasan.** Yogyakarta: UGM.
- SENSOREX. 2021. **ORP Measurement.** USA: A Halma Company.
- Shanker, AK dan B Venkateswarlu. **Chromium: Environmental Pollution, Health Effects and Mode of Action.** India: CRIDA.
- Singh, Rajender. 2006. **Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology.** New Delhi: New Age International.

- 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.
- Smith, D.B., Zielinski, R.A., Taylor, H.E., dan Sawyer, M.B. 1983. **Leaching Character of Ash From May 18, 1980, Eruption of Mount St. Helens Volcano.** Washington: Bulletin of Volcanology. (46): 103-124.
- Sudarmaji, dkk., 2006. **Toksisitas Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Lingkungan.** Subaraya: UNAIR.
- Sugiharto. 2008. **Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah.** Jakarta: UI Pres.
- Sukandarrumidi. 2009. **Memahami Pengelolaan Bahan Tambang di Indonesia.** Yogyakarta: Yayasan Pustaka Nisantama.
- Sukoasih, Ami., Teguh Widiyanto dan Suparmin. 2016. **Hubungan Antara Suhu, pH dan Berbagai Variasi Jarak dengan Kadar Timbal (Pb) pada Badan Air Sungai Rompang dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016.** Jurnal Kesehatan. (360-368). Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang. Semarang.
- Sukirno., Bambang Irianto., Sri Murniasih. 2007. **Evaluasi Logam Dalam Air dan Sedimen Sungai Code Dengan Teknik AAN (Tahap 2).** Yogyakarta: Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN.
- Suprihatin, H. 2014. **Kalilo River Pollution due to Limited Land Settlement and Human Behavior along the Kalilo Riverbanks.** Journal of Degraded and Mining Lands Management Volume 1, Number 3.
- Susantoro, Tri Muji., Djoko Sunarjanto., dan Ariani Andayani. 2015. **Distribusi Logam Berat Pada Sedimen di Perairan Muara dan Laut Provinsi Jambi.** Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi. Jurnal Kelautan Nasional. Vol. 1. No. 1.

- Tri Joko. 2010. **Unit Produksi dalam Sistem Penyediaan Air Minum.** Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tumanggor, Ersauli. 2017. **Analisa Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) pada Air Baku dan Air Reservoir dengan Metode Kolorimetri pada Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal.** Medan: USU.
- Usman, Kurnia Oktavia. 2014. **Analisis Sediementasi pada Muara Sungai Komering Kota Palembang.** Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. 2(2): 209-215. Sumatera Selatan.
- Vasiluk, L., Sowa, J., Sanborn, P., Ford, F., Dutton, M.D., dan Hale, B. 2019. **Bioaccessibility Estimates by Gastric SBRC Method to Determine Relationships to Bioavailability of Nickel in Ultramafic Soils.** Sci. Total Environ. 673: 685–693.
- Wahyuni, Endang Tri., Sugeng Triyono, dan Suherman. 2012. **Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik dari Erupsi Gunung Merapi.** Jurnal Manusia dan Lingkungan. 19(2): 150-159. Yogyakarta.
- Weber, Scannell., *et al.* 2007. Effects of Total Dissolved Solid on Aquatic Organism: A Review of Literature and Recommendation for Salmonid Species. United States of **American Journal of Environment Sciences.** 3(1): 1-6.
- Wibowo, Mardi dan Reno Arief Rachman. 2020. Kajian Kualitas Perairan Laut Sekitar Muara Sungai Jetilik Kecamatan Sungailiat Kabupaten Bangka. Yogyakarta. Balai Teknologi Infrastruktur dan Dinamika Pantai. **Jurnal Presipitasi.** 17(1): 29-37.
- Widowati, Wahyu., Astiana Sastiono dan Raymond Jusuf. 2008. **Efek Toksik Logam.** Yogyakarta: Andi Offset
- WHO. 1987. **IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: Report of the**

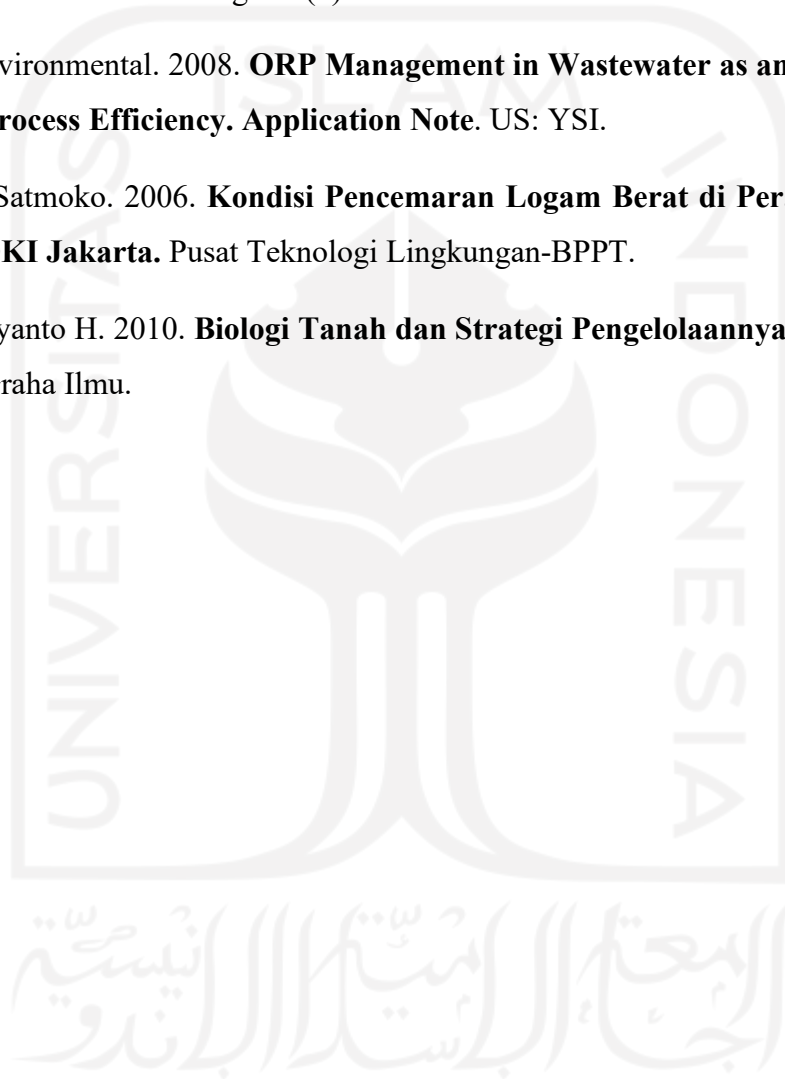
seventeenth session. Reports and Studies No.31. Geneva, Switzerland:
World Health Organization.

Yang, X., dkk. 2005. **Molecular Mechanisms of Heavy Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation.** Journal of Trace Elements in Medicine and Biologi. 18(4): 339-353.

YSI Environmental. 2008. **ORP Management in Wastewater as an Indicator of Process Efficiency.** Application Note. US: YSI.

Yudo, Satmoko. 2006. **Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta.** Pusat Teknologi Lingkungan-BPPT.

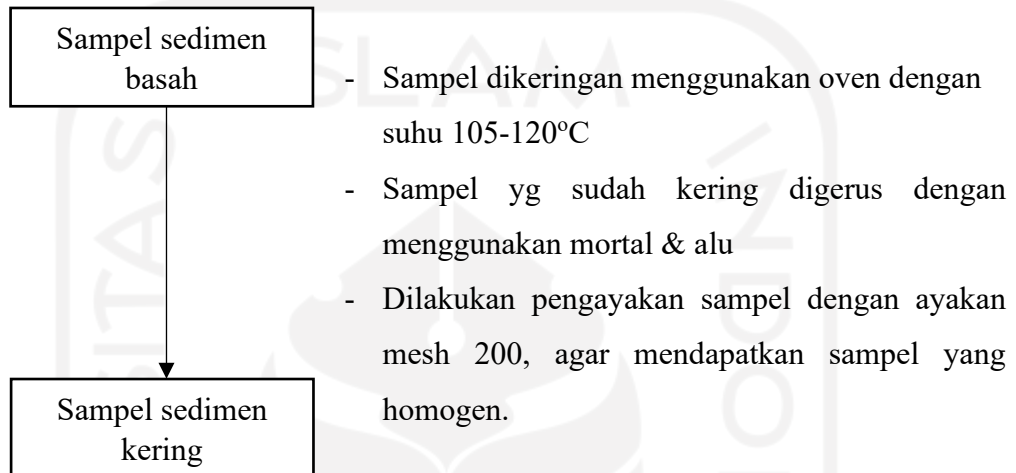
Yulipriyanto H. 2010. **Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya.** Yogyakarta: Graha Ilmu.



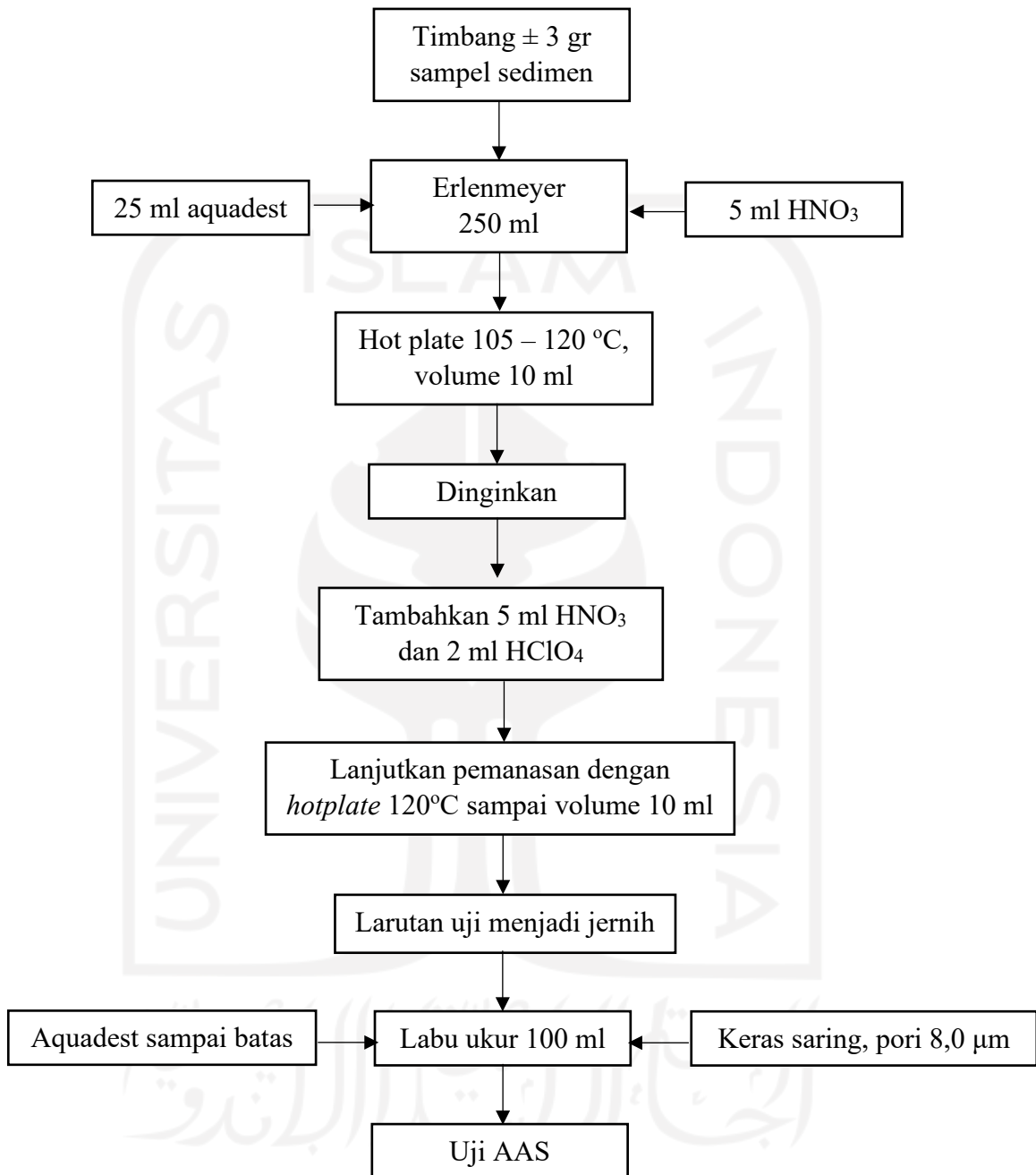
LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Pengerjaan Tugas Akhir

1. Pre-treatment Sampel



2. Preparasi Sampel



Lampiran 2. Berat Sampel Uji

Lokasi Sampling	Berat Sampel (gram)		
	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3
1	3,0162	3,0170	3,0109
2	3,1011	3,0224	3,0132
3	3,0189	3,0554	3,0266
4	3,1223	3,0268	3,0024
5	3,0067	3,0090	3,0074
6	3,0062	3,0387	3,0142
7	3,0331	3,0125	3,0194
8	3,0013	3,0197	3,0913
9	3,0552	3,1466	3,0290
10	3,0143	3,0061	3,0014
11	3,0043	3,0051	3,0723
12	3,0492	3,0006	3,0008

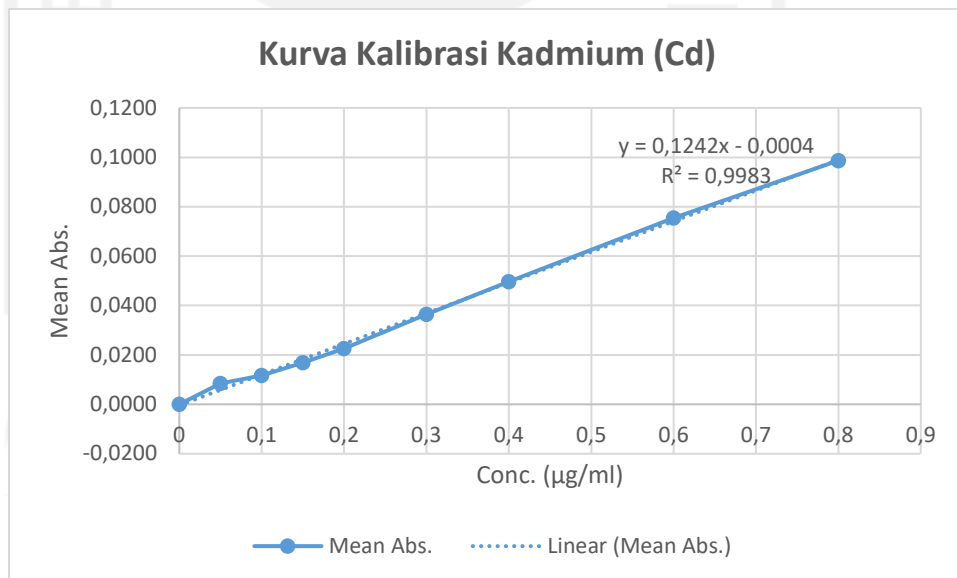
Lampiran 3. Data Penelitian Larutan Standar dan Konsentrasi Logam Berat Hasi Uji AAS

a. Sampling 1

1. Logam Cd

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0084
Standard 2	0,100	0,0117
Standard 3	0,150	0,0168
Standard 4	0,200	0,0225
Standard 5	0,300	0,0364
Standard 6	0,400	0,0496
Standard 7	0,600	0,0754
Standard 8	0,800	0,0987



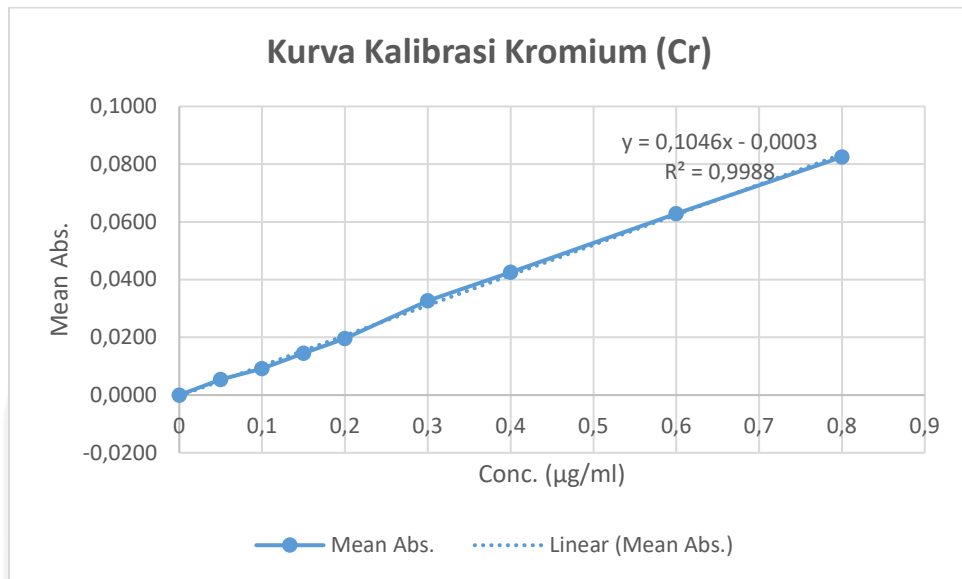
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,120	3,61	0,0144
2	0,100	8,27	0,0119
3	0,080	2,66	0,0095
4	0,880	2,21	0,0104
5	0,085	4,36	0,0100
6	0,129	2,67	0,0156
7	0,079	6,54	0,0093
8	0,071	5,39	0,0084
9	0,098	3,23	0,0117
10	0,111	4,93	0,0133
11	0,126	4,78	0,0151
12	0,025	HIGH	0,0026

2. Logam Cr

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0054
Standard 2	0,100	0,0092
Standard 3	0,150	0,0145
Standard 4	0,200	0,0196
Standard 5	0,300	0,0327
Standard 6	0,400	0,0426
Standard 7	0,600	0,0629
Standard 8	0,800	0,0825



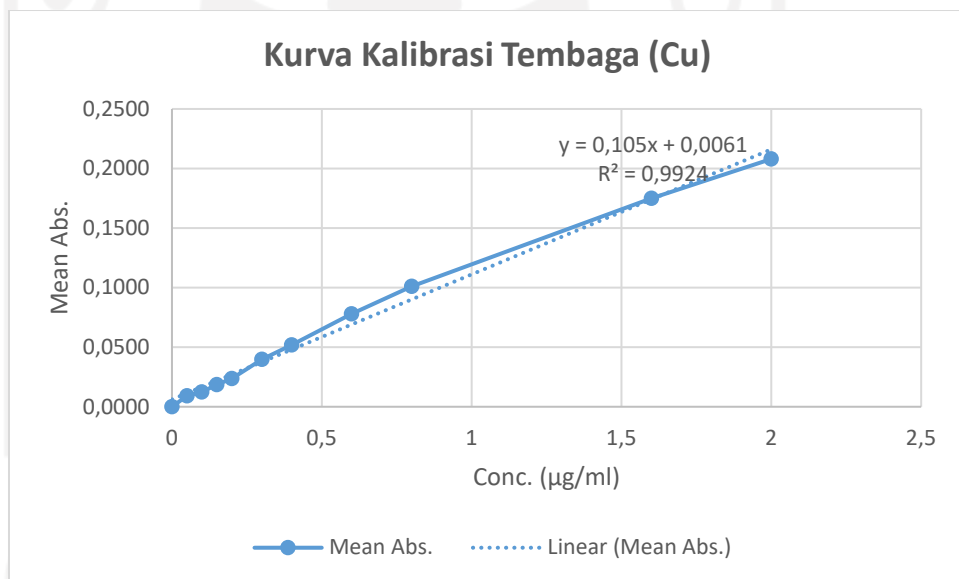
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,114	1,71	0,0115
2	0,190	3,27	0,0192
3	0,068	9,19	0,0068
4	0,095	5,20	0,0096
5	0,099	4,37	0,0100
6	0,145	3,39	0,0146
7	0,052	5,49	0,0052
8	0,045	13,09	0,0045
9	0,097	4,75	0,0098
10	0,115	3,27	0,0116
11	0,129	1,70	0,0130
12	0,011	18,67	0,0011

3. Logam Cu

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0093
Standard 2	0,100	0,0125
Standard 3	0,150	0,0186
Standard 4	0,200	0,0238
Standard 5	0,300	0,0397
Standard 6	0,400	0,0519
Standard 7	0,600	0,0781
Standard 8	0,800	0,1012
Standard 9	1,600	0,1750
Standard 10	2,000	0,2080



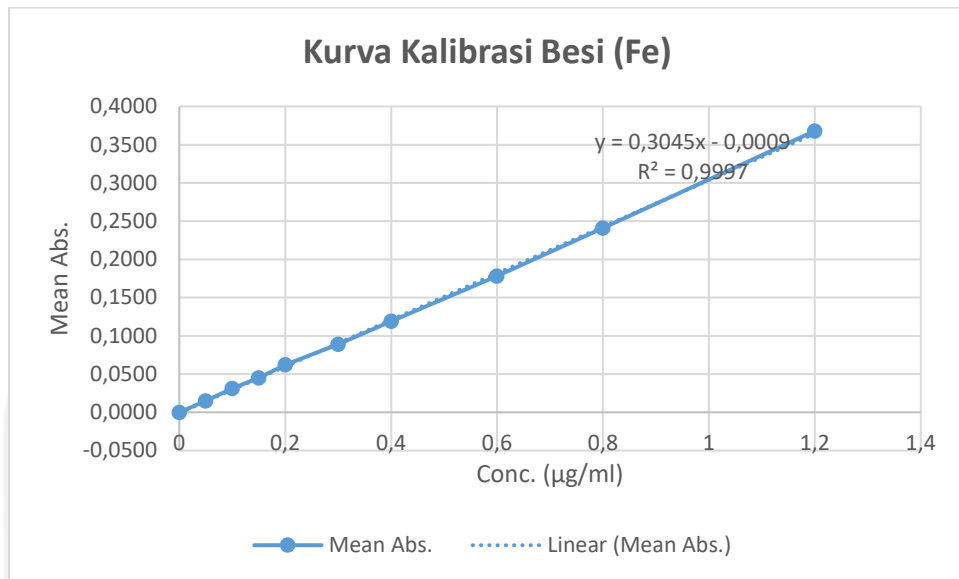
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	2,116	0,17	0,2156
2	0,933	0,91	0,1129
3	High	0,58	0,3603
4	1,397	0,68	0,1574
5	0,931	0,66	0,1127
6	High	0,71	0,3427
7	0,74	0,8	0,0924
8	0,455	0,32	0,0596
9	High	0,39	0,2249
10	1,01	0,67	0,1207
11	1,886	0,42	0,1982
12	0,228	0,68	0,0311

4. Logam Fe

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0150
Standard 2	0,100	0,0310
Standard 3	0,150	0,0450
Standard 4	0,200	0,0620
Standard 5	0,300	0,0890
Standard 6	0,400	0,1190
Standard 7	0,600	0,1780
Standard 8	0,800	0,2410
Standard 9	1,200	0,3680



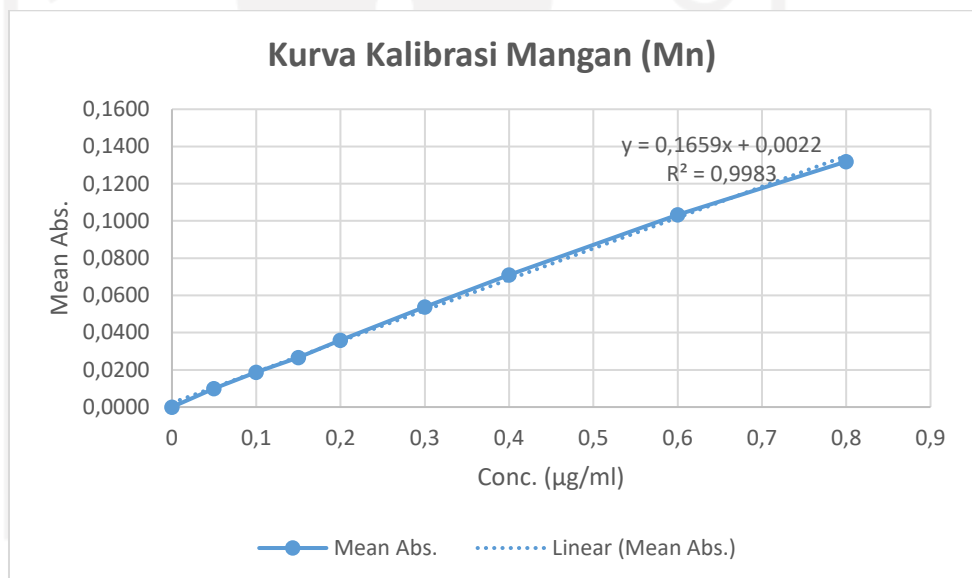
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,053	5,67	0,0160
2	0,051	1,67	0,0153
3	0,043	6,19	0,0129
4	0,060	5,10	0,0180
5	0,051	11,55	0,0154
6	0,088	4,92	0,0266
7	0,047	5,73	0,0142
8	0,043	10,10	0,0131
9	0,066	7,36	0,0200
10	0,060	0,92	0,0181
11	0,096	3,93	0,0289
12	0,048	2,02	0,0146

5. Logam Mn

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0100
Standard 2	0,100	0,0188
Standard 3	0,150	0,0267
Standard 4	0,200	0,0360
Standard 5	0,300	0,0538
Standard 6	0,400	0,0710
Standard 7	0,600	0,1034
Standard 8	0,800	0,1319



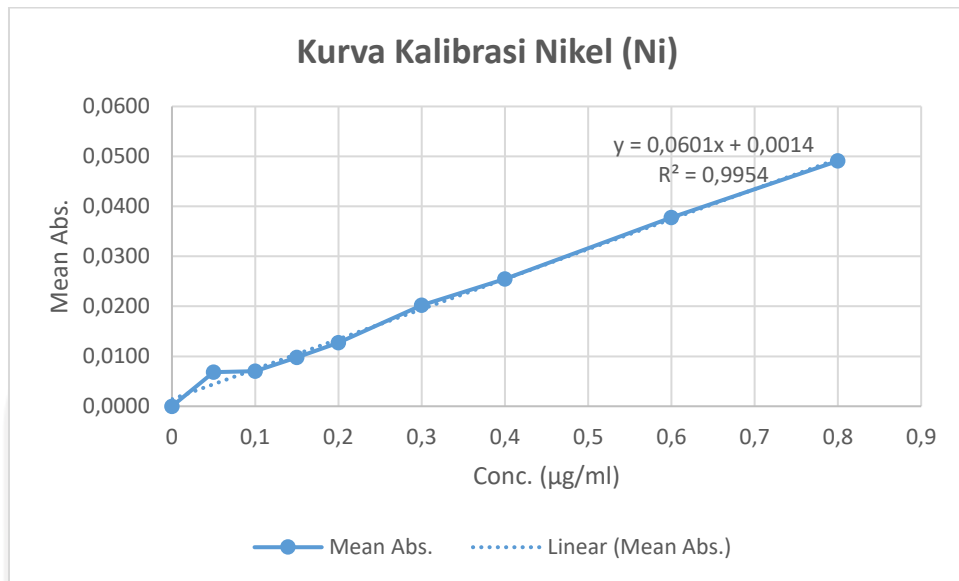
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,072	10,47	0,0137
2	0,096	6,57	0,0181
3	0,073	6,53	0,0137
4	0,048	3,88	0,0091
5	0,104	3,79	0,0195
6	0,094	4,63	0,0178
7	0,042	2,07	0,0081
8	0,044	2,32	0,0083
9	0,050	1,81	0,0096
10	0,083	4,75	0,0157
11	0,127	3,21	0,0237
12	0,049	3,90	0,0092

6. Logam Ni

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0068
Standard 2	0,100	0,0070
Standard 3	0,150	0,0098
Standard 4	0,200	0,0127
Standard 5	0,300	0,0202
Standard 6	0,400	0,0255
Standard 7	0,600	0,0378
Standard 8	0,800	0,0491



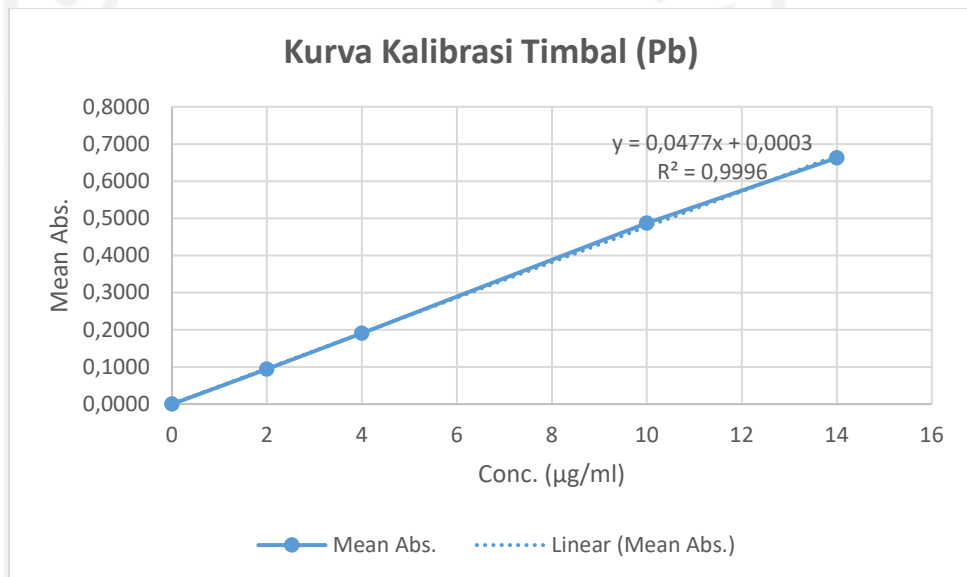
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,131	12,04	0,0107
2	0,125	3,1	0,0102
3	0,098	10,41	0,0081
4	0,129	8,03	0,0105
5	0,119	6,46	0,0097
6	0,196	1,84	0,0153
7	0,088	10,03	0,0073
8	0,067	10,71	0,0073
9	0,142	7,33	0,0114
10	0,13	6,52	0,0106
11	0,173	1,75	0,0137
12	0,032	10,22	0,0028

7. Logam Pb

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	2,00000	0,0937
Standard 2	4,00000	0,1904
Standard 3	10,00000	0,4867
Standard 4	14,00000	0,6626



- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,80743	2,82	0,0390
2	0,47838	2,20	0,0233
3	1,04706	1,39	0,0505
4	0,57898	1,25	0,0281
5	0,68447	9,41	0,0332
6	0,98977	1,60	0,0477
7	0,37499	6,25	0,0184
8	0,37778	3,90	0,0185
9	0,52798	0,81	0,0257
10	1,46832	1,07	0,0706
11	1,13019	0,59	0,0544
12	0,37971	4,67	0,0150

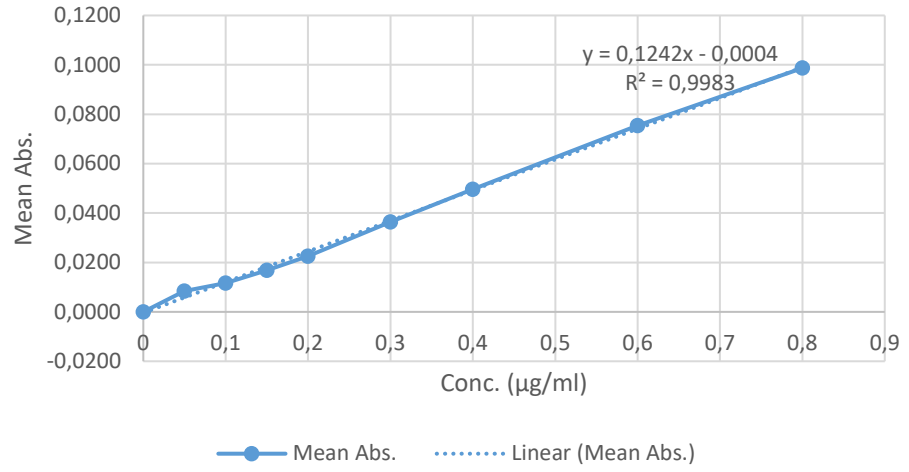
b. Sampling 2

1. Logam Cd

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0084
Standard 2	0,100	0,0117
Standard 3	0,150	0,0168
Standard 4	0,200	0,0225
Standard 5	0,300	0,0364
Standard 6	0,400	0,0496
Standard 7	0,600	0,0754
Standard 8	0,800	0,0987

Kurva Kalibrasi Kadmium (Cd)



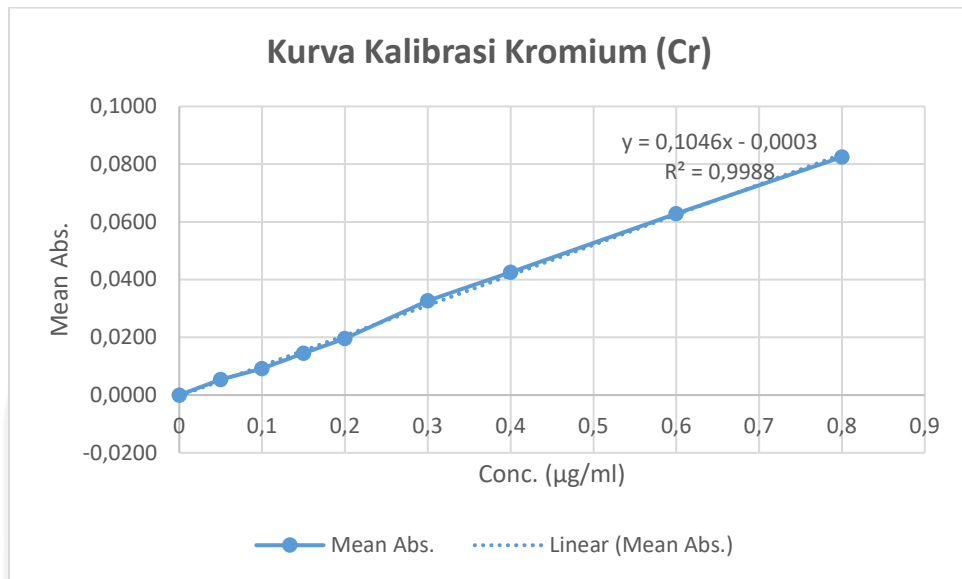
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,070	8,15	0,0082
2	0,066	6,81	0,0076
3	0,057	1,76	0,0066
4	0,098	4,4	0,0117
5	0,100	1,28	0,012
6	0,081	15,45	0,0095
7	0,055	4,8	0,0064
8	0,077	3,39	0,009
9	0,066	8,88	0,0077
10	0,092	1,41	0,0109
11	0,076	2,96	0,0089
12	0,052	7,35	0,0059

2. Logam Cr

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0054
Standard 2	0,100	0,0092
Standard 3	0,150	0,0145
Standard 4	0,200	0,0196
Standard 5	0,300	0,0327
Standard 6	0,400	0,0426
Standard 7	0,600	0,0629
Standard 8	0,800	0,0825



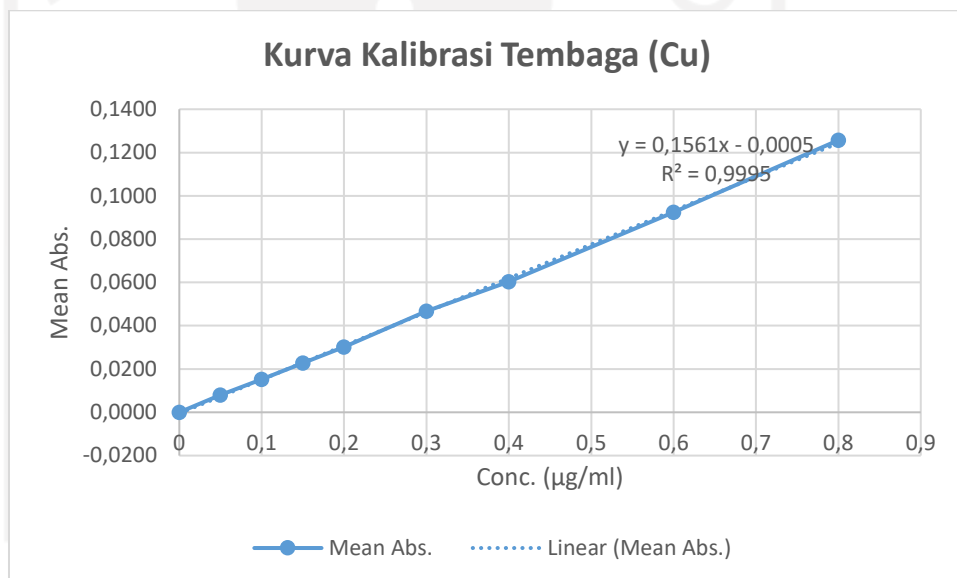
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	Mean Abs
1	0,098	0,0098
2	0,108	0,0108
3	0,4	0,0411
4	0,235	0,0238
5	0,146	0,0147
6	0,285	0,0291
7	High	0,0023
8	0,145	0,0146
9	0,118	0,0119
10	0,187	0,0189
11	0,128	0,0129
12	0,105	0,0106

3. Logam Cu

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,008
Standard 2	0,100	0,0153
Standard 3	0,150	0,0227
Standard 4	0,200	0,0302
Standard 5	0,300	0,0468
Standard 6	0,400	0,0603
Standard 7	0,600	0,0924
Standard 8	0,800	0,1257



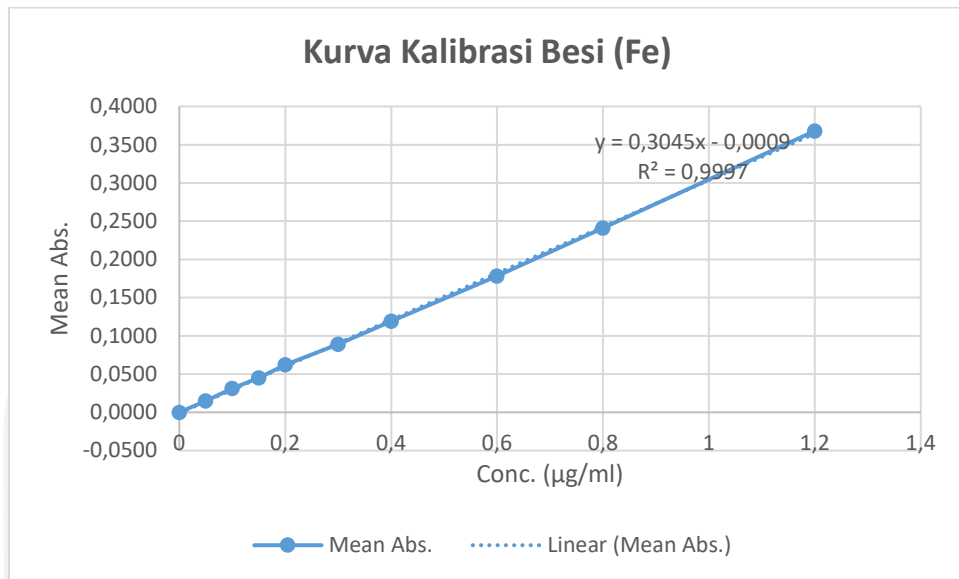
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,842	0,17	0,1304
2	0,466	0,37	0,0719
3	High	0,27	0,1407
4	High	0,6	0,2187
5	0,842	0,19	0,1304
6	0,738	0,55	0,1142
7	0,863	0,95	0,1336
8	0,761	0,34	0,1177
9	0,586	0,34	0,0906
10	High	0,17	0,1637
11	0,694	0,08	0,1074
12	High	0,96	0,1374

4. Logam Fe

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0150
Standard 2	0,100	0,0310
Standard 3	0,150	0,0450
Standard 4	0,200	0,0620
Standard 5	0,300	0,0890
Standard 6	0,400	0,1190
Standard 7	0,600	0,1780
Standard 8	0,800	0,2410
Standard 9	1,200	0,3680



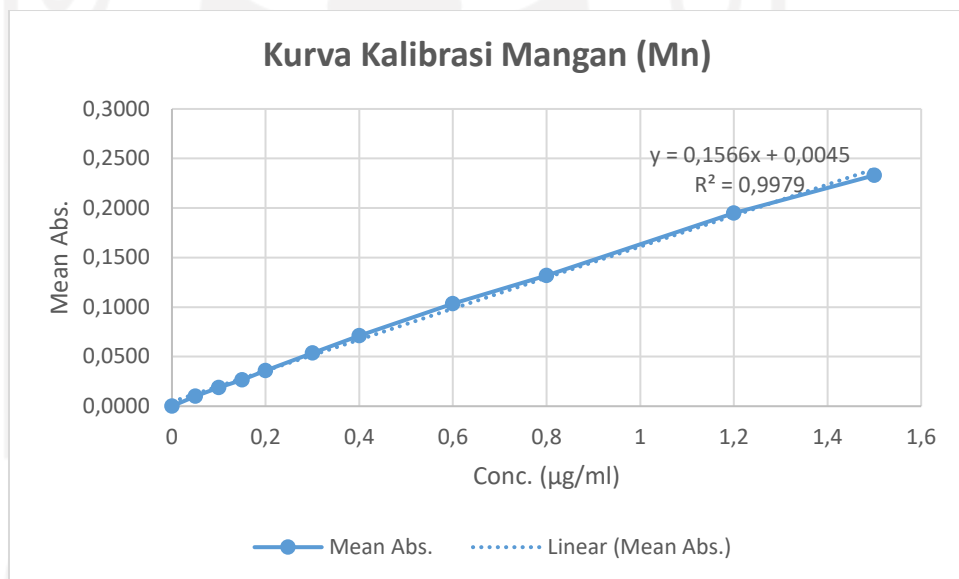
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,081	5,04	0,0244
2	0,068	8,35	0,0205
3	0,047	8,96	0,0142
4	0,085	0,51	0,0256
5	0,098	0,70	0,0295
6	0,079	4,42	0,0238
7	0,050	5,52	0,0152
8	0,069	5,49	0,0209
9	0,067	4,04	0,0203
10	0,064	5,83	0,0194
11	0,067	2,08	0,0202
12	0,045	18,28	0,0136

5. Logam Mn

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0100
Standard 2	0,100	0,0188
Standard 3	0,150	0,0267
Standard 4	0,200	0,0360
Standard 5	0,300	0,0538
Standard 6	0,400	0,0710
Standard 7	0,600	0,1034
Standard 8	0,800	0,1319
Standard 9	1,200	0,1950
Standard 10	1,500	0,2330

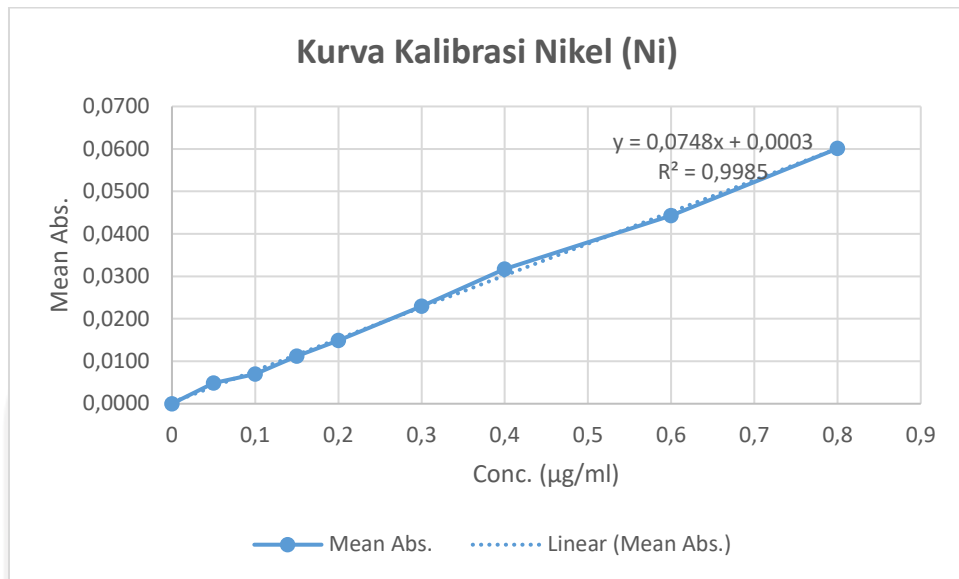


- Hasil Uji AAS

6. Logam Ni

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0049
Standard 2	0,100	0,0070
Standard 3	0,150	0,0112
Standard 4	0,200	0,0149
Standard 5	0,300	0,023
Standard 6	0,400	0,0317
Standard 7	0,600	0,0443
Standard 8	0,800	0,0601



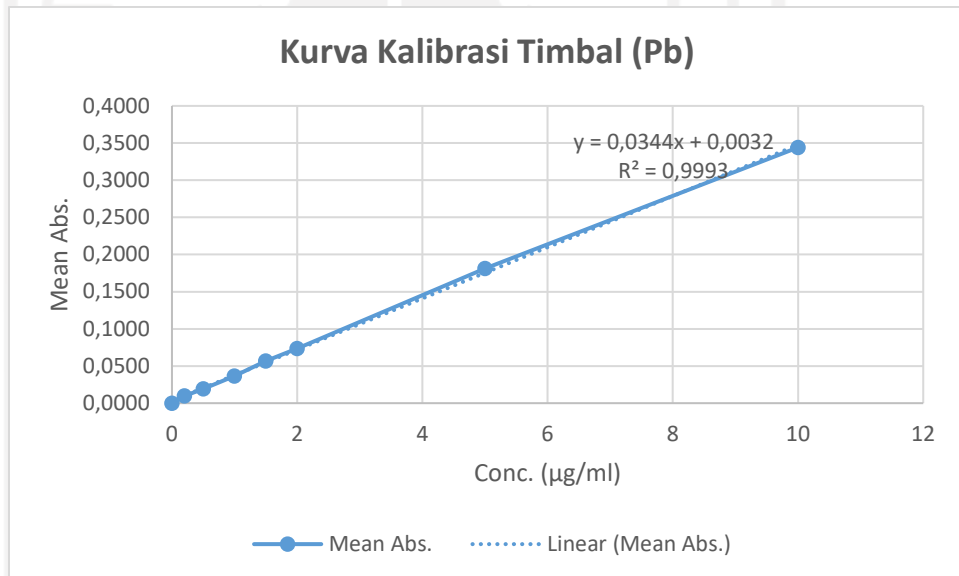
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,049	15,45	0,0004
2	0,087	9,99	0,007
3	0,065	High	0,0052
4	0,142	15,01	0,0113
5	0,114	7,30	0,0091
6	0,055	High	0,0044
7	0,072	3,98	0,0058
8	0,024	13,67	0,0019
9	0,002	High	0,0001
10	0,063	6,00	0,0051
11	0,020	8,75	0,0016
12	0,000	High	-0,0001

7. Logam Pb

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,20000	0,0096
Standard 2	0,50000	0,0191
Standard 3	1,00000	0,0366
Standard 4	1,50000	0,0567
Standard 5	2,00000	0,0737
Standard 6	5,00000	0,1814
Standard 7	10,00000	0,3441



- Hasil Uji AAS

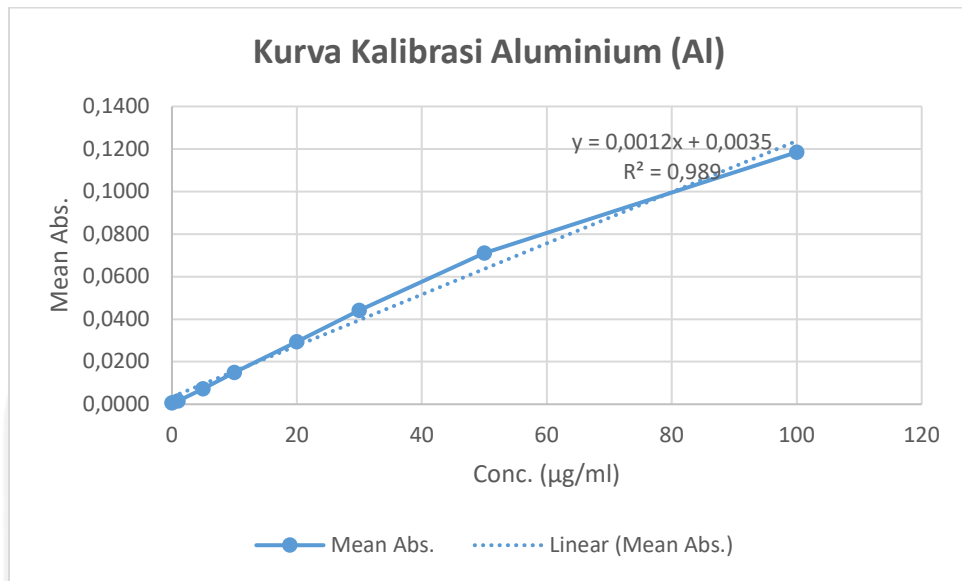
Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,50565	02.16	0,0214
2	0,56783	2,34	0,0235
3	1,04585	3,13	0,0399
4	1,31595	3,92	0,0492
5	1,53553	1,03	0,0567
6	1,43157	4,08	0,0531
7	0,9827	2,36	0,0377
8	1,01379	2,84	0,0388
9	0,86999	6,36	0,0339
10	0,90206	1,08	0,0350
11	0,85056	7,69	0,0332
12	0,75146	1,59	0,0298

c. Sampling 3

1. Logam Al

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0007
Standard 1	1,000	0,0016
Standard 2	5,000	0,0073
Standard 3	10,000	0,0149
Standard 4	20,000	0,0294
Standard 5	30,000	0,0441
Standard 6	50,000	0,0711
Standard 7	100,000	0,1185



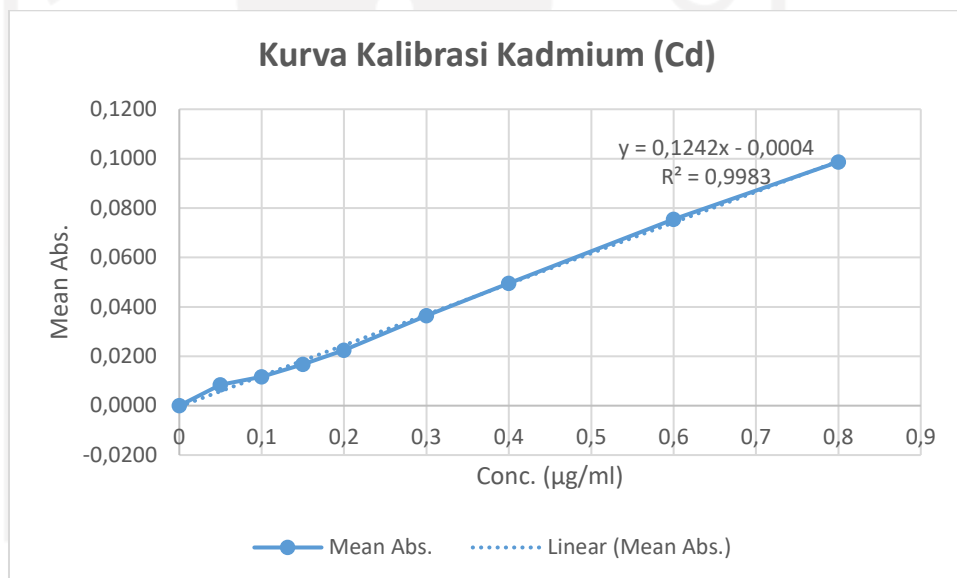
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	Mean Abs
1	64,75	0,0813
2	60,98	0,0768
3	49,89	0,0634
4	45,09	0,0577
5	56,38	0,0712
6	50,16	0,0638
7	43,48	0,0557
8	51,63	0,0655
9	45,62	0,0583
10	46,48	0,0593
11	46,03	0,0588
12	39,57	0,0510

2. Logam Cd

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0084
Standard 2	0,100	0,0117
Standard 3	0,150	0,0168
Standard 4	0,200	0,0225
Standard 5	0,300	0,0364
Standard 6	0,400	0,0496
Standard 7	0,600	0,0754
Standard 8	0,800	0,0987



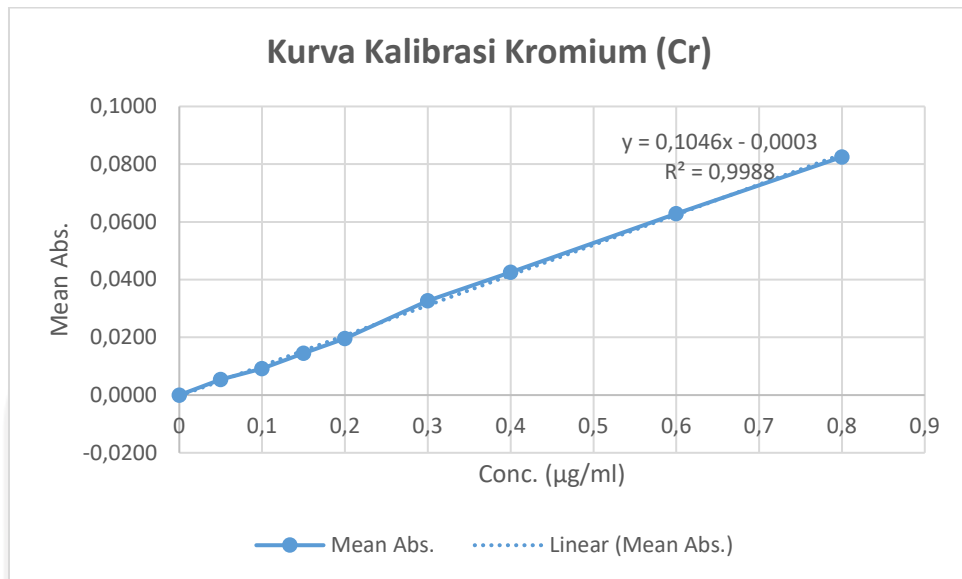
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,043	13,71	0,0049
2	0,039	HIGH	0,0043
3	0,034	19,37	0,0037
4	0,044	HIGH	0,0050
5	0,038	17,88	0,0042
6	0,035	10,39	0,0039
7	0,043	14,95	0,0048
8	0,049	14,99	0,0056
9	0,039	19,83	0,0043
10	0,034	19,98	0,0037
11	0,033	17,35	0,0036
12	0,033	HIGH	0,0036

3. Logam Cr

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0054
Standard 2	0,100	0,0092
Standard 3	0,150	0,0145
Standard 4	0,200	0,0196
Standard 5	0,300	0,0327
Standard 6	0,400	0,0426
Standard 7	0,600	0,0629
Standard 8	0,800	0,0825



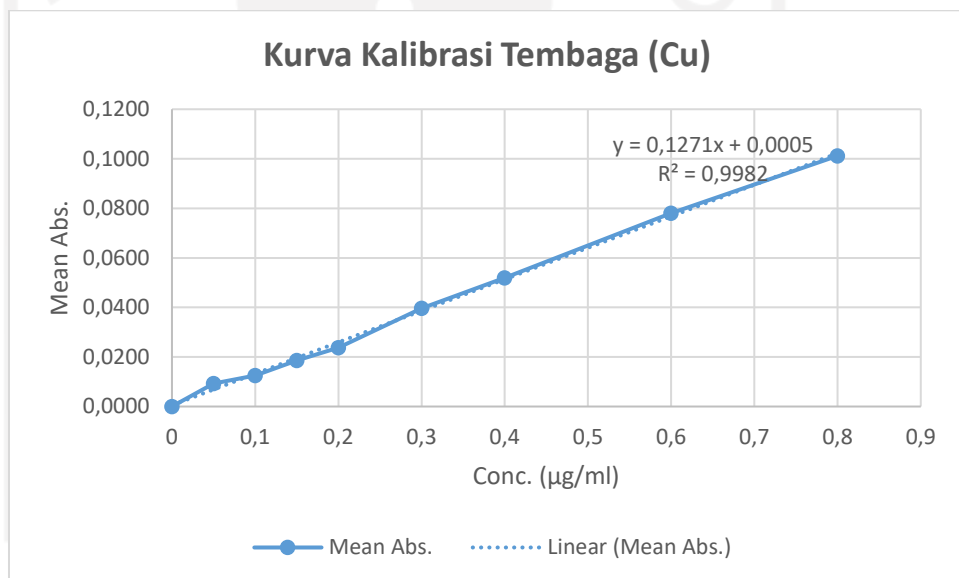
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,020	HIGH	0,0020
2	0,038	5,35	0,0038
3	0,128	1,95	0,0129
4	0,043	10,29	0,0043
5	0,058	7,49	0,0058
6	0,038	4,59	0,0038
7	0,049	6,29	0,0049
8	0,065	7,05	0,0065
9	0,041	2,51	0,0041
10	0,091	4,61	0,0091
11	0,054	16,07	0,0054
12	0,041	10,98	0,0041

4. Logam Cu

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0093
Standard 2	0,100	0,0125
Standard 3	0,150	0,0186
Standard 4	0,200	0,0238
Standard 5	0,300	0,0397
Standard 6	0,400	0,0519
Standard 7	0,600	0,0781
Standard 8	0,800	0,1012



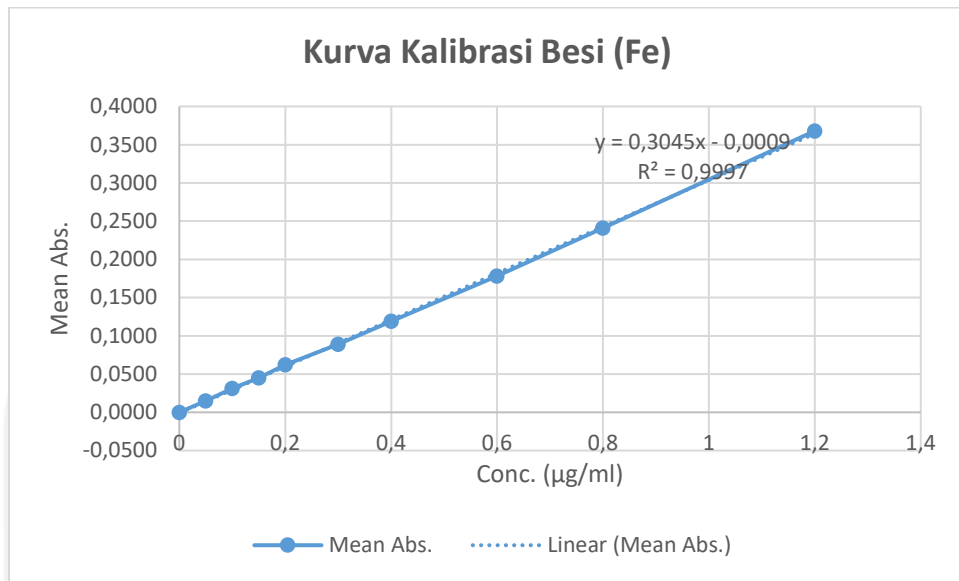
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,263	0,51	0,0356
2	0,190	2,19	0,0261
3	0,543	0,80	0,0698
4	0,555	0,20	0,0711
5	0,406	0,48	0,0536
6	0,326	0,23	0,0436
7	0,461	0,25	0,0601
8	0,568	0,60	0,0726
9	0,244	0,32	0,0331
10	0,572	0,75	0,0731
11	0,430	0,46	0,0564
12	0,297	0,66	0,0400

5. Logam Fe

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0150
Standard 2	0,100	0,0310
Standard 3	0,150	0,0450
Standard 4	0,200	0,0620
Standard 5	0,300	0,0890
Standard 6	0,400	0,1190
Standard 7	0,600	0,1780
Standard 8	0,800	0,2410
Standard 9	1,200	0,3680



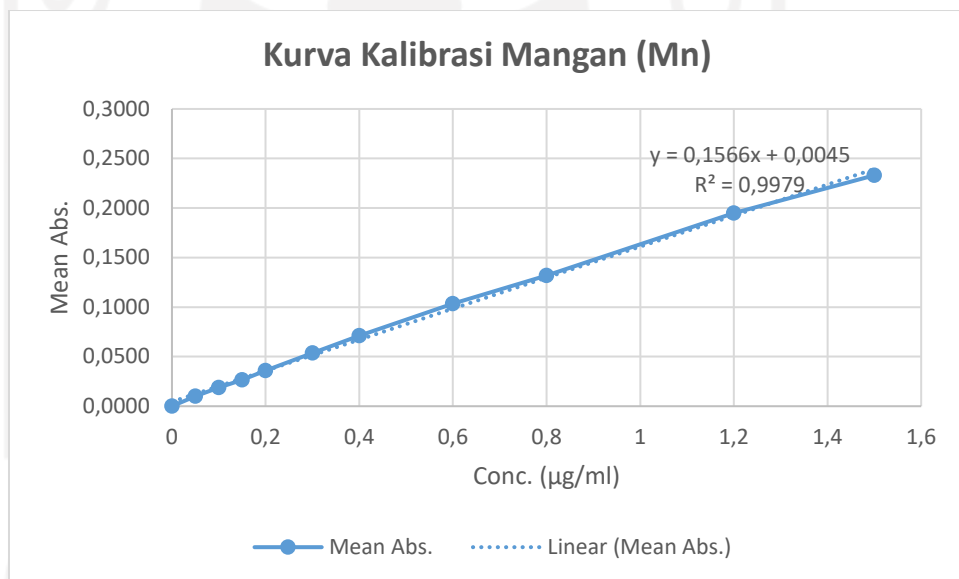
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,049	1,04	0,0149
2	0,071	3,73	0,0215
3	0,053	8,31	0,0159
4	0,056	6,44	0,0168
5	0,052	3,80	0,0157
6	0,062	4,55	0,0187
7	0,049	18,37	0,0149
8	0,076	2,57	0,0230
9	0,069	2,90	0,0208
10	0,057	6,75	0,0173
11	0,061	4,35	0,0184
12	0,060	2,79	0,0181

6. Logam Mn

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0100
Standard 2	0,100	0,0188
Standard 3	0,150	0,0267
Standard 4	0,200	0,0360
Standard 5	0,300	0,0538
Standard 6	0,400	0,0710
Standard 7	0,600	0,1034
Standard 8	0,800	0,1319
Standard 9	1,200	0,1950
Standard 10	1,500	0,2330



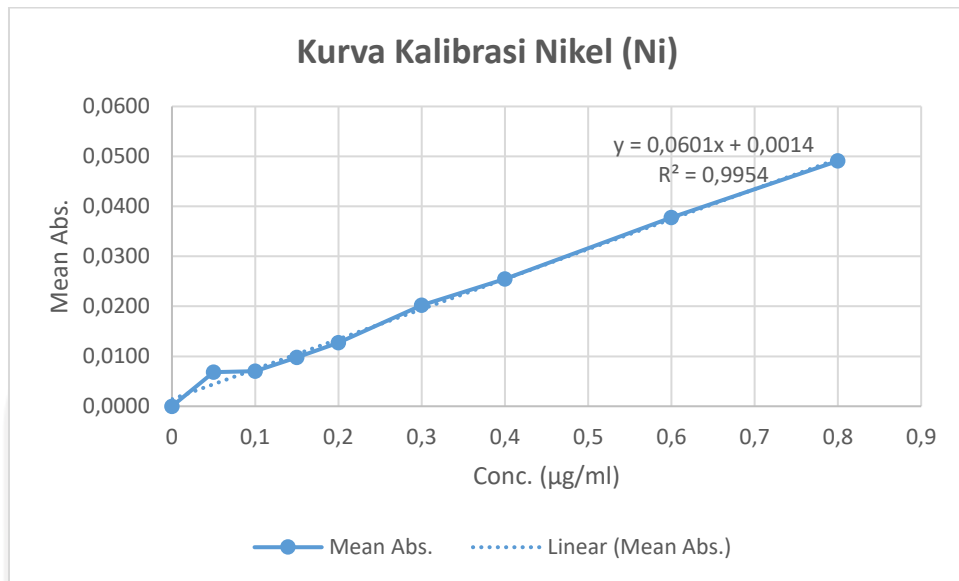
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	Mean Abs
1	0,031	8,40	0,0058
2	0,043	16,50	0,0080
3	0,032	HIGH	0,0060
4	0,019	HIGH	0,0036
5	0,030	11,79	0,0056
6	0,018	HIGH	0,0035
7	0,023	HIGH	0,0044
8	0,045	19,60	0,0085
9	0,019	HIGH	0,0035
10	0,022	HIGH	0,0041
11	0,032	HIGH	0,0060
12	0,034	HIGH	0,0064

7. Logam Ni

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. ($\mu\text{g/ml}$)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,050	0,0068
Standard 2	0,100	0,0070
Standard 3	0,150	0,0098
Standard 4	0,200	0,0127
Standard 5	0,300	0,0202
Standard 6	0,400	0,0255
Standard 7	0,600	0,0378
Standard 8	0,800	0,0491



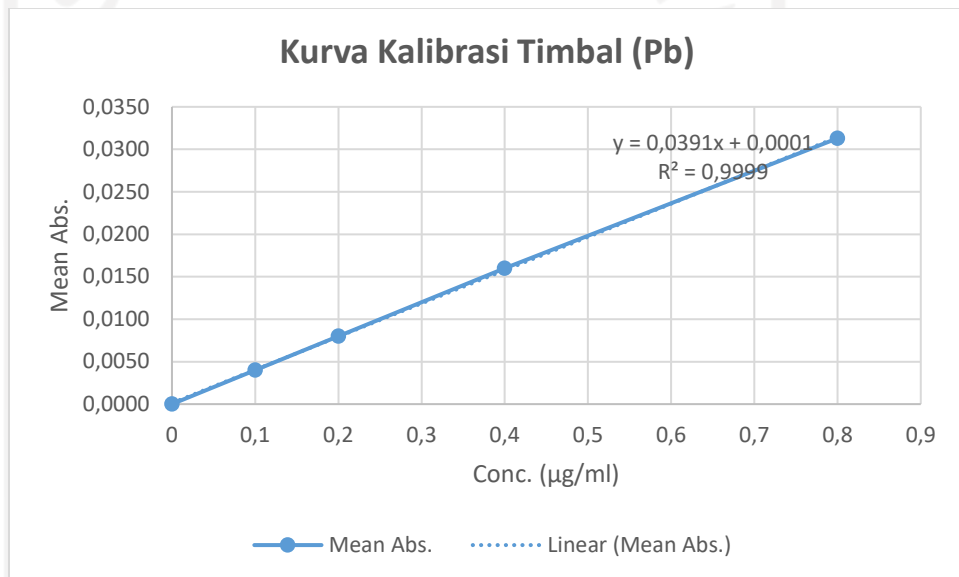
- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,044	4,98	0,0038
2	0,059	6,16	0,0050
3	0,058	9,07	0,0049
4	0,043	12,91	0,0037
5	0,047	15,62	0,0040
6	0,046	13,07	0,0040
7	0,062	8,14	0,0053
8	0,079	4,44	0,0066
9	0,045	16,45	0,0039
10	0,077	4,99	0,0065
11	0,057	14,68	0,0049
12	0,043	HIGH	0,0037

8. Logam Pb

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Sample Label	Conc. (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0	0,0000
Standard 1	0,10000	0,0040
Standard 2	0,20000	0,0080
Standard 3	0,40000	0,0160
Standard 4	0,80000	0,0313



- Hasil Uji AAS

Lokasi Sampling	Konsentrasi (µg/mL)	%RSD	Mean Abs
1	0,22468	1,7	0,0090
2	0,20926	9,66	0,0084
3	High	2,38	0,0561
4	0,30348	6,13	0,0120
5	0,25808	11,29	0,0103
6	0,26322	7,96	0,0105
7	0,33945	4,3	0,0134
8	0,40798	3,23	0,0161
9	0,23067	16,98	0,0092
10	0,41397	8,36	0,0163
11	0,26836	8,19	0,0107
12	0,27521	19,06	0,0109

UNIVERSITY OF INDONESIA
 الجامعة الإسلامية الأندونيسية

Lampiran 4. Data Perhitungan Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)

Diketahui :

Titik Sampling	Berat sampel (mg)			Berat sampel (kg)		
	S-1	S-2	S-3	S-1	S-2	S-3
1	3,0162	3,0170	3,0109	0,00302	0,00302	0,00301
2	3,1011	3,0224	3,0132	0,00310	0,00302	0,00301
3	3,0189	3,0554	3,0266	0,00302	0,00306	0,00303
4	3,1223	3,0268	3,0024	0,00312	0,00303	0,00300
5	3,0067	3,0090	3,0074	0,00301	0,00301	0,00301
6	3,0062	3,0387	3,0142	0,00301	0,00304	0,00301
7	3,0331	3,0125	3,0194	0,00303	0,00301	0,00302
8	3,0013	3,0197	3,0913	0,00300	0,00302	0,00309
9	3,0552	3,1466	3,0290	0,00306	0,00315	0,00303
10	3,0143	3,0061	3,0014	0,00301	0,00301	0,00300
11	3,0043	3,0051	3,0723	0,00300	0,00301	0,00307
12	3,0492	3,0006	3,0008	0,00305	0,00300	0,00300

- Menentukan konsentrasi nilai x

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

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

y = respons instrumen

a = intersep (*intercept*)

b = kemiringan (*slope*)

- Menentukan konsentrasi logam berat (mg/kg)

$$\text{Conc. (mg/kg)} = \frac{\text{Conc. (\mu g/ml)} \times F_p \times v}{\text{Massa sampel (kg)}}$$

dimana :

F_p = faktor pengenceran

v = volume sampel (0,1 ml/L)

a. 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

b. 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	-0,08	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	-0,18	25,77

c. 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	-19,14	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	-21,19	1,44	8,82
7	14406,84	1,39	1,65	15,53	1718,50	-2,11	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	-21,08	1,37	7,68
10	15492,77	1,10	2,99	19,03	1991,41	-8,51	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

Lampiran 5. Nilai LOD dan LOQ

Parameter	LOD			LOQ		
	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3
Al	-	-	11,6105	-	-	38,7018
Cd	0,0351			0,1171		
Cr	0,0302			0,1007		
Cu	0,1830	0,0183	0,0361	0,6099	0,0609	0,1203
Fe	0,0228			0,0759		
Mn	0,0354	0,0717		0,1179	0,1096	
Ni	0,0585	0,0329	0,0585	0,1951	0,1096	0,1951
Pb	0,4022	0,2924	0,0130	1,3406	0,9745	0,0432