

TUGAS AKHIR
ANALISIS NILAI KADAR LOGAM BERAT PADA
***PORE WATER* DAN AIR PERMUKAAN DI SUNGAI**
WINONGO YOGYAKARTA

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



SYAHIRAH CITRA ANDINI
17513063

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

TUGAS AKHIR
ANALISIS NILAI KADAR LOGAM BERAT PADA *PORE*
***WATER* DAN AIR PERMUKAAN DI SUNGAI WINONGO**
YOGYAKARTA

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



SYAHIRAH CITRA ANDINI
17513063

Disetujui,

Pembimbing 1

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.
155131313

Tanggal: 12 November 2021

Pembimbing 2

Nelly Marlina, S.T., M.T.
125130401

Tanggal: 22 Oktober 2021

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Sisweyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406

Tanggal: 12 November 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS NILAI KADAR LOGAM BERAT PADA *PORE WATER* DAN AIR PERMUKAAN DI SUNGAI WINONGO
YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat
Tanggal : 12 November 2021

Disusun Oleh:

SYAHIRAH CITRA ANDINI
17513063

Tim Penguji :

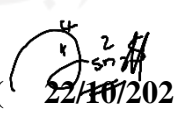
Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

( 12/11/2021)

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

( 1)

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

( 22/11/2021)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 14 September 2021

Yang membuat pernyataan,



Syahirah Citra Andini

NIM: 17513063

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir yang telah dilaksanakan sejak bulan desember 2020 ini berjudul Analisis Nilai Kadar Logam Berat Pada *Pore Water* Dan Air Permukaan Di Sungai Winongo Yogyakarta. Tugas akhir ini merupakan karya ilmiah sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Suphia Rahmawati S.T., M.T, Ibu Nelly Marlina S.T., M.T dan Ibu Any Juliani, ST., M.Sc. (Res.Eng.) sebagai pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan pada penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 14 September 2021

Syahirah Citra Andini

ABSTRACT

Analysis of heavy metals in pore water in the Winongo River is very important for the availability of biodiversity. To date, little research has been done to focus on this topic. The Winongo River crosses Sleman Regency, Yogyakarta City and Bantul Regency which has the potential to experience pollution from domestic, industrial, and agricultural wastes which may contain heavy metals and are certainly harmful to living things. The purpose of this study was to determine the concentration of heavy metals Copper (Cu), Chromium (Cr), Lead (Pb), Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Aluminium (Al), Iron (Fe), Manganese (Mn) at pore water and determine the correlation between heavy metals contained in pore water and surface water of the Winongo River. This sampling initially carried out sediment sampling at 12 (twelve) points which were then filtered using whatman filter paper no. 1, then using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) to test the parameters contained in heavy metals. The results of the concentration of heavy metals in pore water were as follows, copper (Cu) 0,039-20,613 µg/l, cadmium (Cd) 0,01-22,84 µg/l, chromium (Cr) 0,03-9,52 µg/l, lead (Pb) 0,01-65,231 µg/l, manganese (Mn) 0,034-1421,233 µg/l, nickel (Ni) 0,018-45,568 µg/l, iron (Fe) 0,02-165,481 µg/l and aluminum (Al) 9,14-26,69 µg/l. Meanwhile, the correlation between pore water and river surface water mostly has a positive correlation, which means that the higher the heavy metal in the pore water, the higher the heavy metal content in the river water surface.

ABSTRAK

Analisis logam berat pada air pori di Sungai Winongo sangat penting untuk ketersediaan keanekaragaman hayati. Hingga saat ini masih sedikit penelitian yang dilakukan untuk berfokus pada topik ini. Sungai Winongo melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul dimana memiliki potensi mengalami pencemaran berasal dari limbah domestik, industri, dan pertanian yang mungkin mengandung logam berat dan tentunya berbahaya bagi makhluk hidup. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi logam berat Tembaga (Cu), Kromium (Cr), Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kadmium (Cd), ALuminium (Al), Besi (Fe), Mangan (Mn) pada air pori serta menentukan korelasi antara logam berat yang terdapat pada air pori dan air permukaan Sungai Winongo. Pengambilan sampel ini awalnya melakukan pengambilan sampel sedimen di 12 (dua belas) titik yang kemudian disaring menggunakan kertas saring whatman no 1, kemudian menggunakan Spektrophotometer Serapan Atom (SSA) untuk menguji parameter yang terkandung dalam logam berat. Hasil konsentrasi logam berat pada air pori adalah sebagai berikut, tembaga (Cu) 0,039-20,613 $\mu\text{g/l}$, kadmium (Cd) 0,01-22,84 $\mu\text{g/l}$, kromium (Cr) 0,03-9,52 $\mu\text{g/l}$, timbal (Pb) 0,01-65,231 $\mu\text{g/l}$, mangan (Mn) 0,034-1421,233 $\mu\text{g/l}$, nikel (Ni) 0,018-45,568 $\mu\text{g/l}$, besi (Fe) 0,02-165,481 $\mu\text{g/l}$ dan aluminium (Al) 9,14-26,69 $\mu\text{g/l}$. Sedangkan untuk korelasi antara air pori dan air permukaan sungai sebagian besar memiliki korelasi positif yang dimana artinya bahwa semakin tinggi logam berat pada air pori maka semakin tinggi juga kadar logam berat pada permukaan air sungai.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Perumusan Masalah.....	16
1.3 Tujuan Penelitian.....	17
1.4 Manfaat Penelitian.....	17
1.5 Ruang Lingkup.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	18
2.1 Sungai Winongo	18
2.2 Pencemaran Logam Berat di Perairan.....	19
2.3 Pore Water.....	20
2.4 Logam Berat.....	21
2.4.1 Tembaga (Cu).....	22
2.4.2 Cadmium (Cd).....	23
2.4.3 Kromium (Cr).....	23
2.4.4 Timbal (Pb).....	23
2.4.5 Mangan (Mn).....	24
2.4.6 Nikel (Ni).....	24
2.4.7 Besi (Fe)	25
2.4.8 Aluminium (Al).....	25
2.5 Parameter Fisika dan Kimia	26
2.5.1 Suhu	26
2.5.2 TDS (<i>Total Dissolved Oxygen</i>).....	26
2.5.3 Konduktivitas.....	27
2.5.4 pH	27
2.5.5 ORP (<i>Oxydation Reduction Potential</i>).....	28
2.6 Analisis Logam Berat.....	28
2.6.1 Destruksi Basah	28

2.6.2 AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>).....	29
2.6.3 Korelasi Pearson Product Moment dan Korelasi Rank Spearman	30
2.7 Hasil Studi Terdahulu.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Tahap Penelitian.....	33
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	34
3.3 Jenis dan Variabel Penelitian	35
3.4 Alat dan Bahan.....	35
3.5 Prosedur Kerja.....	36
3.5.1 Tahap Persiapan.....	36
3.5.2 Tahap Pengambilan Sampel	36
3.5.3 Destruksi Sampel.....	37
3.6 Prosedur Analisis Data.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Deskripsi Daerah Penelitian.....	39
4.2 Analisis Parameter Fisika dan Kimia.....	46
4.2.1 Suhu.....	46
4.2.2 Derajat Keasaman (pH)	47
4.2.3 Konduktivitas.....	48
4.2.4 <i>Oxidation Reduction Potential</i> (ORP).....	49
4.2.5 <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	49
4.3 Pengukuran Logam Berat Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan	50
4.3.1 Tembaga (Cu).....	51
4.3.2 Kadmium (Cd).....	54
4.3.3 Kromium (Cr).....	57
4.3.4 Timbal (Pb).....	61
4.3.5 Mangan (Mn).....	64
4.3.6 Nikel (Ni).....	68
4.3.7 Besi (Fe)	71
4.3.8 Aluminium (Al).....	75
4.4 Korelasi Logam Berat <i>Pore Water</i> dan Air Sungai.....	77
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	83

5.1 Simpulan.....	83
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN.....	89



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lokasi Titik Pengambilan Sampel	34
Tabel 3.2 Alat dan Bahan Yang Digunakan Penelitian Di Lapangan.....	35
Tabel 3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan Penelitian Di Laboratorium.....	36
Tabel 4.1 Korelasi logam berat di <i>pore water</i> dan air permukaan sungai di Sungai Winongo.....	78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2 Peta Lokasi Titik Sampling	35
Gambar 4.1 Lokasi Titik 1	39
Gambar 4.2 Lokasi Titik 2	40
Gambar 4.3 Lokasi Titik 3	40
Gambar 4.4 Lokasi Titik 4	41
Gambar 4.5 Lokasi Titik 4	41
Gambar 4.6 Lokasi Titik 5	42
Gambar 4.7 Lokasi Titik 6	42
Gambar 4.8 Lokasi Titik 7	43
Gambar 4.9 Lokasi Titik 8	43
Gambar 4.10 Lokasi Titik 9	44
Gambar 4.11 Lokasi Titik 10	44
Gambar 4.12 Lokasi Titik 11	45
Gambar 4.13 Lokasi Titik 12	45
Gambar 4.14 Diagram Suhu di Sungai Winongo.....	46
Gambar 4.15 Diagram pH di Sungai Winongo	47
Gambar 4.16 Diagram Konduktivitas di Sungai Winongo	48
Gambar 4.17 Diagram ORP di Sungai Winongo	49
Gambar 4.18 Diagram TDS di Sungai Winongo	50
Gambar 4.19 Kandungan Logam Cu Pada Sampling 1 di Sungai Winongo	51
Gambar 4.20 Kandungan Logam Cu Pada Sampling 2 di Sungai Winongo	51
Gambar 4.21 Kandungan Logam Cu Pada Sampling 3 di Sungai Winongo	52
Gambar 4.22 Grafik Rasio Logam Cu	52
Gambar 4.23 Analisa <i>Box Plot</i> Cu Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	53
Gambar 4.24 Kandungan Logam Cd Pada Sampling 1 di Sungai Winongo	54
Gambar 4.25 Kandungan Logam Cd Pada Sampling 2 di Sungai Winong	55
Gambar 4.26 Kandungan Logam Cd Pada Sampling 3 di Sungai Winong	55
Gambar 4.27 Grafik Rasio Logam Cd	56

Gambar 4.28 Analisa <i>Box Plot</i> Cd Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	56
Gambar 4.29 Kandungan Logam Cr Pada Sampling 1 di Sungai Winongo.....	58
Gambar 4.30 Kandungan Logam Cr Pada Sampling 2 di Sungai Winongo.....	58
Gambar 4.31 Kandungan Logam Cr Pada Sampling 3 di Sungai Winongo.....	59
Gambar 4.32 Grafik Rasio Logam Cd	59
Gambar 4.33 Analisa <i>Box Plot</i> Cr Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	60
Gambar 4.34 Kandungan Logam Pb Pada Sampling 1 di Sungai Winongo.....	61
Gambar 4.35 Kandungan Logam Pb Pada Sampling 2 di Sungai Winongo.....	62
Gambar 4.36 Kandungan Logam Pb Pada Sampling 3 di Sungai Winongo.....	62
Gambar 4.37 Grafik Rasio Logam Pb.....	63
Gambar 4.38 Analisa <i>Box Plot</i> Pb Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	63
Gambar 4.39 Kandungan Logam Mn Pada Sampling 1 di Sungai Winongo	65
Gambar 4.40 Kandungan Logam Mn Pada Sampling 2 di Sungai Winongo	65
Gambar 4.41 Kandungan Logam Mn Pada Sampling 3 di Sungai Winongo	66
Gambar 4.42 Grafik Rasio Logam Mn	66
Gambar 4.43 Analisa <i>Box Plot</i> Mn Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	67
Gambar 4.44 Kandungan Logam Ni Pada Sampling 1 di Sungai Winongo.....	68
Gambar 4.45 Kandungan Logam Ni Pada Sampling 2 di Sungai Winongo.....	69
Gambar 4.46 Kandungan Logam Ni Pada Sampling 3 di Sungai Winongo.....	69
Gambar 4.47 Grafik Rasio Logam Ni	70
Gambar 4.48 Analisa <i>Box Plot</i> Ni Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	70
Gambar 4.49 Kandungan Logam Fe Pada Sampling 1 di Sungai Winongo.....	72
Gambar 4.50 Kandungan Logam Fe Pada Sampling 2 di Sungai Winongo.....	72
Gambar 4.51 Kandungan Logam Fe Pada Sampling 3 di Sungai Winongo.....	73
Gambar 4.52 Grafik Rasio Logam Fe	73
Gambar 4.53 Analisa <i>Box Plot</i> Mn Pada <i>Pore Water</i> dan Air Permukaan di Sungai Winongo.....	74

Gambar 4.54 Kandungan Logam Al Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai
Winongo.....76

Gambar 4.55 Grafik Rasio Logam Al.....76



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu wadah tempat berkumpulnya air dari suatu kawasan. Air permukaan atau air limpasan mengalir secara gravitasi menuju tempat yang lebih rendah (Asdak, C., 1995). Kualitas air sungai di suatu daerah sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia, khususnya yang berada di sekitar sungai (Ibisch, dkk, 2009). Sungai Winongo merupakan salah satu sungai penting di Yogyakarta. Sungai ini memiliki panjang $\pm 41,3$ km dan luas daerah aliran sungai ± 118 km², bermata air di Lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak. Sungai Winongo dari hulu ke hilir melalui tiga wilayah administrasi yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul (Widyastuti 2009).

Daerah aliran Sungai Winongo merupakan tempat terjadinya berbagai macam bentuk aktivitas manusia, baik domestik maupun non-domestik. Jika limbah dari berbagai aktivitas tersebut dibuang ke Sungai Winongo menyebabkan terjadinya pencemaran termasuk didalamnya pencemaran logam berat. Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi, berat jenisnya lebih dari 5 g/cm³ (Connel & Miller 2006). Logam berat dalam perairan tidak dapat diuraikan secara biologis, tetapi terus terakumulasi oleh organisme air. Semakin tinggi kandungan logam berat dalam perairan akan semakin tinggi pula kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme (Rochyatun & Rozak et al.2007).

Limbah yang mengandung logam berat ketika dibuang ke sungai akan terdistribusi dalam berbagai fasa sungai yaitu air, air pori (pore water), padatan tersuspensi (suspended solid/SS), dan sedimen. Studi tentang kandungan logam berat terutama di Indonesia masih terfokus pada air sungai atau sedimen. Belum banyak studi terkait kandungannya logam berat dalam air pori (*pore water*). Selain itu studi tentang Sungai Winongo cenderung masih terbatas dan belum ada studi yang membahas kandungan logam berat pada air pori di Sungai Winongo. Pengumpulan data air pori telah menjadi bagian dari penyelidikan ilmiah dan perbaikan setidaknya sejak tahun 1930-an. Sejak itu, praktik pengumpulan air pori

telah berkembang pesat melampaui menggali lubang untuk mengumpulkan air rembesan, tetapi variasi yang luas dalam metode pengumpulan air pori saat ini menggambarkan kebutuhan untuk pemahaman lebih lanjut.

Penelitian ini dilakukan untuk melengkapi kekurangan tersebut. Banyak peneliti berasumsi bahwa kontaminan dalam fase partikulat sedimen dan air pori berada dalam kesetimbangan (Toro et al. 1991). Meskipun bukan satu-satunya media eksposur di lingkungan sedimen, air pori adalah jalur utama eksposur untuk organisme akuatik (Chapman et al. 2002). Mengukur tingkat kontaminan di perairan berguna untuk memperkirakan toksisitas akuatik (Ankley et al. 1996). Meskipun sungai memiliki kegunaan yang signifikan untuk sekitarnya dan penerima polutan yang berpotensi, data yang tersedia dari penelitian sebelumnya belum menggambarkan konsentrasi mikro logam berat dan tingkat pencemaran logam berat, baik di air permukaan maupun air pori.

Analisis air pori menjadi perhatian karena sedimen merupakan reservoir banyak logam berat (Viana et al. 2012) dan juga pembawa polutan yang berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di lingkungan perairan (Duncan et al. 2018). Perubahan kondisi lingkungan memungkinkan kondisi pelepasan kandungan logam berat dari sedimen ke dalam air (Huang et al. 2017). Karena logam berat cenderung melekat pada bahan organik (Liu et al. 2016), korelasi air pori permukaan sangat berguna untuk dilakukan, yang dengan karakteristik fisika kimia lainnya nantinya dapat menggambarkan ketersediaan biota perairan.

Berdasarkan data tersebut, penulis tertarik untuk menyusun sebuah tugas akhir yang berjudul “Analisis Nilai Kadar Logam Berat Pada *Pore Water* dan Air Permukaan Di Sungai Winongo Yogyakarta”. Dalam tugas akhir ini penulis membahas mengenai kandungan logam berat yang terdapat pada air pori dan air permukaan di Sungai Winongo, Yogyakarta.

1.2 Perumusan Masalah

1. Berapakah kandungan logam berat pada air pori dan air sungai?
2. Bagaimana perbandingan logam berat pada air pori dan air sungai?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi kandungan logam berat pada air pori dan air sungai
2. Membandingkan logam berat pada air pori dan air sungai

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang meliputi:

1. Memberikan pemahaman lebih mendalam berkaitan dengan mekanisme pencemaran logam berat di lingkungan terutama lingkungan Sungai Winongo.
2. Memberikan kepentingan kepada para pemangku dalam upaya pengelolaan Sungai Winongo.
3. Meningkatkan perhatian kepada pemerintah daerah Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, masyarakat sekitar dan industri sekitar aliran Sungai Winongo terkait penanganan dan pengolahan limbah domestik maupun industri.
4. Menjadi acuan terhadap penelitian selanjutnya untuk berbagai bidang.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Sungai Winongo, dengan lokasi penelitian sebanyak 12 (dua belas) titik.
2. Air Pori (*Pore Water*) dan air permukaan sungai.
3. Logam Berat yang terdiri dari Tembaga (Cu), Krom (Cr), Timbal (Pb), Nikel (Ni), Cadmium (Cd), Aluminium (Al), Besi (Fe), dan Mangan (Mn).
4. Pengujian dilakukan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).
5. Waktu studi untuk melakukan penelitian pada bulan Desember 2020 untuk sampling pertama, sampling kedua dilakukan pada bulan Januari 2021 dan sampling ketiga dilakukan pada bulan Februari 2021.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai Winongo

Kualitas air sungai dipengaruhi oleh kondisi alami sungai maupun kegiatan manusia (Siregar, 2004). Menurut Oviantari, (2011) air merupakan bagian dari kehidupan kita, diantaranya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan rumah tangga, menjaga Kesehatan dan untuk kelangsungan hidup. Meskipun sumber daya air secara geofisika dikatakan melimpah, perubahan kondisi kualitas air dapat juga disebabkan oleh penggunaan lahan, litologi, waktu, curah hujan dan aktivitas manusia yang mengakibatkan pencemaran air sungai, baik fisika, kimia, maupun biologi (Martopo, 1988 dalam Kusuma, 2005). DAS Winongo sangat erat kaitannya dengan aktivitas manusia, masing-masing daerah lintasan dari sungai tersebut dipengaruhi oleh kondisi penggunaan lahan yang memberikan kandungan bahan organik yang beragam sehingga mempunyai peluang terhadap penurunan kualitas air sungai (Sari, 2014).

Sungai Winongo dapat menjadi tempat pembuangan limbah yang berasal dari rumah tangga, aktivitas perkotaan, industri, maupun pertanian. Pencemaran terjadi apabila kadar parameter melampaui baku mutu yang telah diberlakukan. Pencemaran air oleh aktivitas manusia lebih besar dampak negatifnya karena terjadi setiap hari dan meningkat dibandingkan dengan bertambahnya jumlah penduduk. Perubahan kualitas air dapat diketahui dengan pemantauan kualitas air. Oleh sebab itu, pemantauan kualitas air dapat digunakan untuk menjawab permasalahan yang spesifik terkait dengan pengelolaan daerah aliran sungai (Ponce, 1980 dalam Asdak, 1995).

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai yang mengalir melalui Daerah Istimewa Yogyakarta. Panjang sungai ini adalah panjang $\pm 41,3$ km dan luas daerah aliran sungai ± 118 km² (Widyastuti 2009) dan mengalir melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Adapun panjang aliran sungai yang melintasi tersebut adalah:

- Panjang Sungai Winongo yang melintasi Wilayah Sleman = 22,60 km
- Panjang Sungai Winongo yang melintasi Kota Yogyakarta = 7,64 km
- Panjang Sungai Winongo yang melintasi wilayah Bantul = 18,46 km

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 Tegalrejo, Kecamatan Gredongtengen, Kecamatan Mantijeron, Kecamatan Wirobrajan dan Kraton (batas)
- Kabupaten Bantul: Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis dan Kecamatan Kretek

(BPLH, 2014).

2.2 Pencemaran Logam Berat di Perairan

Menurut (Widowati et al, 2008), pencemaran logam berat di Indonesia cenderung semakin tinggi sejalan dengan meningkatnya perkembangan industrialisasi. Pencemaran logam berat dalam lingkungan dapat memberikan dampak yang berbahaya bagi kesehatan, baik pada manusia, hewan maupun lingkungan. Selain itu, menurut (Arsad et al, 2012) apabila logam berat dilepaskan ke perairan bebas, akan menyebabkan terjadinya perubahan nilai perairan baik kualitas maupun kuantitas sehingga perairan tersebut dianggap telah mengalami pencemaran oleh logam berat.

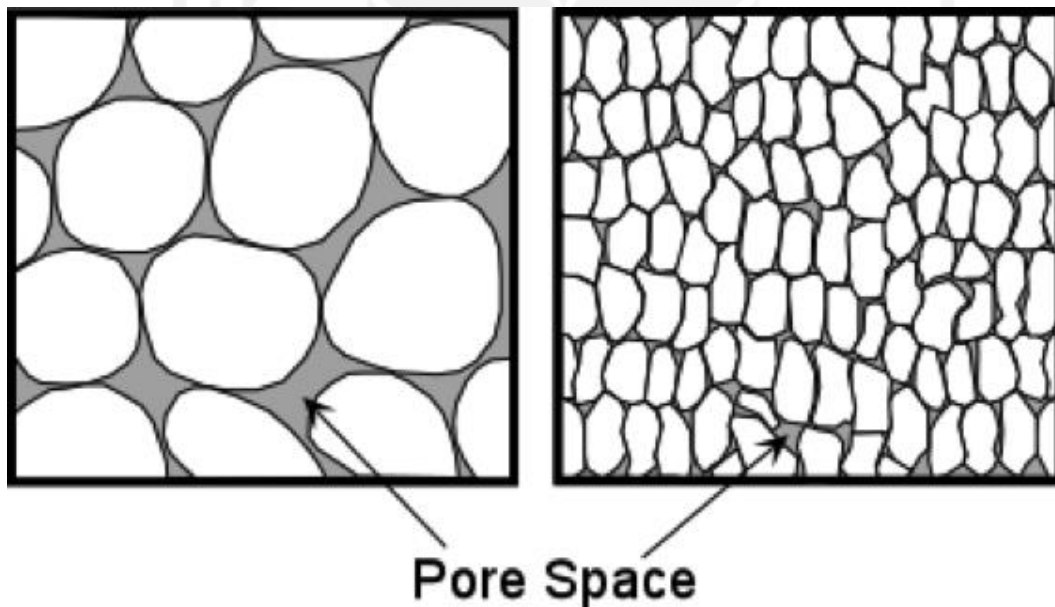
Hal yang menjadi penyebab utama logam berat sebagai bahan pencemar yang berbahaya yaitu logam berat tidak dapat dihancurkan (*non-degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama logam berat akan mengendap di dasar perairan lalu secara adsorpsi dan kombinasi membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik (Endang, 2007).

Peningkatan kadar logam berat dalam air sungai juga bisa disebabkan oleh masuknya limbah industri, pertambangan, pertanian dan domestik yang banyak mengandung logam berat. Peningkatan kadar logam berat dalam air

akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk berbagai proses metabolisme akan berubah menjadi racun bagi organisme akuatik.

2.3 Pore Water

Logam berat di badan air dapat dengan cepat diencerkan dan dapat bermigrasi ratusan kali kilometer (Zhang dkk. 2018) dan dimasukkan ke dalam sedimen dasar oleh presipitasi, flokulasi, dan adsorpsi (Cheng dkk. 2015). Dalam sistem akuatik, berat logam yang terakumulasi dalam sedimen dilepaskan ke air di atasnya melalui sedimen antar muka air dalam kondisi yang menguntungkan (seperti pH dan oksigen terlarut) (Ji dkk. 2018), menyebabkan sedimen menjadi sumber potensial logam berat (Wang et al., 2018). Oleh karena itu, air pori sedimen merupakan suatu media penting yang menghubungkan sedimen dan air di atasnya (Ni dkk. 2017), dan komposisi kimiawi air pori dapat mencerminkan proses migrasi dan transformasi kontaminan dalam sedimen (Tang dkk. 2015).



Gambar 2.1 Ilustrasi *Pore Water*

(Sumber: <http://serc.carleton.edu/details/images/150635.html>)

Selain dapat membahayakan bagi manusia, logam berat juga dapat memberikan dampak pada *pore water* yang terdapat pada sedimen. Saat sedimen diendapkan, mereka memerangkap air di ruang pori di antara butiran. Air pori ini dapat mewakili lebih dari 90% volume sedimen curah dalam

endapan berbutir halus di dekat antarmuka sedimen-air (Hammond, 2001). Analisis air pori menjadi perhatian karena sedimen merupakan reservoir banyak logam berat (Viana et al. 2012) dan juga pembawa polutan yang berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di lingkungan perairan (Duncan et al. 2018). Perubahan kondisi lingkungan memungkinkan kondisi pelepasan kandungan logam berat dari sedimen ke dalam air (Huang et al. 2017). Air pori digunakan untuk memperkirakan paparan dari air tanah yang terkontaminasi di zona pembuangan (Fish 2011), untuk mengevaluasi dan menilai dampak sedimen yang terkontaminasi (Ruhl dkk. 2012), dan sebagai garis bukti untuk paparan organisme dalam penilaian risiko ekologis (Besser et al. 2009). Karena logam berat cenderung melekat pada bahan organik (Liu et al. 2016), korelasi air pori permukaan sangat berguna untuk dilakukan, yang dengan karakteristik fisik-kimia lainnya sehingga nantinya dapat menggambarkan ketersediaan biota perairan. Air pori biasanya mengandung konsentrasi elemen terlarut yang lebih tinggi daripada air di atasnya karena kandungan elemen air pori berada dalam pertukaran yang erat dengan sedimen (Forstner dan Wittman, 1979).

2.4 Logam Berat

Salah satu parameter pencemar yang harus diperhatikan adalah logam berat. Logam berat banyak digunakan sebagai bahan baku maupun media penolong dalam berbagai jenis industri. Masuknya limbah ini ke perairan laut dapat mengurangi kualitas perairan dan menimbulkan pencemaran. Selain mengubah kualitas perairan, logam berat yang terendapkan bersama dengan sedimen juga dapat menyebabkan transfer bahan kimia beracun dari sedimen ke organisme (Zuraida, dkk., 2010).

Polusi air dapat disebabkan oleh dua jenis polutan, seperti bahan yang menyebabkan eutrofikasi dan bahan beracun yang menyebabkan kerusakan pada organisme air. Logam berat adalah bahan beracun yang dapat menyebabkan kerusakan pada organisme akuatik. Sumber pencemaran logam sebagian besar berasal dari pertambangan, peleburan logam, industry lainnya, dan juga dapat berasal dari limbah domestik yang menggunakan logam, serta

lahan pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam (Lestari dan Trihadiningrum, 2019).

Logam berat biasanya ditemukan sangat sedikit dalam air secara alami yang kurang dari 1 µg. Tingkat konsentrasi logam dalam air dibagi sesuai dengan tingkat polusi, seperti polusi berat, polusi sedang, dan non-polusi. Air yang mengalami polusi berat biasanya memiliki kandungan logam berat yang tinggi di dalam air dan organisme yang hidup di dalamnya. Pada tingkat polusi sedang, kandungan logam berat dalam air dan organisme dalam air berada dalam batas marginal. Adapun pada tingkat non-polusi, kandungan logam berat dalam air dan organisme sangat rendah dan bahkan tidak terdeteksi (Lestari dan Trihadiningrum, 2019).

Logam berat diperairan memberikan dampak terhadap organisme perairan dan juga manusia. Logam berat yang masuk ke tubuh manusia juga berbahaya untuk kesehatan. Logam berat dapat menghalangi kerja enzim sehingga metabolisme tubuh terganggu, menyebabkan kanker dan mutasi. Beberapa logam berat yang sangat berbahaya bagi manusia antara lain timbal, tembaga, merkuri, kadmium, dan khrom. (Effendi et al., 2012).

2.4.1 Tembaga (Cu)

Tembaga dengan nama kimia *cuprum* dilambangkan dengan Cu merupakan unsur logam yang berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Unsur tembaga di alam, dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Pada umumnya sumber masuknya unsur logam Cu dalam tatanan lingkungan adalah secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah, Cu dapat masuk ke dalam tatanan lingkungan sebagai akibat dari berbagai peristiwa alam, seperti pengikisan (erosi) dari batuan mineral dan dari debu atau partikulat Cu yang terdampar dalam lapisan udara dan dibawa turun oleh hujan.

Secara non alamiah, Cu masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari aktivitas manusia, seperti buangan industri (contohnya industri galangan kapal) yang memakai Cu dalam proses

produksinya. Sebagai logam berat, Cu digolongkan kedalam logam berat esensial, artinya meskipun Cu logam berat yang beracun, unsur ini sangat diperlukan oleh tubuh meski dalam jumlah yang sedikit. Toksisitas yang dimiliki oleh Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Satmoko, 2006).

2.4.2 Cadmium (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 $\mu\text{g/g}$. Pada perairan, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Pada umumnya, dalam lingkungan perairan logam Cd hadir dalam bentuk ion-ion yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner, 2008).

Kadmium dapat menyebabkan dampak pada pertanian, jika air untuk irigasi tercemar Cd akibatnya padi yang di panen dapat mengakumulasikan kadmium. Sedangkan pada besi secara umum logam berat dapat meningkatkan laju korosi yang dapat mengganggu operasional Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sehingga dapat meningkatkan biaya pemeliharaan peralatannya.

2.4.3 Kromium (Cr)

Logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Dalam badan perairan Cr dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor fisika seperti erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan mineral. Secara non alamiah berasal dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga.

2.4.4 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) termasuk dalam kelompok logam yang beracun dan berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup. Limbah Timbal (Pb) dapat masuk ke badan perairan secara alamiah yakni dengan pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Penggunaan Pb dalam skala yang besar dapat mengakibatkan polusi baik di daratan maupun perairan. Logam Pb yang masuk ke dalam perairan sebagai dampak dari aktifitas manusia dapat membentuk air buangan atau limbah dan selanjutnya akan mengalami pengendapan.

Terjadinya suatu perubahan dalam perairan akan menimbulkan dampak bagi organisme yang hidup didalamnya. Adanya logam berat di perairan sangat berbahaya secara langsung terhadap kehidupan biota perairan, yang selanjutnya mempengaruhi secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat yang sulit didegradasi, sehingga terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit dihilangkan. Logam berat dapat terakumulasi dalam biota perairan seperti kerang dan ikan.

2.4.5 Mangan (Mn)

Mangan (Mn) adalah metal kelabu-kemerahan. Keracunan seringkali bersifat kronis sebagai akibat inhalasi debu dan uap logam. Gejala yang timbul berupa gejala susunan urat syaraf: insomnia, kemudian lemah pada kaki dan otot muka sehingga ekspresi muka menjadi beku dan muka tampak seperti topeng (*mask*). Bila pemaparan berlanjut maka, bicaranya melambat dan monoton, terjadi hyperrefleksi, clonus pada patella dan tumit, dan berjalan seperti penderita parkinsonism. Selanjutnya akan terjadi paralysis bulbar, post encephalitic parkinsonism, multiple sclerosis, amyotrophic lateral sclerosis, dan degenerasi lentik yang progresif (*Peny. Wolson*). Dalam hal penyediaan air, logam Mn juga memberikan dampak buruk jika kadarnya melampaui baku mutu. Logam Mn dapat menimbulkan masalah warna yaitu air akan berubah menjadi warna ungu/hitam (Yudo, 2006).

2.4.6 Nikel (Ni)

Nikel adalah logam berwarna putih keperakan yang memiliki berat jenis 8,5 dan berat atom 58,71 g/mol. Ni merupakan logam yang tahan terhadap korosi dan oksidasi pada temperatur tinggi sehingga dapat digunakan untuk memproduksi stainless steel. Sifat yang dimiliki logam nikel yaitu kuat, dapat ditempa, serta tahan terhadap oksidasi dan tahan terhadap karat (Widowati, 2008).

Nikel (Ni) sering kali digunakan dalam industri metalurgi, industri pelapisan logam, industri kimia, pembakaran minyak dan juga pembakaran pada limbah. Nikel yang ditemukan pada perairan merupakan nikel yang berbentuk koloid. Namun, garam-garam nikel seperti nikel ammonium sulfat, nikel nitrat dan klorida bersifat larut dan terakumulasi di dalam air (Yudo, 2006).

2.4.7 Besi (Fe)

Besi (Fe) merupakan logam transisi dan memiliki nomor atom 26. Bilangan oksidasi Fe adalah +3 dan +2. Fe memiliki berat atom 55,845 g/mol, titik leleh 1538°C. Fe menempati urutan kesepuluh besar sebagai unsur di bumi. Fe menyusun 5-5,6% dari kerak bumi. Konsentrasinya tertinggi terdapat pada lapisan dalam dari inti bumi dan sejumlah kecil terdapat dilapisan terluar kerak bumi. Fe hampir tidak ditemukan sebagai unsur bebas. Ferro oksida cenderung lebih mudah mengalami korosi bila terkena air (Widowati, 2008).

Besi dalam bentuk ion Fe^{+2} sangat mudah larut di dalam air. Oksigen terlarut di dalam air akan mengoksidasi Fe^{+2} menjadi $Fe(OH)_3$ yang merupakan endapan, sehingga akan mengakibatkan kekeruhan di dalam air yang berwarna merah karat. Besi yang terlarut berbentuk Fe^{+2} dalam air biasanya dihasilkan oleh pelepasan ion Fe^{+2} dari bahan-bahan organik (Suriawiria, 2005).

2.4.8 Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam putih, bubuknya warna abu-abu. Melebur pada 659°C. Apabila terkena udara, objek-objek aluminium teroksidasi pada permukaannya. Asam klorida encer dengan mudah melarutkan logam ini, pelarut lebih lambat dalam asam sulfat encer atau asam nitrat

encer. Aluminium adalah trivalent dalam senyawa-senyawa. Ion-ion Aluminium membentuk garam-garam yang tak berwarna dengan anion-anion yang tak berwarna (Basset, 2013).

Menurut (Huri et al., 2009), penelitian terkait efek samping aluminium bagi manusia masih belum banyak dijumpai. Padahal adanya aluminium di dalam perairan dengan kadar tertentu dapat membahayakan organisme akuatik. Biasanya kadar Al dalam perairan berada pada konsentrasi rendah dan akan meningkat apabila terjadi hujan asam. Selain itu, hal yang memicu meningkatnya kadar Al dalam perairan yaitu adanya input yang berasal dari buangan pengolahan air yang menjadikan garam aluminium sebagai koagulan.

2.5 Parameter Fisika dan Kimia

Berikut ini merupakan faktor fisika dan kimia yang digunakan sebagai indikator untuk mengetahui pencemaran pada perairan Sungai Winongo.

2.5.1 Suhu

Suhu memiliki pengaruh penting terhadap proses fisika, kimia, dan biologi perairan apabila terjadi perubahan, serta memiliki peran dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Suhu air merupakan salah satu parameter fisika yang penting dalam perairan karena mempengaruhi komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Suhu merupakan parameter kritis karena secara langsung dapat mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut yang terdapat di perairan (Singh dan Shrivastava, 2015). Menurut (Hasim et al, 2015), apabila terjadi kenaikan suhu yang melebihi batas akan menimbulkan aktivitas metabolisme organisme air/hewan akuatik mengalami peningkatan, hal tersebut akan menyebabkan gas-gas terlarut di dalam air yang penting untuk kehidupan ikan atau hewan akuatik lainnya berkurang.

2.5.2 TDS (*Total Dissolved Oxygen*)

TDS (*Total Dissolve Solid*) merupakan padatan terlarut total yang dapat dijadikan acuan dalam mengukur kandungan material padatan di perairan. TDS mengandung berbagai zat terlarut seperti zat organik, zat

anorganik, ataupun material lainnya dengan diameter kurang dari $< 10-3\mu\text{m}$ dimana terdapat dalam sebuah larutan yang terlarut di air (Mukhtasor, 2007).

Sumber utama masuknya TDS ke dalam perairan yaitu limbah pertanian, limbah rumah tangga, dan limbah industri. Apabila konsentrasi TDS mengalami perubahan, maka akan menimbulkan dampak yang berbahaya karena hal tersebut dapat menyebabkan perubahan pada salinitas, perubahan komposisi ion-ion, dan meningkatnya toksisitas masing-masing ion. Adanya perubahan salinitas dapat mengakibatkan terganggunya keseimbangan pada biota air, biodiversitas, menyebabkan spesies yang kurang toleran, dan juga menimbulkan toksisitas yang tinggi dalam tingkatan hidup suatu organisme (Weber-Scannel and Duffy, 2007).

2.5.3 Konduktivitas

Konduktivitas atau Daya Hantar Listrik (DHL) adalah kemampuan yang dimiliki air sebagai penghantar listrik dan dipengaruhi oleh jumlah ion atau garam yang terlarut di dalam air. Apabila semakin banyak garam yang terlarut, maka akan semakin tinggi daya hantar listrik yang terjadi pada air. DHL merupakan pengukuran secara tidak langsung terhadap konsentrasi garam dimana bisa digunakan dalam menentukan secara umum kesesuaian air untuk budidaya tanaman dan juga untuk memonitor konsentrasi pada larutan hara (Astuti, 2014).

Menurut (Popek, 2018), semakin tinggi konsentrasi ion dalam air maka semakin tinggi pula konduktivitasnya. Ketika mengukur konduktivitas sampel air, secara tidak langsung peneliti juga mengukur konsentrasi garam, basa, dan asam terlarut. Larutan senyawa anorganik memiliki konduktivitas yang baik, sedangkan larutan senyawa organik yang tidak terdisosiasi dalam air memiliki konduktivitas yang buruk. Konduktivitas bergantung pada suhu, apabila suhu tinggi membuat bentuk air berbeda sehingga menyebabkan perubahan kecepatan di mana ukuran dan ion muatan yang berbeda bergerak dalam air.

2.5.4 pH

pH air sungai berkisar 4–9. Nilai pH menjadi faktor yang penting dalam perairan karena nilai pH pada air akan menentukan sifat air menjadi bersifat asam atau basa yang akan mempengaruhi kehidupan biologi di dalam air. Perubahan keasaman air, baik ke arah alkali maupun asam, akan sangat mengganggu kehidupan ikan dan hewan air lainnya. Kisaran pH yang cocok bagi organisme akuatik tidak sama tergantung pada jenis organisme tersebut (Cech, 2005).

Kondisi pH dapat mempengaruhi tingkat toksisitas suatu senyawa kimia, proses biokimiawi perairan, dan proses metabolisme organisme air. Menurut Kordi dan Tancung (2007) derajat keasaman merupakan faktor yang penting dalam proses pengolahan air untuk perbaikan kualitas air.

2.5.5 ORP (*Oxydation Reduction Potential*)

ORP merupakan pengukuran kekuatan dari oksidasi atau reduksi pada suatu larutan. Reaksi oksidasi dan reduksi melibatkan pertukaran elektron. Selain menjadi ukuran dari aktivitas elektron, ORP adalah ukuran kapasitas antioksidan dari larutan (Carpenter, 2009). ORP diukur dengan satuan volt (V) atau millivolt (mV). Hasil penelitian yang dilakukan (Sukma et al, 2013) menunjukkan bahwa semakin tinggi dan lama paparan waktu, maka nilai ORP juga akan semakin meningkat. Selain itu, dengan meningkatnya nilai ORP maka reaksi oksidasi yang terjadi akan semakin mudah dan semakin banyak juga membran sel dari mikroorganisme yang akan rusak dan mati.

2.6 Analisis Logam Berat

Analisis logam berat yang dilakukan adalah sebagai berikut.

2.6.1 Destruksi Basah

Destruksi merupakan suatu perlakuan untuk melarutkan atau mengubah sampel menjadi bentuk materi yang dapat diukur sehingga kandungan berupa unsur-unsur didalamnya dapat dianalisis. Destruksi terbagi atas dua jenis, yaitu destruksi basah dan destruksi kering. Destruksi basah adalah perombakan sampel dengan asam-asam kuat

baik tunggal maupun campuran, kemudian dioksidasi dengan menggunakan zat oksidator. Pelarut-pelarut yang dapat digunakan untuk destruksi basah antara lain asam nitrat (HNO_3), asam sulfat (H_2SO_4), asam perklorat (HClO_4), dan asam klorida (HCl) (Rahayu, 2020).

Pemilihan jenis asam untuk mendestruksi suatu bahan akan mempengaruhi hasil analisis (Habibi, 2020). Kesempurnaan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan jernih pada larutan destruksi yang menunjukkan bahwa semua konstituen yang ada telah larut sempurna atau perombakan senyawa senyawa organik telah berjalan dengan baik. Oleh karena itu sebelum analisis dilakukan destruksi untuk menghilangkan/memisahkan kandungan senyawa lain, dengan perlakuan awal diharapkan kesalahan pada saat analisis dapat seminimal mungkin.

2.6.2 AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

Kandungan logam berat tersebut dapat ditentukan dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Metode AAS merupakan salah satu metode analisis yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan dan kadar logam berat dalam berbagai bahan, namun terlebih dahulu dilakukan tahap pendestruksi cuplikan. Prinsip pada spektrometri serapan atom adalah jika terdapat suatu larutan yang memiliki kandungan logam diberi nyala, maka unsur yang ada di dalam sampel mengalami perubahan menjadi uap atom sehingga nyala tersebut mengandung unsur-unsur yang telah dianalisis.

Secara termal terdapat beberapa dari atom akan tereksitasi oleh nyala (keadaan yang tidak diinginkan), tetapi kebanyakan atom yang tetap tinggal dengan bentuk sebagai atom netral pada keadaan dasar (ground state). Atom-atom pada keadaan dasar tersebut kemudian akan menyerap radiasi yang telah diberikan sumber radiasi dimana terbuat dari unsur-unsur yang bersangkutan. Sumber radiasi menghasilkan panjang gelombang yang telah diabsorpsi atom oleh nyala (Hasanah, 2018).

2.6.3 Korelasi Pearson Product Moment dan Korelasi Rank Spearman

2.6.3.1 Korelasi Pearson Product Moment

Korelasi pearson menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan dua variabel tidak linier, maka koefisien korelasi pearson tersebut tidak mencerminkan kekuatan hubungan dua variabel yang sedang diteliti, meski kedua variable mempunyai hubungan kuat. Koefisien korelasi ini disebut koefisien korelasi pearson karena diperkenalkan pertama kali oleh Karl Pearson tahun 1990 (Firdaus, 2009).

2.6.3.2 Korelasi Rank Spearman

Korelasi rank spearman adalah alat uji statistik yang digunakan untuk menguji dugaan tentang adanya hubungan antara variabel apabila datanya berskala ordinal (rangking). Metode korelasi rangking spearman adalah metode yang digunakan untuk skala ordinal atau rangking dan bebas distribusi (nonparametric). Nilai korelasi rangking spearman berada diantara -1 sampai dengan 1. Apabila nilai korelasi yang didapatkan adalah = 0 berarti hubungan antara variabel Y dan X yang dibangun tidak memiliki korelasi. Jika r bernilai positif, maka untuk variabel Y bernilai naik maka variabel X akan bernilai naik pula. Sebaliknya, apabila r bernilai negatif, maka jika variabel Y bernilai naik maka variabel Y akan bernilai turun.

2.7 Hasil Studi Terdahulu

No.	Sumber	Judul	Metode	Hasil
1.	Lobo, 2002	Kandungan Beberapa Logam Berat di Sungai Winongo, Yogyakarta	Menggunakan parameter parameter fisik (suhu air), parameter kimia (pH air, kandungan logam berat Al, Cu, Fe, Cr dan Mn) dan parameter biologi	Kandungan logam berat yang terdapat di Sungai Winongo masih berada dibawah ambang batas baku mutu badan air sesuai dengankeputusan Gubernur

			(uji mortalitas ikan Nila)	Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 214/KPTS/1991. Namun dengan konsentrasi yang rendah logam berat dapat menyebabkan kematian ikan Nila setelah 11 hari perlakuan.
2.	Handayani, 2015	Akumulasi Kromium (Cr) Pada Daging Ikan Nila Merah (<i>Oreochromis ssp.</i>) Dalam Karamba Jaring Apung di Sungai Winongo Yogyakarta	Penelitian menggunakan rancangan eksplorasi dengan metode survei, dengan penetapan pengambilan sampel menggunakan teknik Purposive Random Sampling. Sedangkan metode analisis uji kandungan logam berat Cr pada air dan ikan nila merah menggunakan AAS.	Kandungan Cr dalam air masih di bawah ambang batas, sedangkan ikan nila merah di sungai Winongo sudah mengakumulasi Cr di atas ambang batas, sehingga tidak layak konsumsi
3.	Wulan, 2020	Distribusi, Identifikasi Sumber, dan Penilaian Berat Pencemaran Logam Di Permukaan dan Air Pori Sungai Cipeles, Jawa Barat, Indonesia	Posisi pengambilan sampel berasal dari lokasi di sungai sekitar sepertiga dari lebar sungai. Sampel air permukaan dikumpulkan dengan menggunakan sampler air kemudian sampel air disaring menggunakan kertas saring whatman no 1	Pada penelitian ini konsentrasi logam berat pada air pori lebih tinggi dibandingkan pada air permukaan.
4.	Firianti, 2018	Penataan Kawasan Sungai Winongo Berbasis Masyarakat Oleh Forum Komunikasi Winongo Asri di Pakuncen Yogyakarta	Menggunakan jenis penelitian deskriptif kualitatif. Teknik pengambilan peneliti menggunakan purposive (berdasarkan kriteria). Teknik pengumpulan data menggunakan observasi, wawancara, dan	Dampak penataan bersifat positif yaitu adanya perubahan kondisi fisik/lingkungan yang lebih baik, adanya perubahan perilaku masyarakat, tumbuhnya kesadaran masyarakat yang dapat meningkatkan aspirasi dan partisipasi masyarakat serta menumbuhkan semangat gotong royong

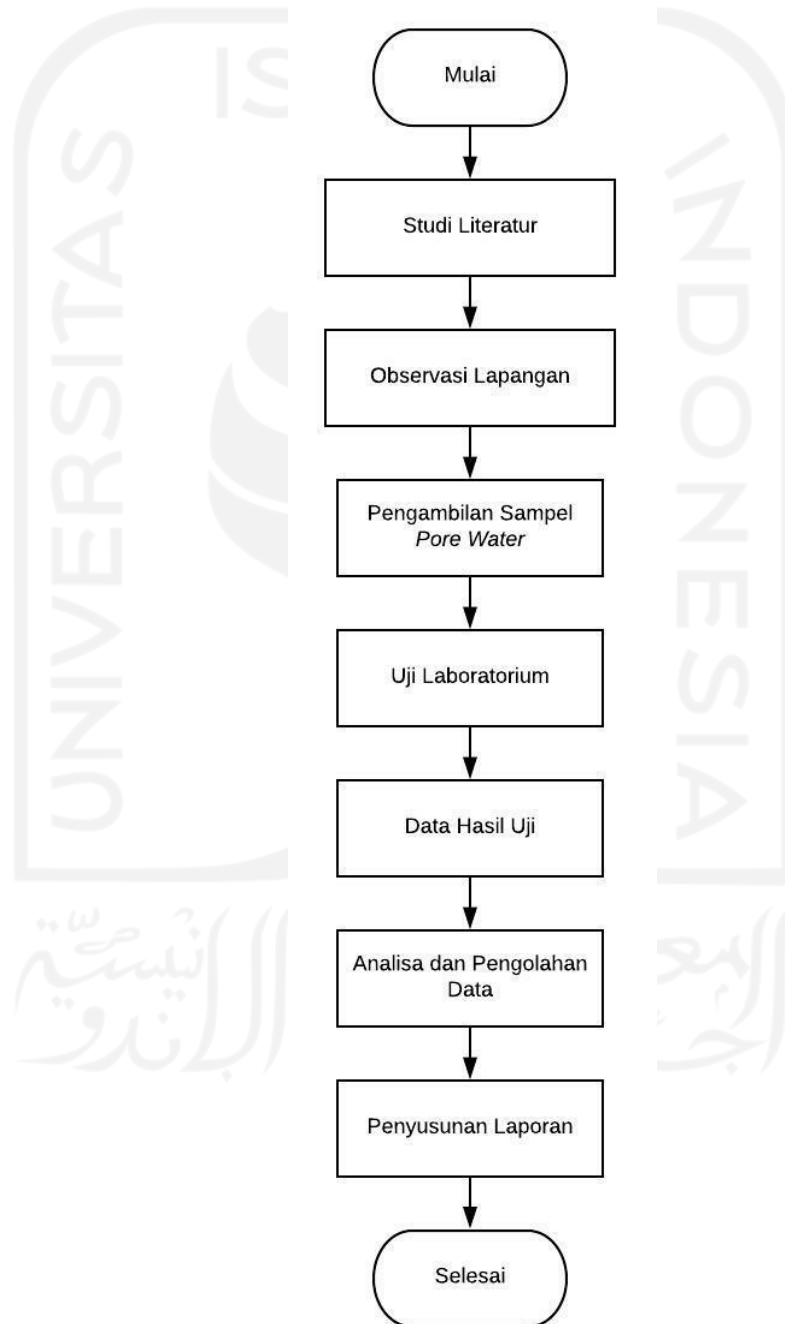
		<p>dokumentasi. Validitas data menggunakan triangulasi sumber dan triangulasi metode</p>	<p>yang lebih baik dari sebelumnya, dan peningkatan ekonomi masyarakat. Sedangkan dampak negatif dari penataan tersebut adanya remaja yang menjadikan kawasan pinggiran sungai untuk kumpul-kumpul dan meresahkan masyarakat</p>
--	--	--	--



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Diagram alir dalam proses penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 diagram alir penelitian.



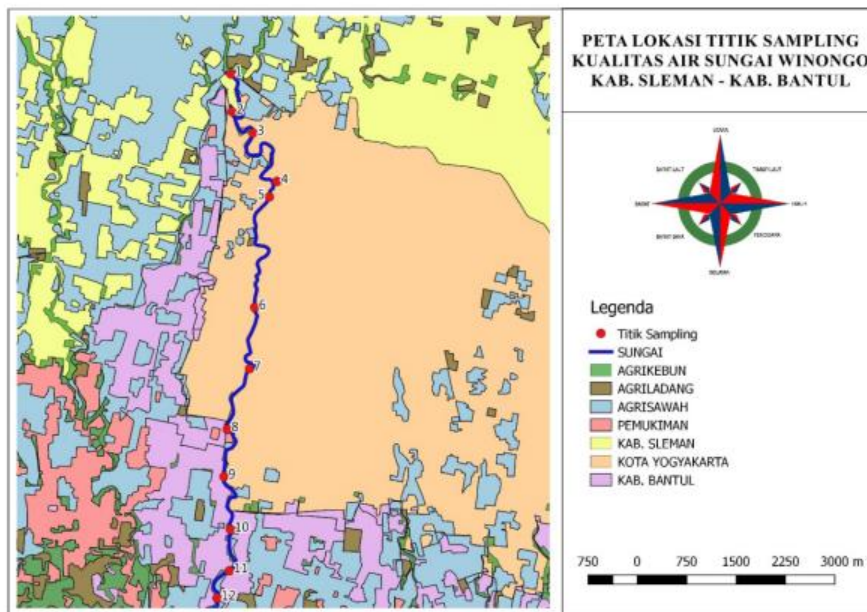
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di Sungai Winongo, Daerah Istimewa Yogyakarta sedangkan analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia (UII). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2020 hingga Februari 2021 Lokasi pengambilan sampel di Sungai Winongo ada 12 titik. Pemilihan titik sampling didasarkan kepada daerah sumber air alamiah, daerah pemanfaatan air sungai, daerah yang berpotensi dalam terkontaminasi, daerah pertemuan dua sungai, daerah hilir atau muara serta karakteristik penggunaan lahan di sekitar Sungai Winongo. Titik sampling mewakili area hulu, area tengah yang melewati perkotaan dan hilir. Titik sampling juga meliputi anak-anak Sungai Winongo. Selain itu titik pengambilan sampel juga mempertimbangkan faktor keselamatan dan kemudahan akses. Lokasi titik pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 3.2 dan tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Lokasi Titik Pengambilan Sampel

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



Gambar 3.2 Peta Lokasi Titik Sampling

3.3 Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif, dimana dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan sampel dan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan informasi mengenai kandungan logam berat yang terdapat pada air sungai Winongo. Variabel yang akan digunakan yaitu variabel utama dan variabel pendukung. Variabel utama yang dimaksud adalah logam berat yang meliputi Kadimum (Cd), Besi (Fe), Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Alumunium (Al), Nikel (Ni), Krom (Cr), dan Mangan (Mn). Sedangkan variabel pendukung yaitu temperature, pH, turbiditas, konduktivitas, DO, TSS, dan ORP yang akan diukur secara *in situ* pada saat sampling

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian saat di lapangan yaitu:

Tabel 3.2 Alat dan Bahan Yang Digunakan Penelitian Di Lapangan

Alat	Bahan
Kantong ziplock	Aquadest

Multimeter (temperatur, pH, turbiditas, konduktivitas, DO, TS, dan ORP)	HNO ₃
1 set alat ukur debit	Kertas Indikator
Anemometer	
Kotak Pendingin	
Jerigen	

Alat dan bahan yang digunakan di laboratorium adalah:

Tabel 3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan Penelitian Di Laboratorium

Alat	Bahan
Kertas Saring Whattman No 1	Aquadest
<i>Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)</i>	HNO ₃ pekat, konsentrasi 65%
Gelas Ukur 100 ml	Larutan induk Pb
Erlenmeyer 250 ml	Larutan induk Al
Karet hisap	Larutan induk Cu
Pipet Volume 10 ml	Larutan induk Cr
Tabung reaksi	Larutan induk Cd
Rak tabung reaksi	Larutan induk Mn
Corong kaca	Larutan induk Fe
Kaca arloji	Larutan induk Ni
Labu Ukur	
Karet hisap	
Tabung reaksi	
Rak tabung reaksi	
Gelas beaker 100 ml, 1000 ml	
Corong kaca	

3.5 Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.5.1 Tahap Persiapan

Peneliti melakukan persiapan berupa observasi pada lokasi penelitian untuk menentukan titik pengambilan sampel, akses jalan menuju titik, dan waktu pengambilan sampel. Selain itu, peneliti juga mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dibawa saat sampling.

3.5.2 Tahap Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 12 titik yang tersebar di Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Teknik sampling yang digunakan adalah purposive sampling, yaitu teknik pengambilan atau penentuan sumber data atas adanya tujuan tertentu bukan didasarkan atas strata, random, atau daerah (Arikunto, 2013). Pengambilan sampel *pore water* dilakukan dengan mengambil sampel sedimen terlebih dahulu menggunakan sekop berbahan plastik juga dengan menggunakan Grab Sampler. Sedimen yang telah diambil kemudian di saring untuk mengurangi kadar air yang ada pada sedimen. Air dari hasil saring itulah maka didapatkan sampel *pore water*. Untuk pengambilan sampel air permukaan dilakukan dengan menggunakan botol atau jerigen dan dibilas sebanyak tiga kali dengan sampel air sungai tersebut. Sampel diambil pada bagian pinggir sungai dengan kedalaman sekitar 30 cm. Setelah sampel diambil, dilakukan pengawetan dengan HNO₃ hingga pH<2.

3.5.3 Destruksi Sampel

Salah satu persyaratan untuk analisis logam menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) yaitu sampel harus berupa larutan, maka sampel sebelum dianalisis harus dilakukan destruksi terlebih dahulu guna menghilangkan atau memisahkan kandungan ion lain, dengan adanya perlakuan awal tersebut diharapkan kesalahan pada saat analisis diminimalisir (Murtini et al., 2017). Destruksi dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) pengujian logam berat Fe (SNI 6989.4:2009), Mn (SNI 6989.5:2009), Pb (SNI 6989.8:2009), Cu (SNI 6989.6:2009), Cd (SNI 6989.16:2009), Ni (SNI 6989.18:2004), Cr (SNI 6989.17:2004 Krom Total) dan Al (SNI 6989.34:2005) dalam *pore water*, sebagai berikut.

Sampel *pore water* diambil sebanyak 50 mL lalu disaring dengan kertas whatman 42 ke dalam Erlenmeyer 100 mL atau gelas piala 100 mL. Menambahkan 5 mL HNO₃ pekat lalu letakkan ke atas hotplate dan tutup menggunakan corong kaca apabila menggunakan Erlenmeyer, jika menggunakan gelas piala tutup menggunakan cawan. Memanaskan hingga volume tersisa 20-15 mL.

Jika destruksi belum sempurna (belum jernih), maka ditambahkan lagi 5 ml HNO₃ pekat, kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup erlenmeyer dengan corong dan panaskan lagi. Melakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih.

3.6 Prosedur Analisis Data

Data konsentrasi logam berat akan diolah dan disajikan dengan statistik deskriptif menggunakan box and whisker plot. Selanjutnya data akan dibandingkan dengan hasil-hasil studi sejenis di sungai-sungai lain di Indonesia maupun dunia. Karena Indonesia tidak memiliki standar baku mutu untuk *pore water*, maka yang akan menjadi acuan untuk standar baku mutu *pore water* adalah *United States Environmental Protection Agency (USEPA)*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di daerah Sungai Winongo Yogyakarta. Dalam penelitian tersebut pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel *pore water* pada masing-masing titik yang dimana titik-titik yang akan dilakukan pengambilan sampel ada 12 titik.

a. Titik 1

Pada titik 1 dapat dilihat bahwa kondisi sungai aliran air cukup tenang tidak terlalu deras, keadaan sekitar berupa vegetasi dan perumahan warga, terdapat beberapa point source berupa pipa pembuangan limbah, terdapat beberapa orang sedang memancing. Kondisi air sedikit keruh berwarna keabu-abuan dan kedalaman sekitar 30-50 cm.



Gambar 4.1 Lokasi Titik 1
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

b. Titik 2

Anak sungai, terletak di daerah Panggungan, Kec. Gamping, kondisi sekitar berupa rumah warga, pertokoan, dan jalan warga. Terdapat beberapa point source berupa pipa pembuangan limbah warga dan terlihat beberapa warga mencuci pakaian secara langsung di sungai. Kondisi air cukup jernih tetapi terdapat beberapa sampah di dasar sungai maupun yang ikut terbawa aliran. Kedalaman anak sungai cukup dangkal sekitar 20-30 cm.



Gambar 4.2 Lokasi Titik 2
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

c. Titik 3

Berlokasi di Jembatan Jati Mulyo, kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Ditemukan beberapa point source yang berupa pipa pembuangan limbah warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai tidak terlalu dalam sekitar 50-60 cm.



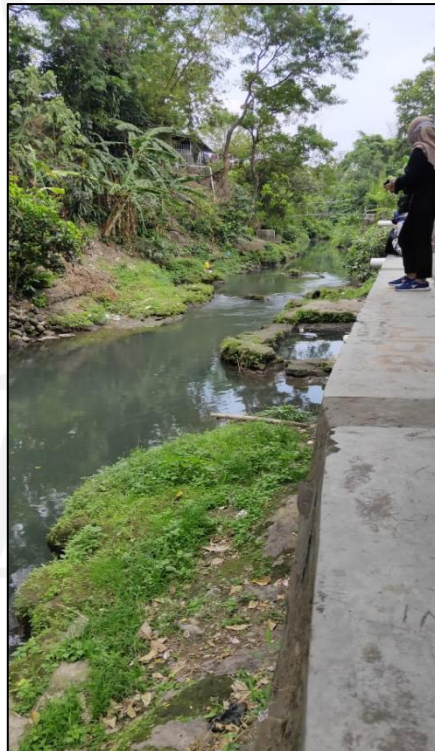
Gambar 4.3 Lokasi Titik 3
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

d. Titik 4

Anak Sungai Winongo. Kondisi sekitar sungai berupa tembok sungai, beberapa vegetasi, dan rumah warga. Kondisi air sungai keruh keabuan, terdapat beberapa warga mancing. Kedalaman sungai sekitar 140-170 cm.



Gambar 4.4 Lokasi Titik 4



Gambar 4.5 Lokasi Titik 4
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

e. Titik 5

Pada titik 5 ini berlokasi di Jembatan Kyai Mojo kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 100 cm.



Gambar 4.6 Lokasi Titik 5
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

f. Titik 6

Pada titik 6 ini berlokasi di Ngampilan, kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 80-90 cm.



Gambar 4.7 Lokasi Titik 6

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

g. Titik 7

Pada titik 7 ini berlokasi di Ngampilan, kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 60-80 cm.



Gambar 4.8 Lokasi Titik 7
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

h. Titik 8

Pada titik 8 ini berlokasi di Kecamatan Mantrijeron kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 60-80 cm.



Gambar 4.9 Lokasi Titik 8
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

i. Titik 9

Pada titik 9 ini berlokasi di Kecamatan Mantrijeron kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 50-80 cm.



Gambar 4.10 Lokasi Titik 9
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

j. Titik 10

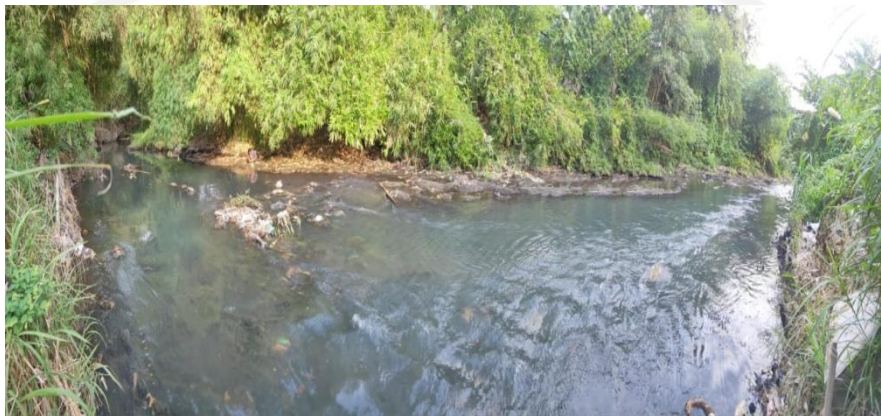
Pada titik 10 ini berlokasi di Jembatan Winongo kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 40-60 cm.



Gambar 4.11 Lokasi Titik 10
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

k. Titik 11

Pada titik 11 ini berlokasi di Jogonalan Kidul kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 60-70 cm.



Gambar 4.12 Lokasi Titik 11
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

l. Titik 12

Pada titik 12 ini berlokasi di Bantul kondisi sekitar sungai ini berupa batuan dan beberapa vegetasi, serta perumahan warga. Kondisi air sungai agak keruh dan terdapat beberapa sampah di aliran maupun disekitar sungai. Terdapat banyak bebatuan berukuran kecil hingga sedang di sungai. Kedalaman sungai sekitar 100 cm.



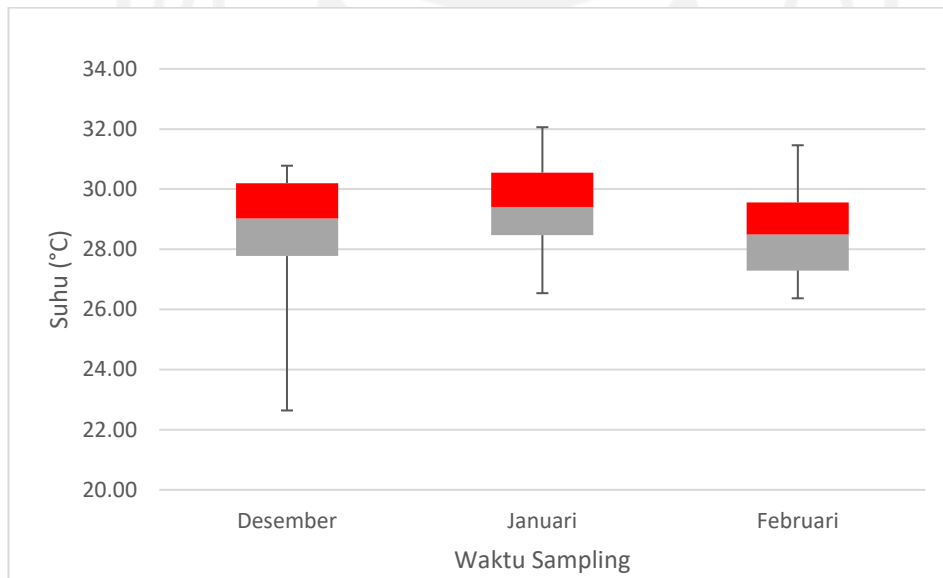
Gambar 4.13 Lokasi Titik 12

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

4.2 Analisis Parameter Fisika dan Kimia

4.2.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor fisika yang sangat penting bagi kehidupan organisme atau biota perairan. Tiap organisme perairan mempunyai batas toleransi yang berbeda terhadap perubahan suhu. Parameter suhu atau temperatur, selain berpengaruh terhadap kehidupan organisme juga berpengaruh terhadap parameter lainnya (fisika dan kimia). Suhu juga mempengaruhi proses kelarutan logam-logam berat yang masuk ke perairan. Semakin tinggi suatu suhu perairan kelarutan logam berat akan semakin tinggi. Hasil pengukuran suhu di perairan Sungai Winongo yang telah dilakukan sebanyak 12 titik dalam tiga kali sampling berkisar antara 22°C-31°C. Berikut ini merupakan diagram box whisker plot suhu di Sungai Winongo.



Gambar 4.14 Diagram Suhu di Sungai Winongo

Suhu pada badan air sungai memiliki hubungan dengan hadirnya logam berat. Terjadinya perubahan pada suhu dapat berpengaruh terhadap pembentukan ion dalam logam berat (Wulandari & Sukesu, 2013). Nilai suhu yang bervariasi menunjukkan bahwa konsentrasi suhu pada air dipengaruhi dengan berbagai unsur eksternal seperti cuaca, angin dan arus. Terjadinya perubahan alur arus yang tiba-tiba mengakibatkan nilai suhu air ikut menurun (Patty, 2013). Peningkatan suhu pada air sungai cenderung menyebabkan pengumpulan dan toksisitas pada logam

berat akan semakin tinggi, hal tersebut disebabkan laju proses metabolisme dari organisme dalam air jadi meningkat (Sukoasih & Widiyanto, 2017). Menurut Sarjono (2009), suhu yang meningkat tidak cukup akan membuat metabolisme biota perairan jadi meningkat, tetapi juga bisa meningkatkan efek toksik logam berat di lingkungan akuatik.

4.2.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) berperan penting untuk mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan dalam perairan. Dengan diketahuinya nilai pH, kita dapat mengetahui apakah air tersebut sesuai atau tidak untuk menunjang kehidupan organisme perairan. Nilai pH suatu perairan memiliki ciri yang khusus, adanya keseimbangan antara asam dan basa dalam air dan yang diukur adalah konsentrasi ion hidrogen. Dengan adanya asam-asam mineral bebas dan asam karbonat menaikkan pH, sementara adanya karbonat, hidroksida dan bikarbonat dapat menaikkan kebasaaan air. Nilai derajat keasaman (pH) di Sungai Winongo berkisar antara 7,12-8,02. Berikut ini merupakan diagram box whisker plot pH di Sungai Winongo.



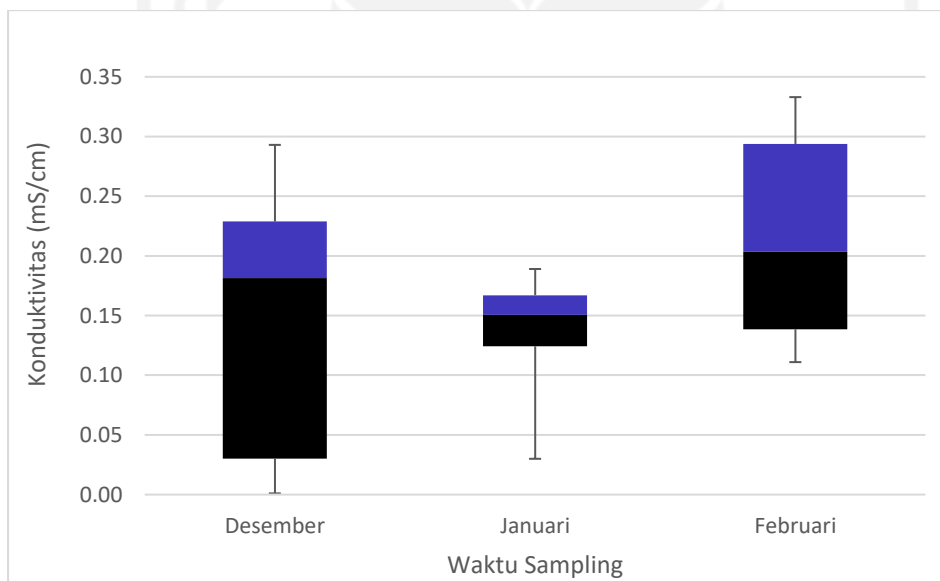
Gambar 4.15 Diagram pH di Sungai Winongo

pH dengan kondisi mendekati normal yaitu 7 – 8 dapat membuat kondisi kelarutan pada logam berat lebih stabil dan bisa saling mengikat dengan anion, sehingga bentuk logam berat dapat menjadi kompleks organologam yaitu perpaduan antara bentuk logam organik dan logam anorganik yang umumnya mengendap ke dasar perairan (Sarjanti et al., 2014). Apabila nilai pH rendah, maka

semakin tinggi kelarutan pada logam sehingga akan mengakibatkan efek toksik logam berat bertambah besar. pH di air yang mengalami kenaikan umumnya akan diikuti dengan semakin rendahnya kelarutan pada senyawa logam tersebut (Sukoasih & Widiyanto, 2017).

4.2.3 Konduktivitas

Konduktivitas atau Daya Hantar Listrik (DHL) menunjukkan kemampuan dari sebuah larutan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas merupakan ukuran terhadap konsentrasi total elektrolit di dalam air. Kandungan elektrolit yang pada prinsipnya merupakan garam-garam yang terlarut dalam air, berkaitan dengan kemampuan air di dalam menghantarkan arus listrik. Semakin banyak garam-garam yang terlarut semakin besar daya hantar listrik air tersebut. Air suling tidak mengandung garam-garam terlarut, sehingga dengan demikian bukan merupakan penghantar listrik yang baik. Nilai konduktivitas di Sungai Winongo berkisar antara 0,10-0,23 mS/cm. Berikut ini merupakan diagram box whisker plot konduktivitas di Sungai Winongo.



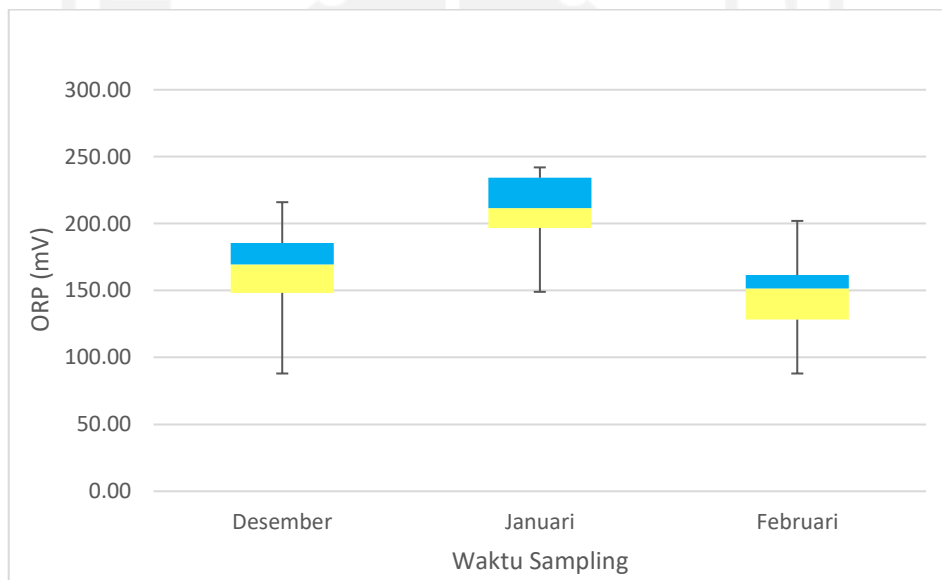
Gambar 4.16 Diagram Konduktivitas di Sungai Winongo

Daya hantar listrik yang semakin kecil dipengaruhi oleh nilai resistivitas yang meningkat, karena mineral anorganik yang sedikit dimana mengandung logam pada air sehingga dapat terjadi hambatan pada aliran arus listrik. Sedangkan daya hantar listrik tertinggi merupakan lokasi dengan kualitas air rendah karena memiliki konduktivitas listrik besar. Titik sampling dengan nilai konduktivitas listrik tertinggi dapat dipengaruhi oleh keadaan pada daerah sekitar misalnya warna air

sungai yang berubah, kecepatan arus sungai, dan pengaruh pada pasang surut air. Selain itu, Konduktivitas juga dipengaruhi oleh suhu dimana semakin hangat air, semakin tinggi konduktivitasnya (Aritonang et al., 2014).

4.2.4 Oxidation Reduction Potential (ORP)

Uji Oxidation Reduction Potential (ORP) dilakukan dengan menggunakan alat dan cara yang sama seperti uji pH dan konduktivitas di atas. Uji ORP dilakukan untuk mengetahui tingkat kemampuan air dalam membunuh bakteri yang terkandung di dalamnya. ORP menunjukkan tingkat kemampuan suatu cairan dalam membunuh bakteri dalam cairan tersebut. Semakin tinggi nilai ORP maka akan semakin cepat waktu yang dibutuhkan dalam membunuh bakteri tersebut (Endang, 2015). Nilai ORP di Sungai Winongo yaitu sekitar 124-203,67 mV. Berikut ini merupakan diagram box whisker plot ORP di Sungai Winongo.



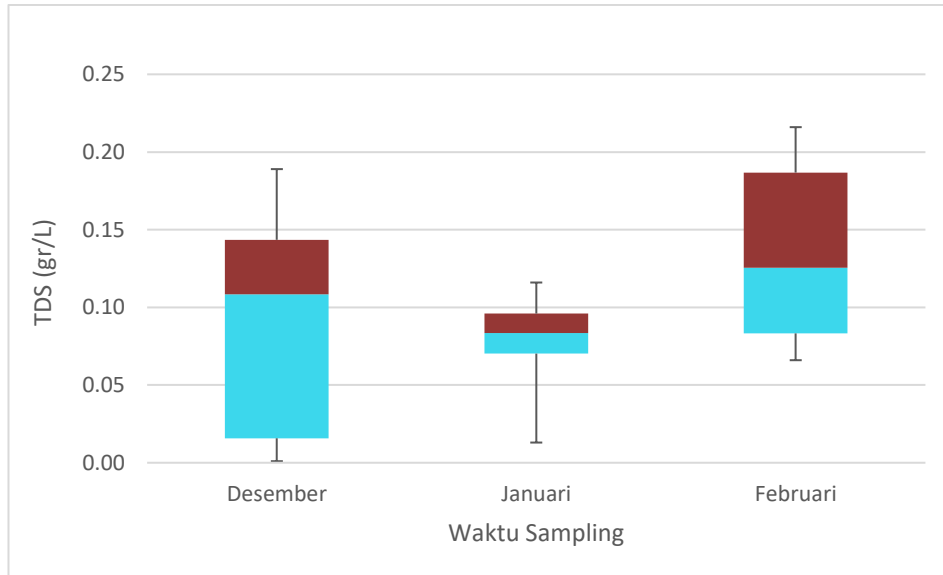
Gambar 4.17 Diagram ORP di Sungai Winongo

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

4.2.5 Total Dissolved Solid (TDS)

TDS atau padatan terlarut ini terdiri dari senyawa-senyawa organik maupun anorganik serta larutan garam mineral yang larut dalam air Sungai

Winongo. TDS merupakan jumlah padatan yang berasal dari material-material terlarut yang dapat melewati filter yang lebih kecil daripada 2 μm (Djuhariningrum, 2005). Nilai TDS yang didapatkan dari 12 titik Sungai Winongo yaitu berkisar dari 0,08-0,13 gr/L. Berikut ini merupakan diagram box whisker plot TDS di Sungai Winongo.



Gambar 4.18 Diagram TDS di Sungai Winongo

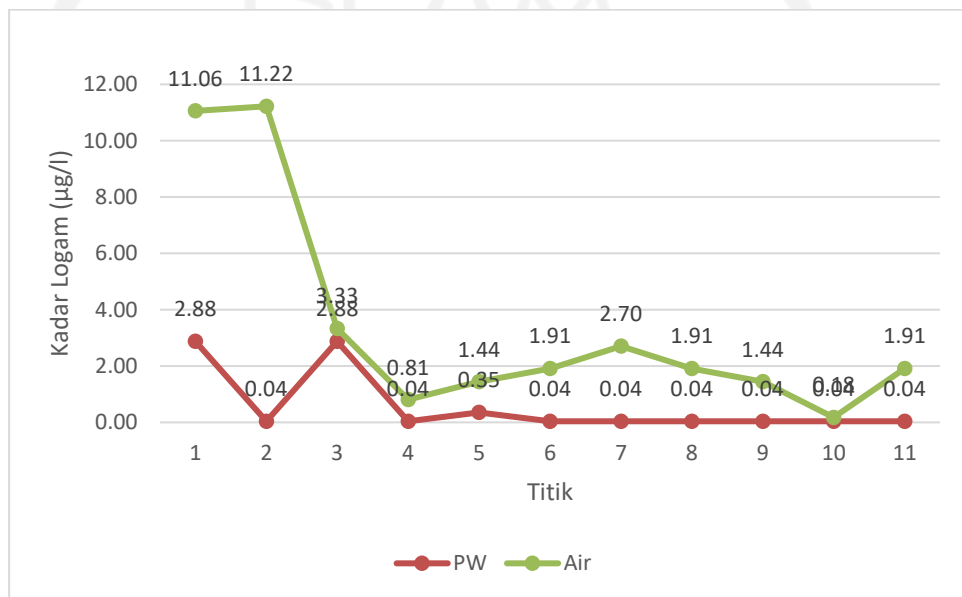
Menurut Eleonora et al., (2016), TDS suatu perairan bisa meningkat akibat buangan yang masuk ke badan sungai hasil aktivitas manusia yang mengandung logam berat. Hal tersebut menandakan bahwa hadirnya TDS di badan sungai memiliki hubungan dengan adanya logam berat. Menurut Ganiyu et al., (2021) adanya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

4.3 Pengukuran Logam Berat Pada *Pore Water* dan Air Permukaan

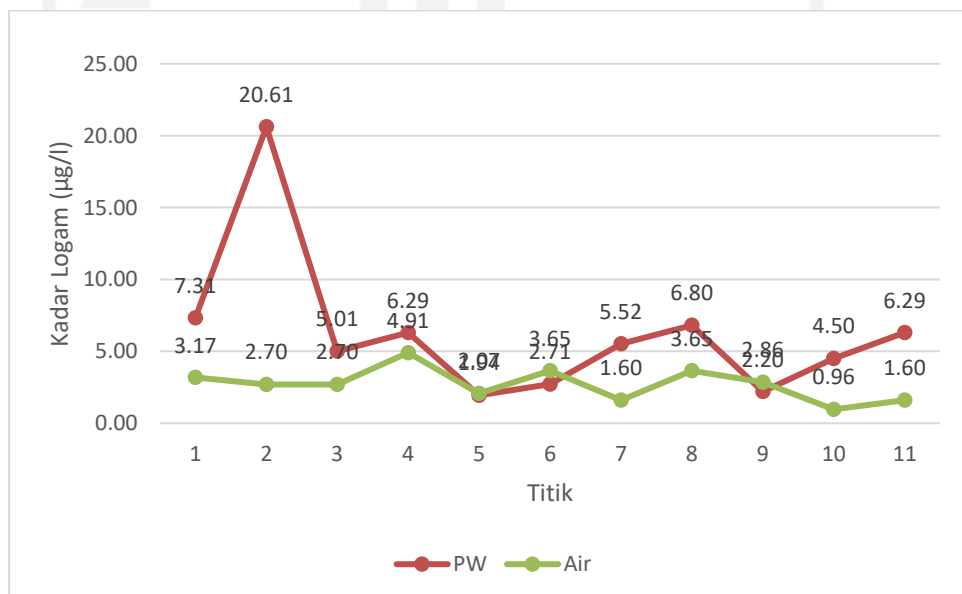
Berikut ini merupakan pengukuran logam berat pada *pore water* dan air permukaan di Sungai Winongo. Konsentrasi logam berat yang terdeteksi di *pore water* dan air permukaan dipengaruhi oleh jenis dan kuantitas sumber pencemar yang terkait dengan penggunaan lahan, jenis tanah di sekitarnya, musim dan jalur aliran sungai, serta proses fisikokimia dan biologi pada ekosistem sungai itu sendiri.

4.3.1 Tembaga (Cu)

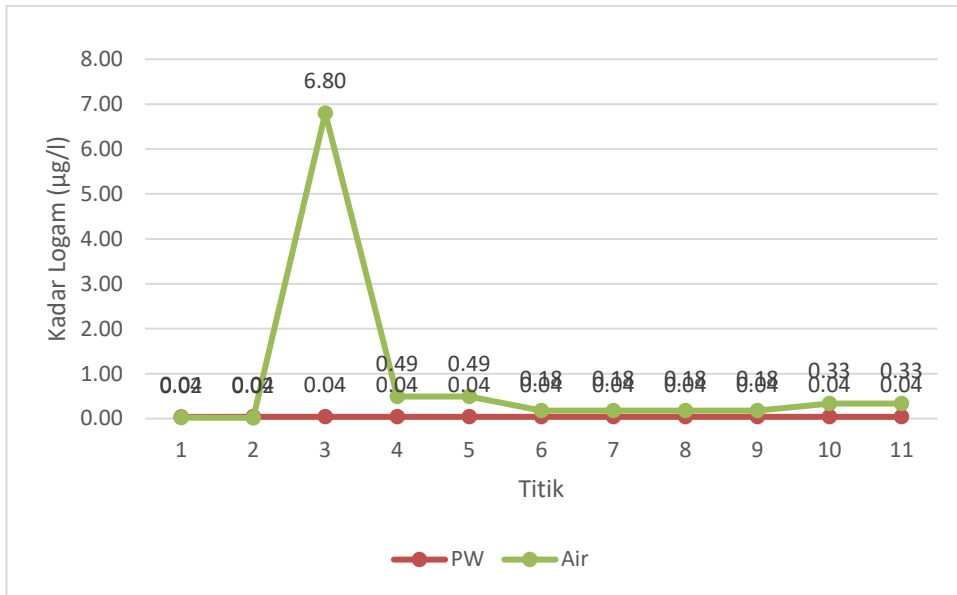
Tembaga (Cu) merupakan elemen mikro yang sangat dibutuhkan oleh organisme, baik darat maupun perairan, namun dalam jumlah yang sedikit. Keberadaan Cu di suatu perairan umum dapat berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut. Logam ini akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaannya dalam perairan selalu tersedia (Maryuli, 2012). Hasil pengamatan logam berat Cu pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



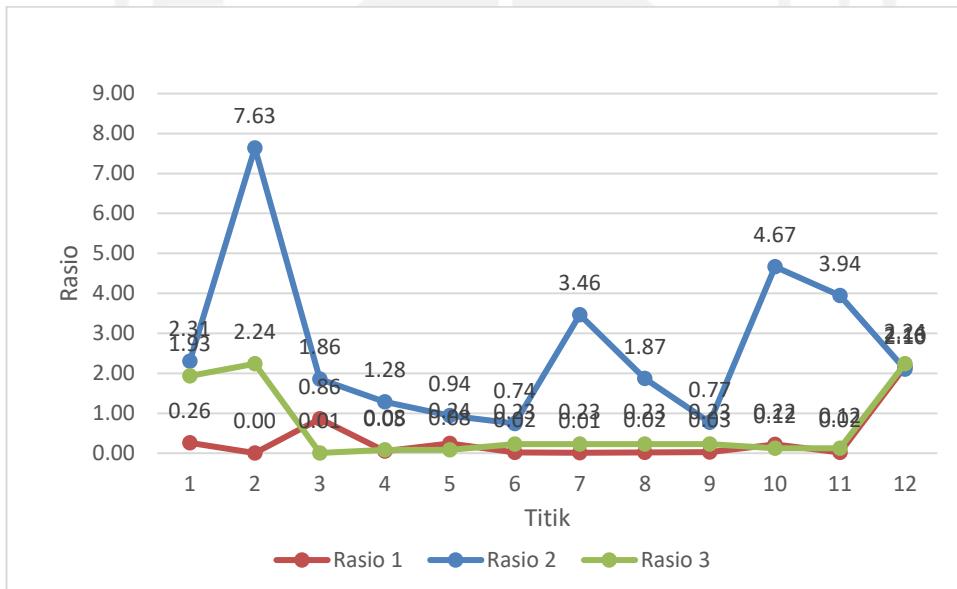
Gambar 4.199 Kandungan Logam Cu Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



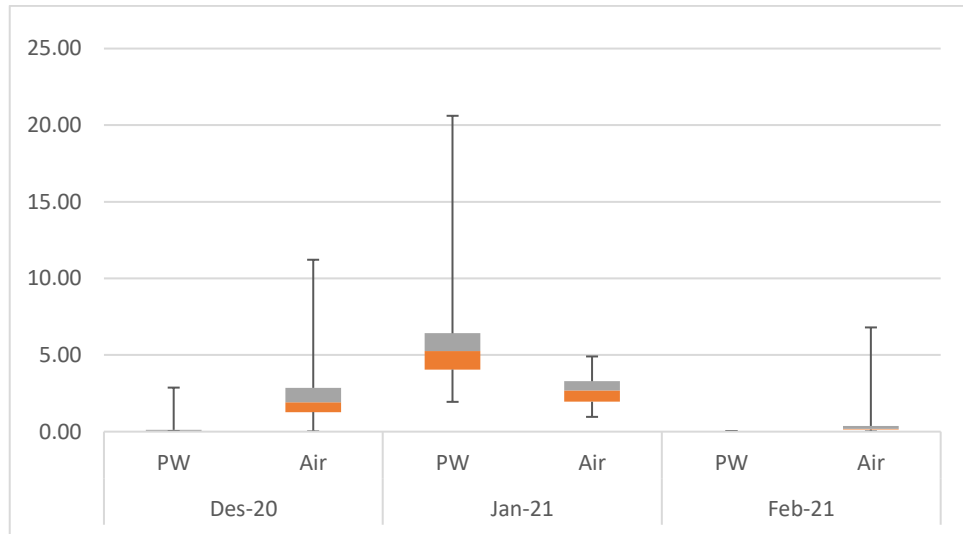
Gambar 4.20 Kandungan Logam Cu Pada Sampling 2 di Sungai Winongo



Gambar 4.21 Kandungan Logam Cu Pada Sampling 3 di Sungai Winongo



Gambar 4.22 Grafik Rasio Logam Cu



Gambar 4.23 Analisa *Box Plot* Cu Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

Dari hasil gambar 4.23 logam berat tembaga pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,039-20,613 $\mu\text{g/l}$ dengan rata-rata 0,538 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling pertama, 6,185 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua dan 0,04 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling ketiga. Kandungan tembaga tertinggi pada sampling pertama sebesar 2,876 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 20,613 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat tertinggi sebesar 0,04 $\mu\text{g/l}$. Untuk logam berat tembaga terendah pada sampling pertama sebesar 0,04 $\mu\text{g/l}$ sedangkan untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 1,945 $\mu\text{g/l}$ dan logam berat tembaga terendah pada sampling ketiga sebesar 0,04.

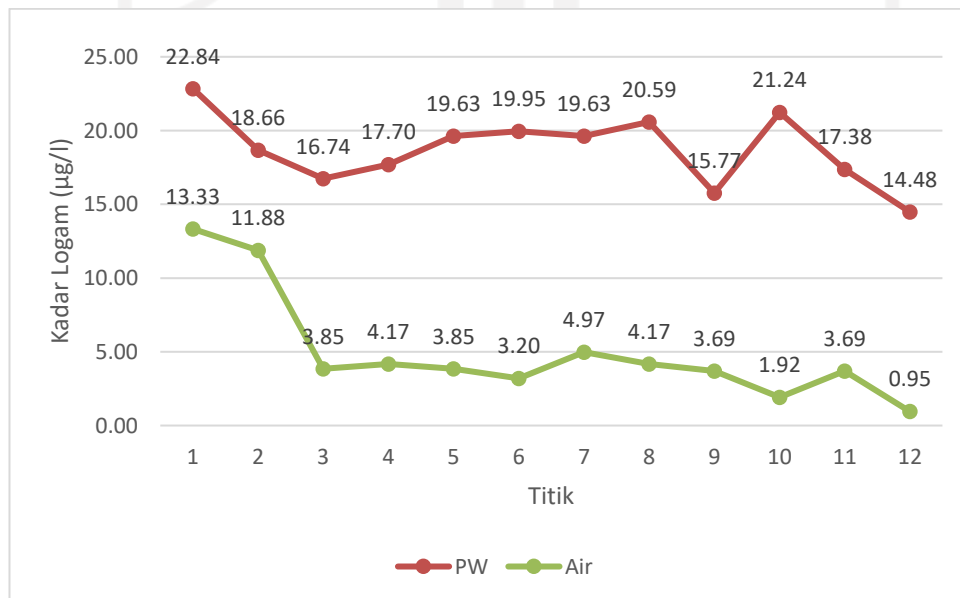
Gambar 4.23 memperlihatkan bahwa data logam berat pada air permukaan yang didapatkan pada tiga waktu berbeda memiliki data yang tidak simetris cenderung ke arah kanan serta memiliki nilai ekstrem pada bulan Desember dan Februari yaitu $> 5,22 \mu\text{g/l}$ dan Februari $> 0,73 \mu\text{g/l}$. Pada bulan Desember memiliki box yang lebih tinggi sehingga diasumsikan terdapat tingkat penyebaran dan keberagaman data. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan dua kali pengambilan sampel berada pada rentang 0,18 $\mu\text{g/l}$ hingga 2,70 $\mu\text{g/l}$ atau 0,00018 mg/L hingga 0,003 mg/L.

Banyaknya industri sekitar Sungai Winongo, seperti industri bahan bangunan dan juga bengkel dimana menggunakan zat warna dan alat-alat

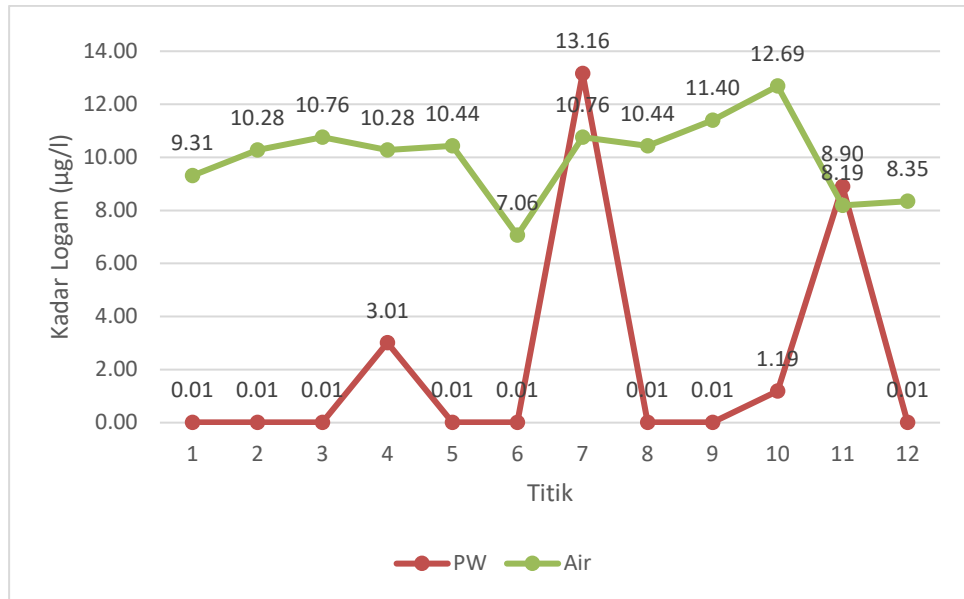
listrik dalam prosesnya menjadi penyumbang utama masuknya limbah logam Cu di air sungai. Selain industri dan bengkel, penyumbang logam Cu lainnya dapat bersumber dari buangan persawahan dan limbah domestik rumah tangga dikarenakan aliran Sungai Winongo berada di tengah padatnya pemukiman penduduk dan juga terdapat banyak persawahan di sekitar aliran. Menurut Cahyani et al., (2012), hadirnya logam Cu pada perairan dapat bersumber dari lingkup industri yang terdapat di daerah sekitar sungai tersebut.

4.3.2 Kadmium (Cd)

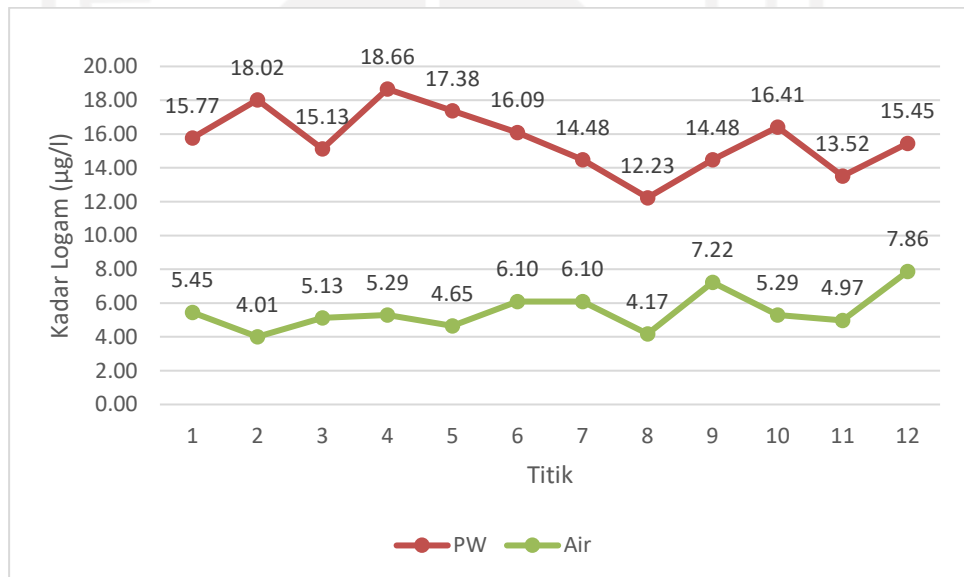
Kehadiran logam berat kadmium (Cd) di air sungai dapat terjadi secara alami dari batuan atau kerak bumi dan antropogenik (Duruibe et al.2007). Sumber antropogenik logam tembaga berasal dari dan limbah rumah tangga (Syahminan 2015) dan pestisida yang digunakan dalam kegiatan pertanian yang memasuki air sungai melalui aliran permukaan (Pal & Singh 2017). Kehadiran Cd di lahan-lahan pertanian seperti padi dilaporkan berasal dari penggunaan pupuk dan kotoran ternak (Bolan et al.2003). Hasil pengamatan logam berat Cd di Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



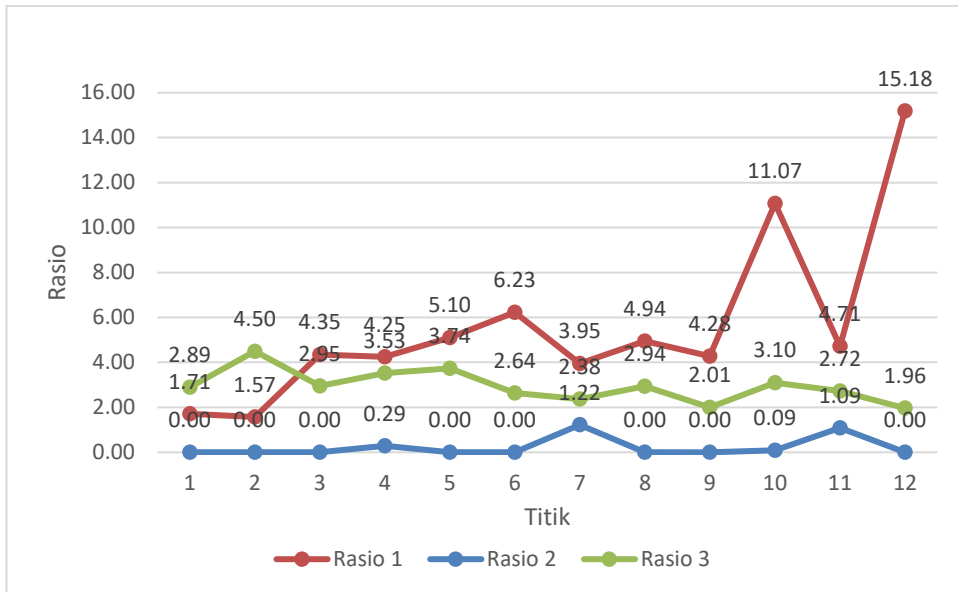
Gambar 4.24 Kandungan Logam Cd Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



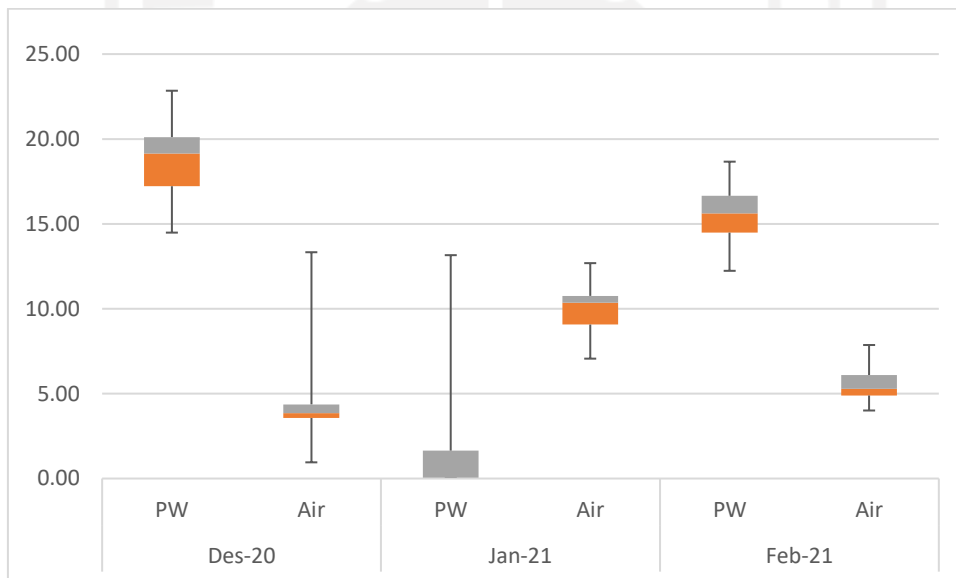
Gambar 4.25 Kandungan Logam Cd Pada Sampling 2 di Sungai Winong



Gambar 4.26 Kandungan Logam Cd Pada Sampling 3 di Sungai Winong



Gambar 4.27 Grafik Rasio Logam Cd



Gambar 4.28 Analisa *Box Plot* Cd Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.28 logam berat kadmium pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,01-22,84 $\mu\text{g/l}$ dengan rata-rata 18,72 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling pertama, 2,195 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua dan 15,637 untuk sampling ketiga. Kandungan kadmium tertinggi pada sampling pertama sebesar 22,842 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 13,157 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat tertinggi sebesar 18,664 $\mu\text{g/l}$. Untuk logam berat

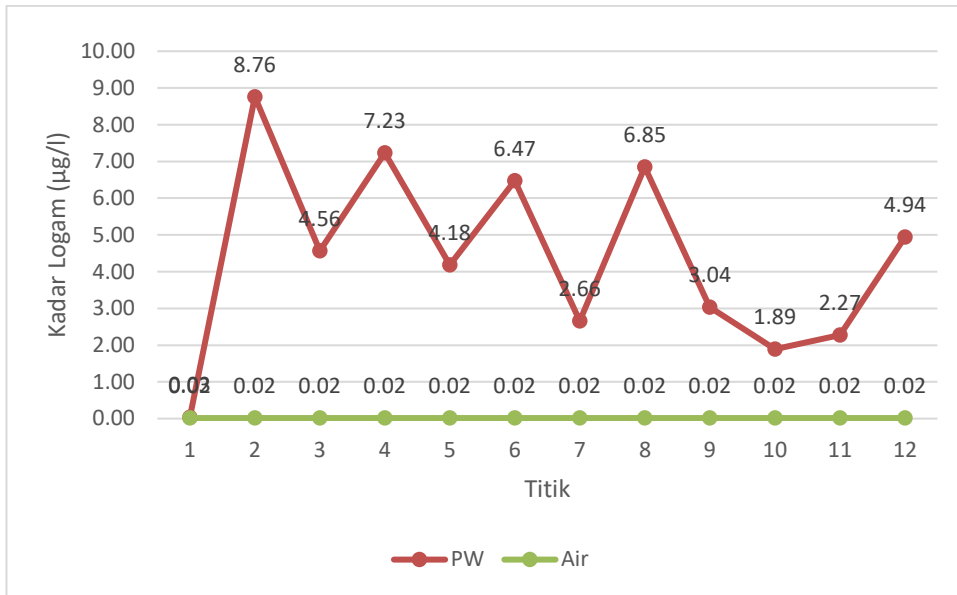
kadmium terendah pada sampling pertama sebesar 14,485 $\mu\text{g/l}$, untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 0,01 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat kadmium terendah sebesar 12,235 $\mu\text{g/l}$.

Berdasarkan gambar 4.28 data dari ketiga box air permukaan tidak simetris dan terdapat nilai ekstrem pada bulan Desember yaitu 13,33 $\mu\text{g/l}$ dimana melebihi tangkupan data yaitu $> 6,78 \mu\text{g/l}$. Pada bulan Januari memiliki tingkat penyebaran dan keberagaman data. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel berada pada rentang 3,85 $\mu\text{g/l}$ hingga 10,36 $\mu\text{g/l}$ atau 0,004 mg/L hingga 0,01 mg/L dengan nilai rata-rata konsentrasi tiap waktunya yaitu bulan Desember 4,97 $\mu\text{g/l}$, Januari 9,99 $\mu\text{g/l}$, Februari 5,52 $\mu\text{g/l}$.

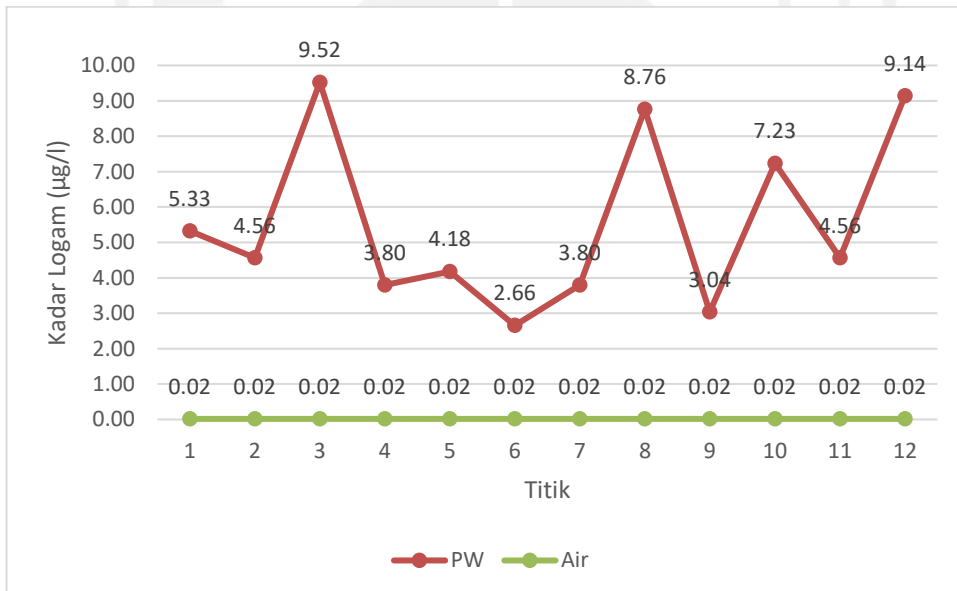
Banyaknya pabrik atau industri sekitar sungai sebagai pemicu utama tingginya konsentrasi logam Cd di sungai seperti industri pengukiran kayu dan industri patung yang dalam prosesnya melibatkan penggunaan cat. Menurut WHO (2011), konsentrasi logam Cd yang ada di dalam air sungai secara alamiah terdapat di alam dan juga diduga berasal dari kegiatan manusia. Faktor yang berasal dari kegiatan manusia adalah sampah yang dibuang ke sungai dan sekitarnya yang mengandung logam Cd seperti baterai, kabel dan elektronik, ataupun limbah dari toko elektronik yang berada di sekitar sungai.

4.3.3 Kromium (Cr)

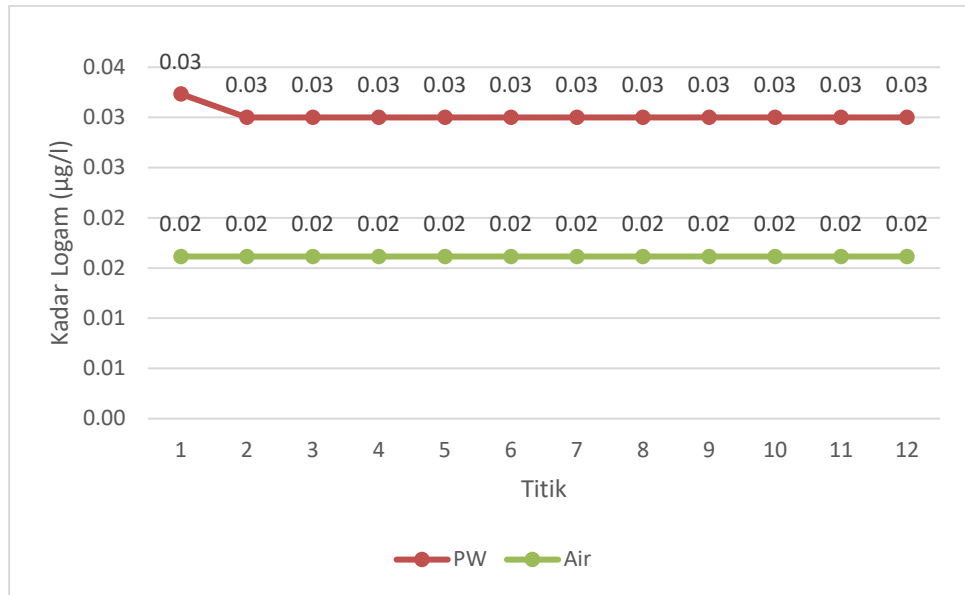
Kromium (Cr) merupakan jenis logam berat yang esensial bagi tubuh. Kromium dibutuhkan tubuh untuk metabolisme hormon insulin dan pengaturan kadar gula darah. Akan tetapi dapat bersifat toksik dalam jumlah yang sangat tinggi. Selain bersifat toksik kromium juga bersifat karsinogenik atau dapat menyebabkan kanker. Masuknya logam Cr ke dalam lingkungan salah satunya adalah akibat adanya sisa kegiatan atau limbah perindustrian. Hasil pengamatan logam berat Cr pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



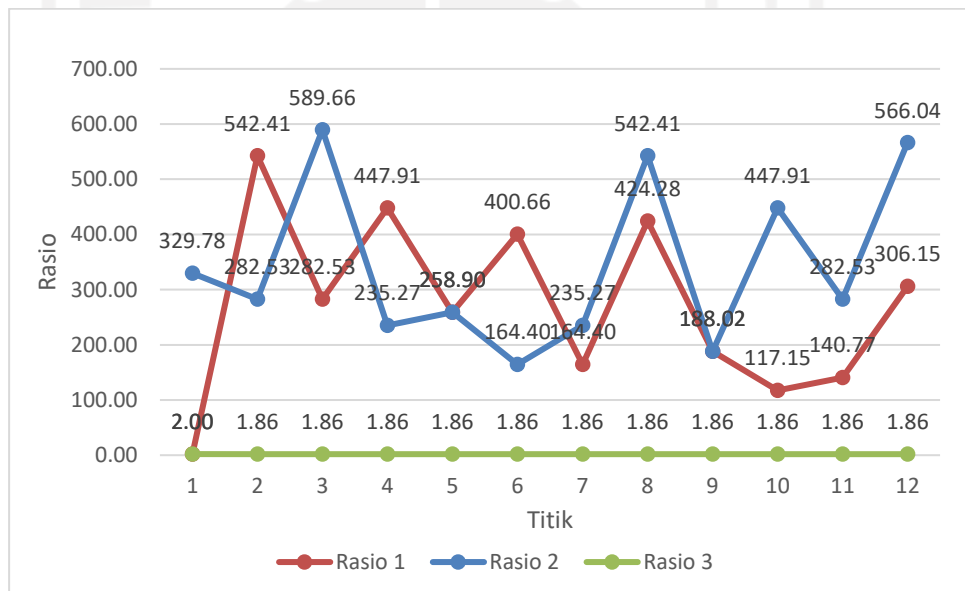
Gambar 4.29 Kandungan Logam Cr Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



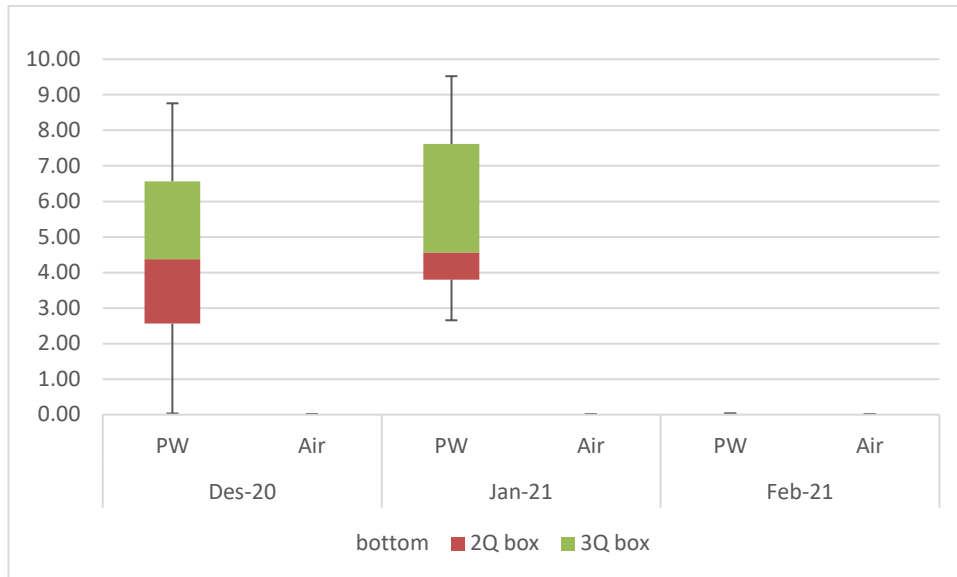
Gambar 4.30 Kandungan Logam Cr Pada Sampling 2 di Sungai Winongo



Gambar 4.31 Kandungan Logam Cr Pada Sampling 3 di Sungai Winongo



Gambar 4.32 Grafik Rasio Logam Cd



Gambar 4.33 Analisa *Box Plot* Cr Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.33 logam berat kromium pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,03-9,52 µg/l dengan rata-rata 4,408 µg/l untuk sampling pertama, 5,548 µg/l untuk sampling kedua dan 0,03 µg/l untuk sampling ketiga. Kandungan kromium tertinggi pada sampling pertama sebesar 8,76 µg/l untuk sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 9,523 µg/l serta untuk sampling ketiga logam berat kromium tertinggi sebesar 0,032. Untuk logam berat kromium terendah pada sampling pertama sebesar 0,032 µg/l sedangkan untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 2,66 µg/l serta logam berat kromium terendah pada sampling ketiga sebesar 0,03 µg/l.

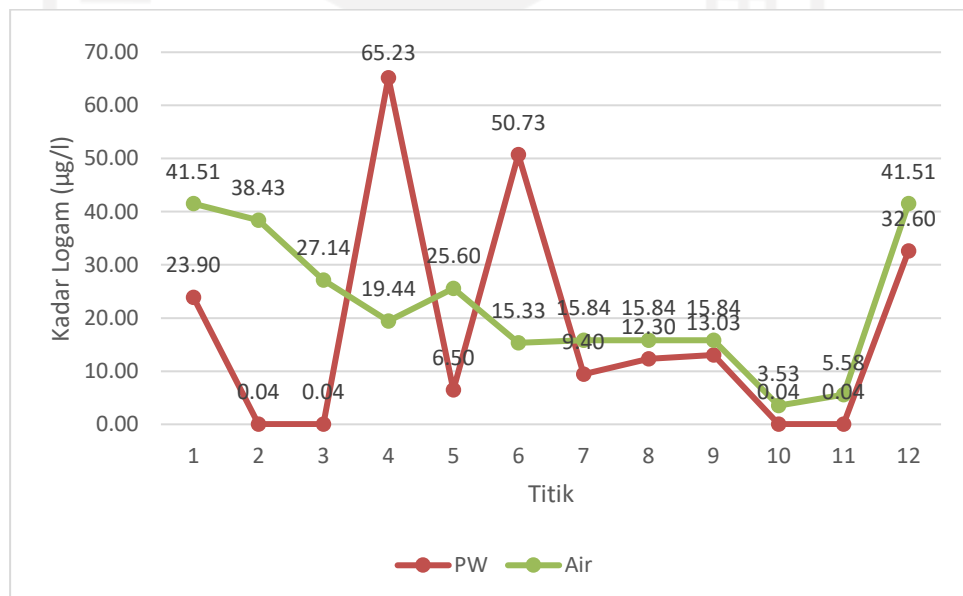
Konsentrasi kromium pada air permukaan mempunyai kadar yang sangat rendah berada di bawah tingkat batas deteksi AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer), sehingga nilai yang digunakan adalah nilai LoD dimana merupakan batas terkecil yang menyatakan konsentrasi analit terendah yang bisa dideteksi oleh jenis sampel, metode, dan instrument tertentu (Barwick et al, 2014). Nilai LoD untuk logam kromium yaitu $\leq 0,016$ (µg/l).

Menurut Daelsch et al., (2006), logam Cr merupakan logam yang berasal dari alam seperti aktivitas vulkanik dan aktivitas antropogenik seperti pertanian yang menggunakan pupuk dan pestisida. Parameter kualitas air

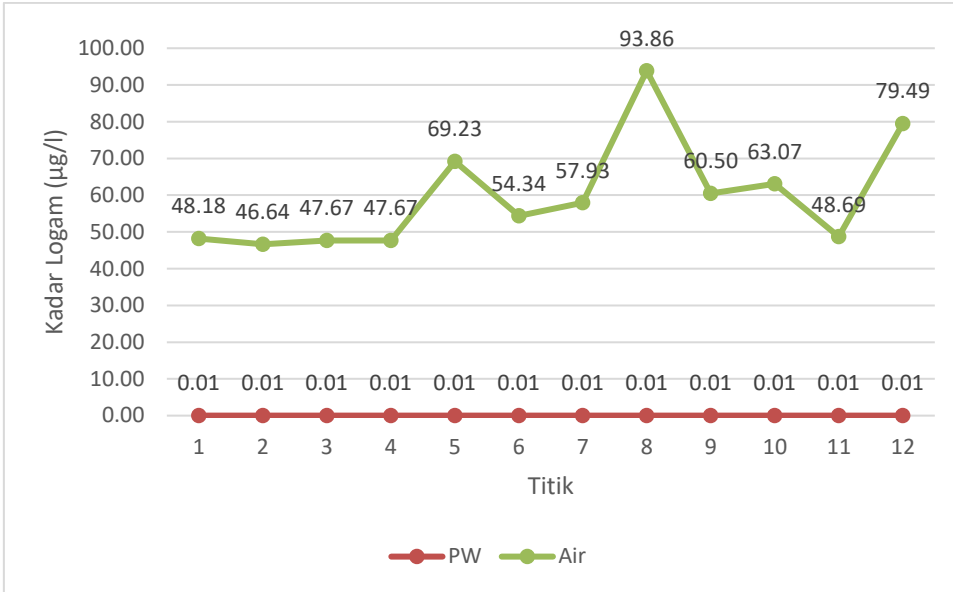
kimia seperti pH juga memiliki hubungan terhadap hadirnya logam Cr di air dimana konsentrasi pH yang didapat pada setiap sampling selalu tinggi. Dengan demikian menurut (Nuraini et al., 2017), nilai pH yang meningkat dapat terbentuknya senyawa kompleks yaitu transformasi wujud karbonat menjadi hidroksida yang sukar larut pada air sehingga akan saling bergabung dengan unsur air lalu akan mengendap di dasar perairan. Terdapat faktor lain yang kemungkinan menjadi penyumbang keberadaan logam Cr yaitu difusi Cr dari tanah yang terkontaminasi lindi dari industri dapat menjadi salah satu faktor yang bertanggung jawab atas keberadaannya di air sungai (Bhardwaj & Sharma, 2019).

4.3.4 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) termasuk dalam kelompok logam yang beracun dan berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup. Limbah Timbal (Pb) dapat masuk ke badan perairan secara alamiah yakni dengan pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Penggunaan Pb dalam skala yang besar dapat mengakibatkan polusi baik di daratan maupun perairan. Hasil pengamatan logam berat Pb pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



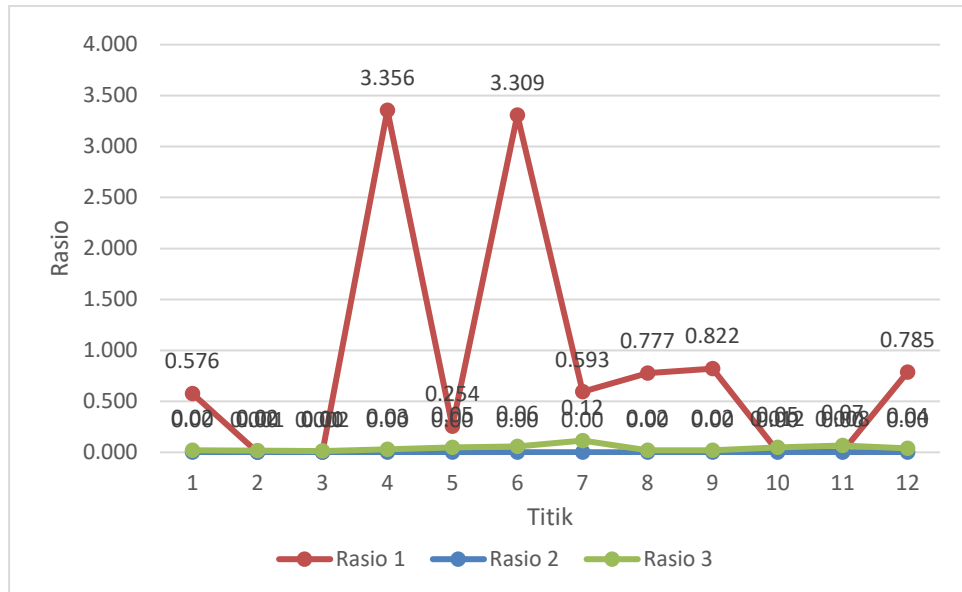
Gambar 4.34 Kandungan Logam Pb Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



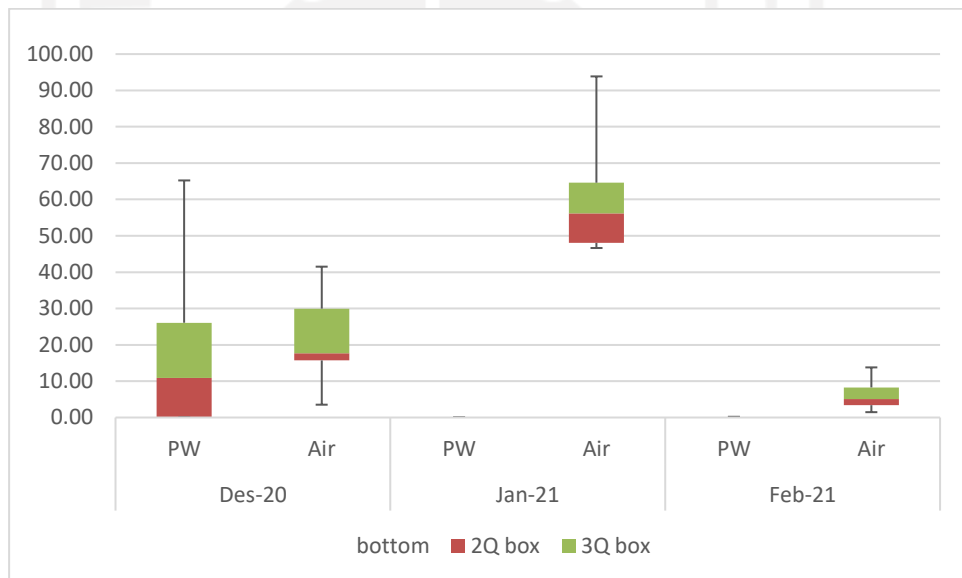
Gambar 4.35 Kandungan Logam Pb Pada Sampling 2 di Sungai Winongo



Gambar 4.36 Kandungan Logam Pb Pada Sampling 3 di Sungai Winongo



Gambar 4.37 Grafik Rasio Logam Pb



Gambar 4.38 Analisa *Box Plot* Pb Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.38 logam berat timbal pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,01-65,231 $\mu\text{g/l}$ dengan rata-rata 17,823 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling pertama, 0,01 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua dan 0,17 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling ketiga. Kandungan timbal tertinggi pada sampling pertama sebesar 65,231 $\mu\text{g/l}$ sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 0,01 $\mu\text{g/l}$ dan sampling ketiga tertinggi sebesar 0,17. Untuk logam berat timbal terendah pada sampling

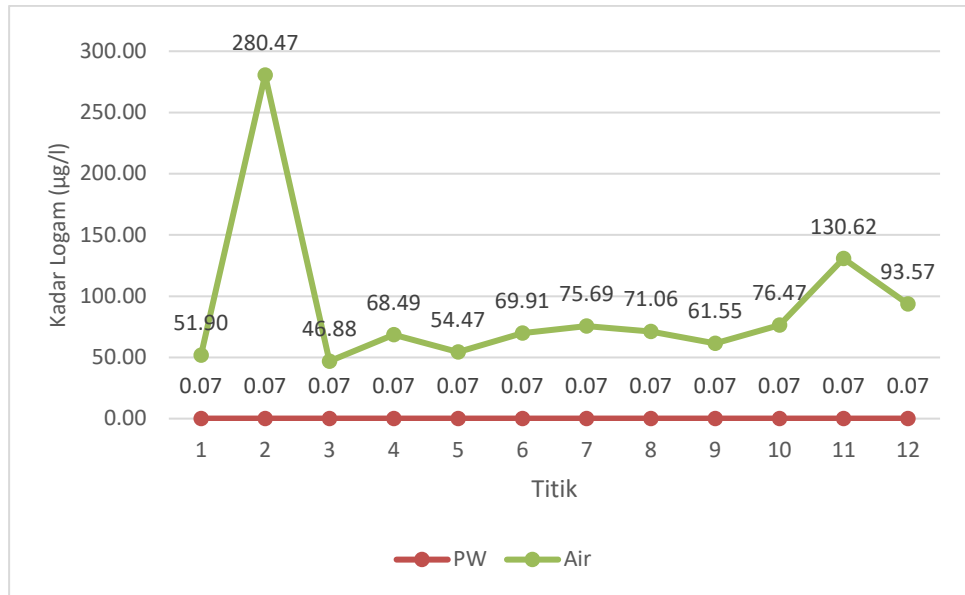
pertama sebesar 0,042 $\mu\text{g/l}$ sedangkan untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 0,01 $\mu\text{g/l}$ dan sampling ketiga logam berat terendah sebesar 0,166 $\mu\text{g/l}$.

Hasil dari gambar 4.38 diatas, diketahui bahwa ketiga *box* air permukaan memiliki data yang tidak simetris dikarenakan garis median tidak berada di tengah dan garis whisker memiliki panjang yang tidak sama serta adanya nilai outlier pada bulan Januari yaitu 93,86 $\mu\text{g/l}$ dimana telah melebihi batas tangkupan data yaitu $> 89 \mu\text{g/l}$. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel berada pada rentang 1,47 $\mu\text{g/l}$ hingga 56,14 $\mu\text{g/l}$ atau 0,00147 mg/L hingga 0,05 mg/L.

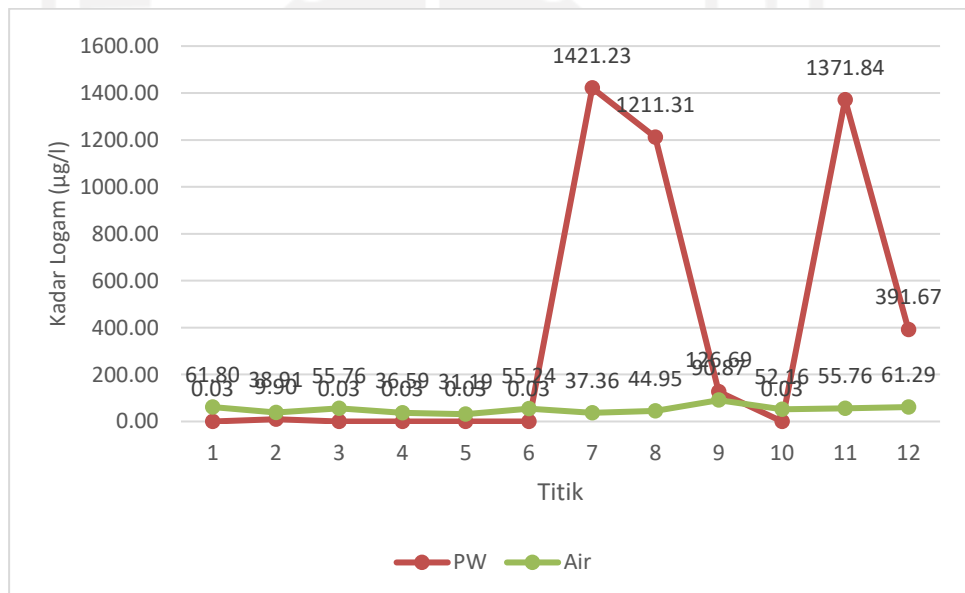
Faktor adanya logam Pb di lingkungan akibat aktivitas alam yang berasal dari erupsi Gunung Merapi dan geokimia. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Wahyuni et al., (2012), yang menyatakan bahwa kandungan abu vulkanik dari erupsi Gunung Merapi terdiri dari berbagai unsur seperti timbal (Pb), Barium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

4.3.5 Mangan (Mn)

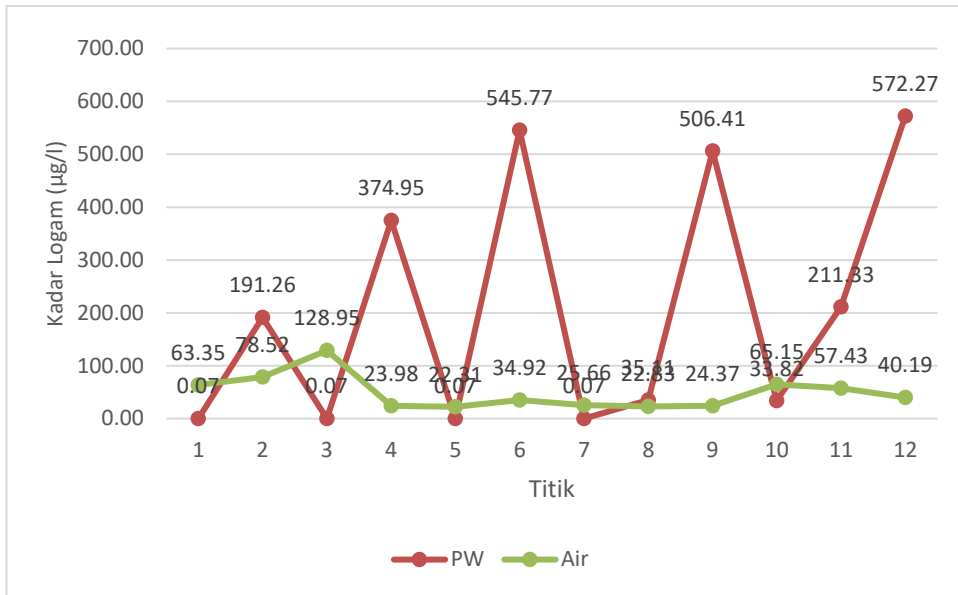
Mangan (Mn) adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi, mangan berada dalam bentuk manganous (Mn^{2+}) dan manganik (Mn^{4+}). Di dalam tanah, Mn^{4+} berada dalam bentuk senyawa mangan dioksida. Hasil pengamatan logam berat Mn pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



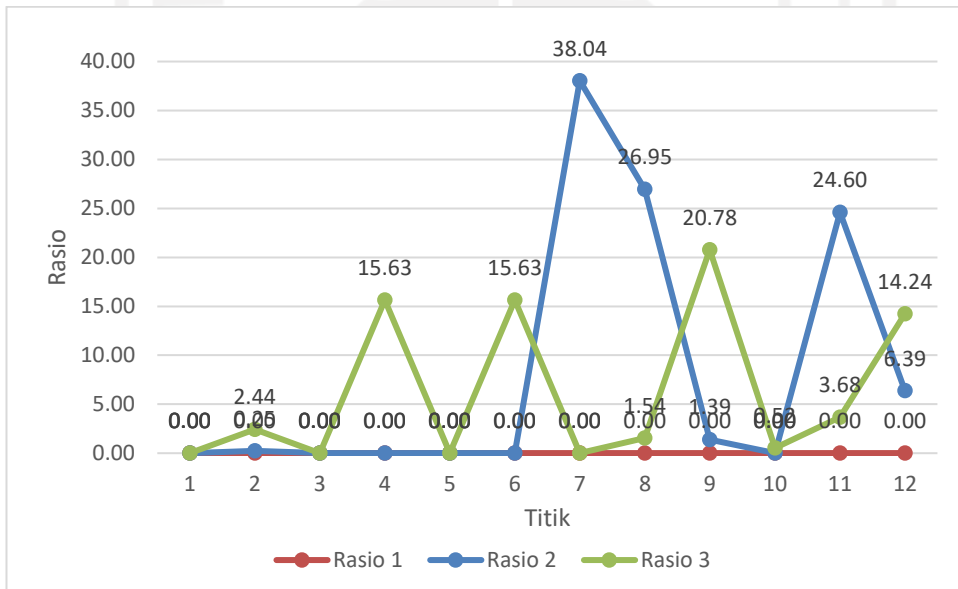
Gambar 4.39 Kandungan Logam Mn Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



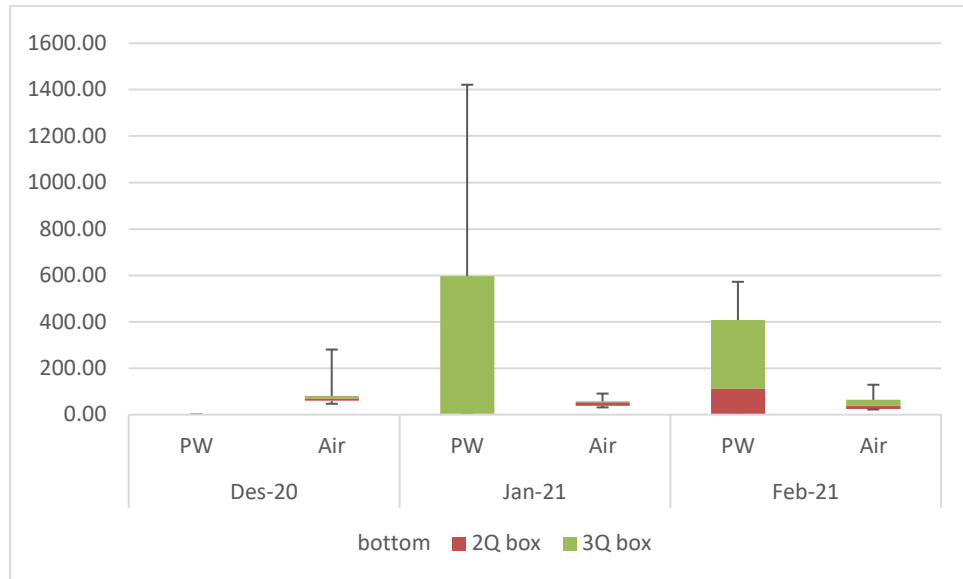
Gambar 4.40 Kandungan Logam Mn Pada Sampling 2 di Sungai Winongo



Gambar 4.41 Kandungan Logam Mn Pada Sampling 3 di Sungai Winongo



Gambar 4.42 Grafik Rasio Logam Mn



Gambar 4.43 Analisa *Box Plot* Mn Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

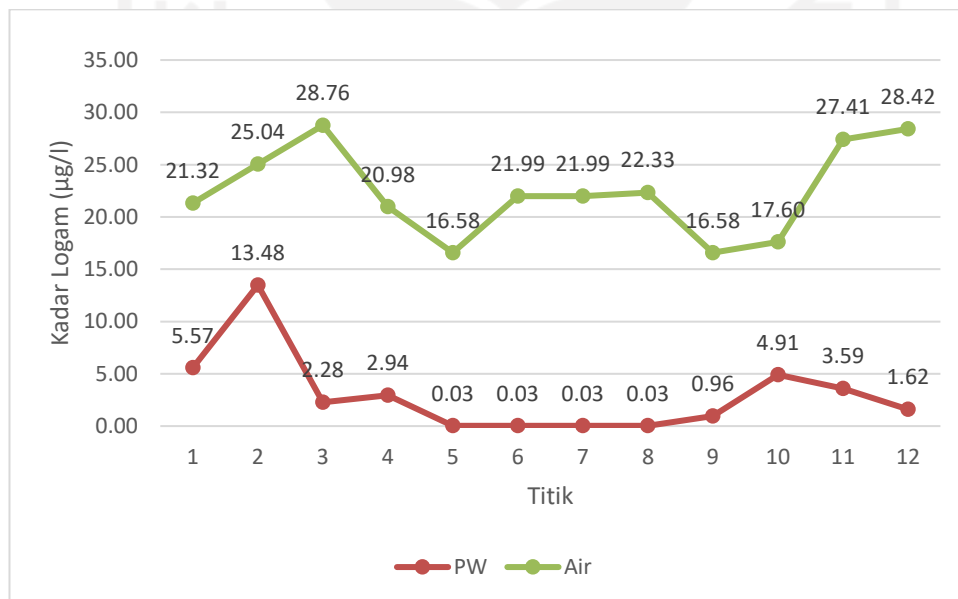
Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.43 logam berat mangan pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,034-1421,233 µg/l dengan rata-rata 0,069 µg/l untuk sampling pertama, 377,737 µg/l untuk sampling kedua dan 205,934 µg/l untuk sampling ketiga. Kandungan mangan tertinggi pada sampling pertama sebesar 0,069 µg/l untuk sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 1421,233 µg/l dan untuk sampling ketiga tertinggi sebesar 572,269 µg/l. Untuk logam berat mangan terendah pada sampling pertama sebesar 0,069 µg/l sedangkan untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 0,034 µg/l dan sampling ketiga logam berat terendah sebesar 0,069 µg/l.

Berdasarkan hasil perhitungan logam berat pada air permukaan dan dapat dilihat dari gambar 4.43 bahwa data tiap waktunya tidak simetris karena garis median pada bulan Januari dan Februari tidak berada di tengah dan garis whisker ketiga box tidak sama panjang. Pada bulan Februari memiliki box yang lebih panjang menandakan bahwa terdapat tingkat penyebaran dan data yang beragam. Sedangkan pada bulan Desember memiliki nilai ekstrem yaitu 280,47 µg/l dimana telah melebihi batas ekstrem > 143,6 µg/l. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan tiga kali pengambilan sampel berada pada rentang 37,56 µg/l hingga 70,49 µg/l atau 0,037 mg/L hingga 0,07 mg/L.

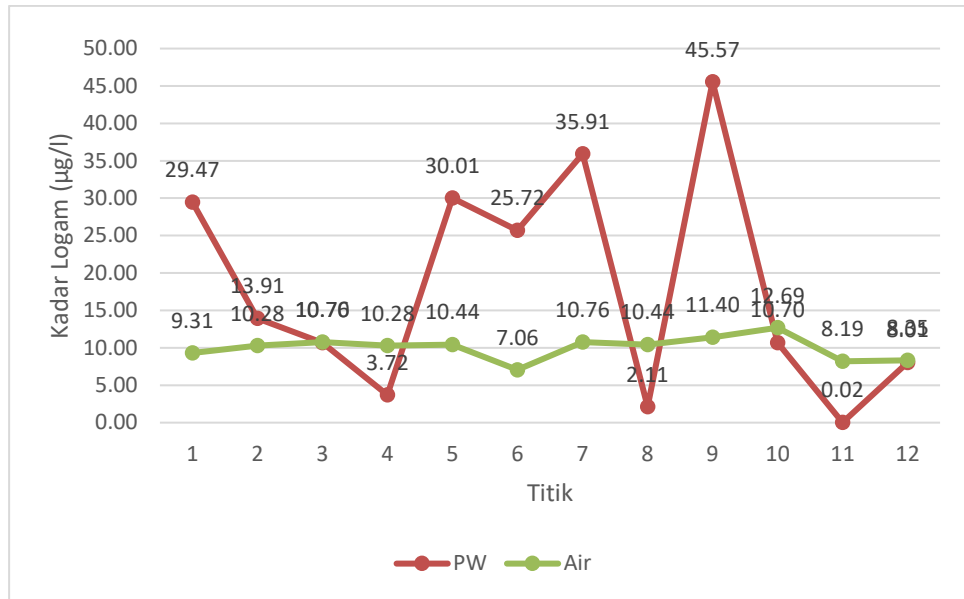
Hal yang menjadi penyebab tingginya kadar Mn yaitu aliran sungai berada di tengah padatnya pemukiman serta berada dekat dengan jalan raya. Faktor lalu lintas menjadi salah satu penyebab tingginya kadar Mn. Selain itu, terdapat beberapa toko elektronik di daerah sekitar sehingga kemungkinan terdapat input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

4.3.6 Nikel (Ni)

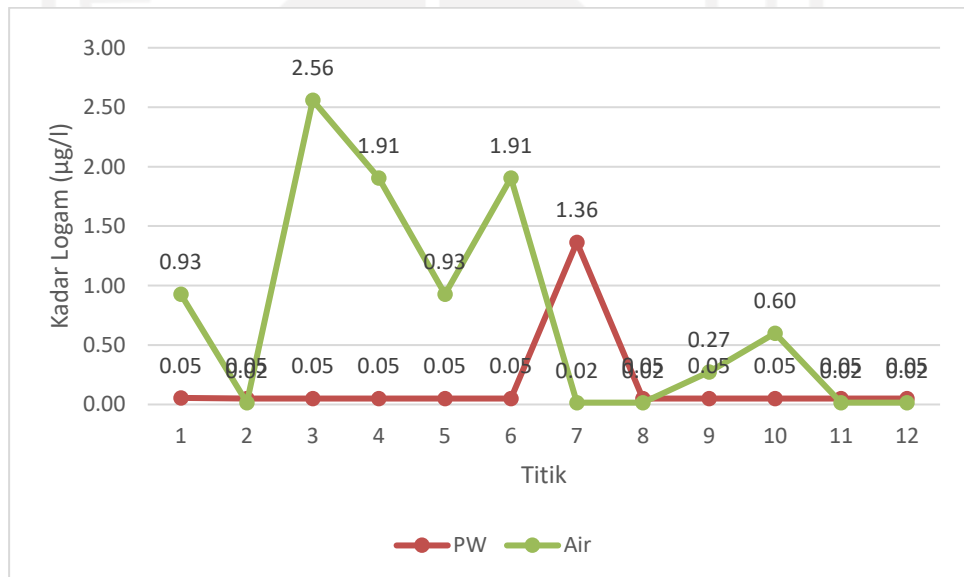
Berbagai logam berat dapat bersifat toksik, salah satunya adalah logam nikel (Ni) walaupun merupakan logam esensial yang dibutuhkan tetapi keberadaannya dalam jumlah berlebih dapat mempengaruhi organisme hidup. Logam Ni termasuk unsur yang memiliki toksisitas rendah. Tetapi keberadaan logam berat di perairan dengan kisaran yang tinggi dapat menimbulkan terjadinya proses akumulasi di dalam tubuh organisme air secara alamiah. Hasil pengamatan logam berat Ni pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



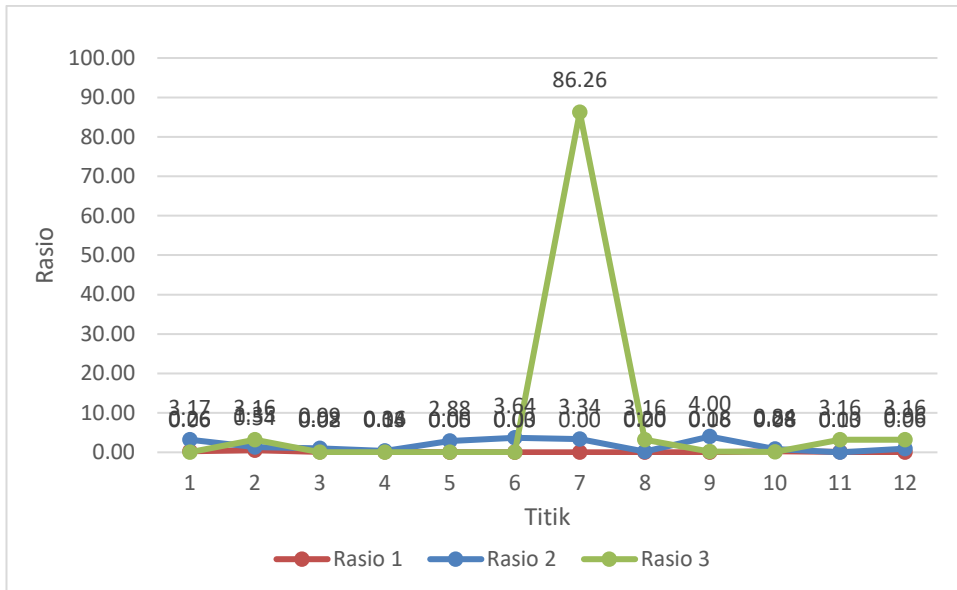
Gambar 4.44 Kandungan Logam Ni Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



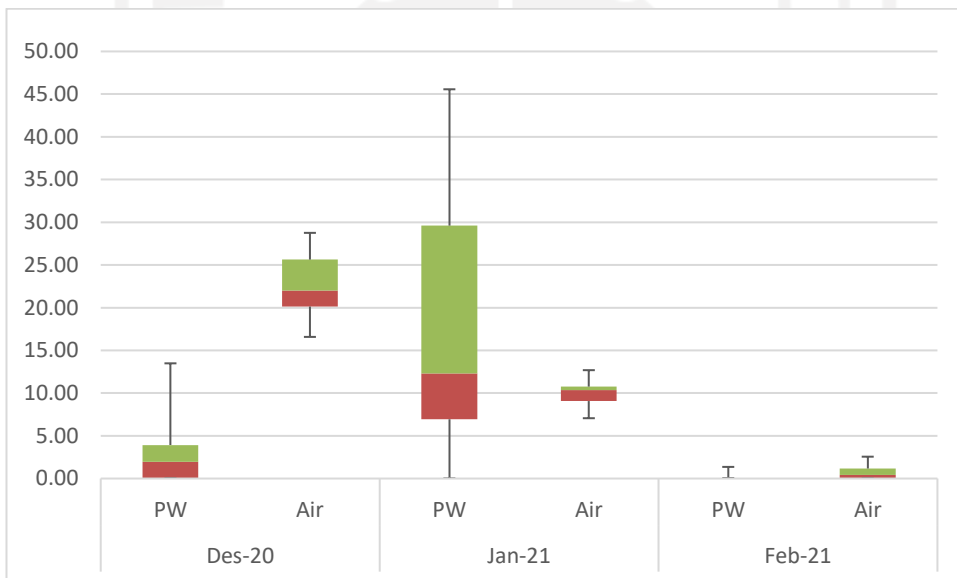
Gambar 4.45 Kandungan Logam Ni Pada Sampling 2 di Sungai Winongo



Gambar 4.46 Kandungan Logam Ni Pada Sampling 3 di Sungai Winongo



Gambar 4.47 Grafik Rasio Logam Ni



Gambar 4.48 Analisa *Box Plot* Ni Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.48 logam berat nikel pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,018-45,568 $\mu\text{g/l}$ dengan rata-rata 2,955 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling pertama, 17,988 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua dan 0,16 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling ketiga. Kandungan nikel tertinggi pada sampling pertama sebesar 13,484 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 45,568 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat tertinggi sebesar 1,363 $\mu\text{g/l}$. Untuk logam berat nikel

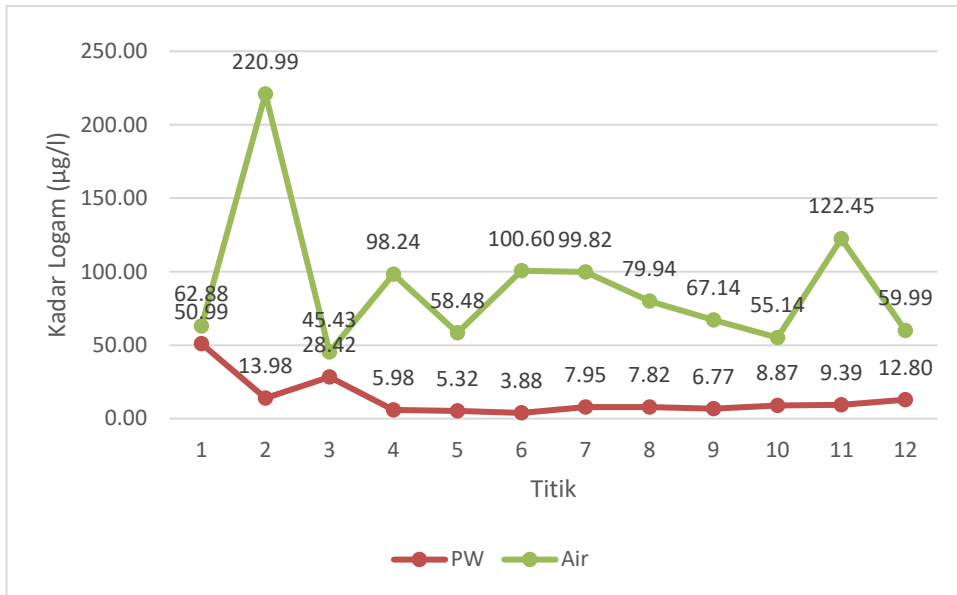
terendah pada sampling pertama sebesar 0,029 $\mu\text{g/l}$ sedangkan untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 0,018 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat terendah sebesar 0,05 $\mu\text{g/l}$.

Berdasarkan hasil perhitungan logam berat di air permukaan dan dapat dilihat dari gambar 4.48 diatas, diketahui bahwa pada bulan Desember memiliki data yang simetris dengan garis median berada di tengah, kedua garis whisker sama panjang, dan tidak terdapat nilai outlier dan nilai ekstrem. Sedangkan pada bulan Januari dan Februari memiliki data yang tidak simetris tetapi juga tidak memiliki nilai outlier dan nilai eksterm. Terlihat juga pada bulan Desember memiliki box lebih panjang sehingga diasumsikan memiliki tingkat penyebaran dan keberagaman data. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan dua kali pengambilan sampel berada pada rentang 0,44 $\mu\text{g/l}$ – 21,99 $\mu\text{g/l}$ atau 0,0004 mg/L hingga 0,022 mg/L.

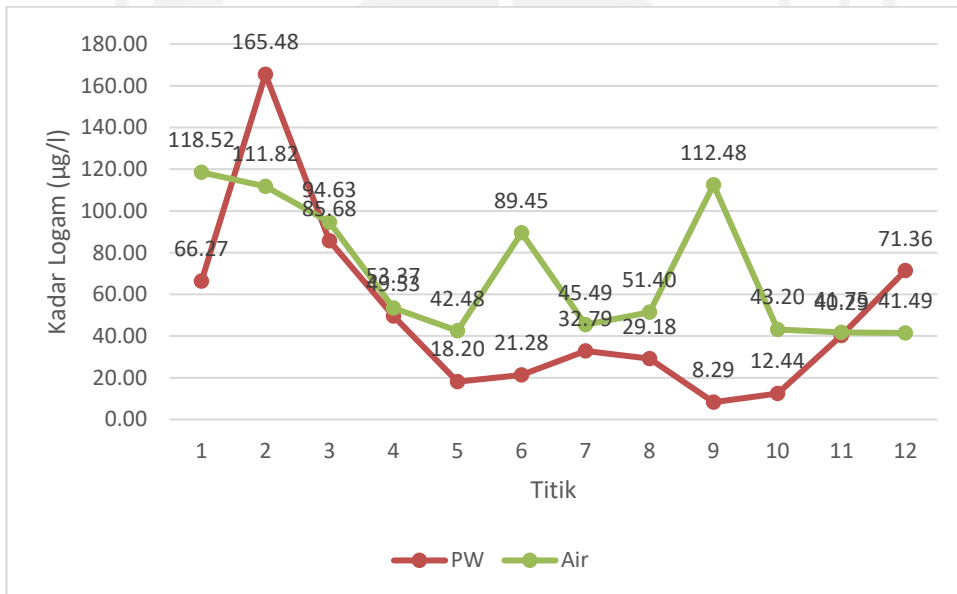
Adanya limbah dari berbagai industri mengandung senyawa nikel yang berbahaya seperti NiSO_4 dan NiCl_2 (Viobeth et al., 2013). Pernyataan tersebut didukung oleh Wibowo et al., (2020) yang mengatakan bahwa tingginya konsentrasi logam nikel di perairan juga dapat muncul dari kegiatan antropogenik misalnya peleburan, pemurnian logam, dan pertambangan. Selain itu menurut Bhardwaj & Sharma (2019), lalu lintas kendaraan di sekitar daerah sungai juga menjadi penyumbang hadirnya Ni.

4.3.7 Besi (Fe)

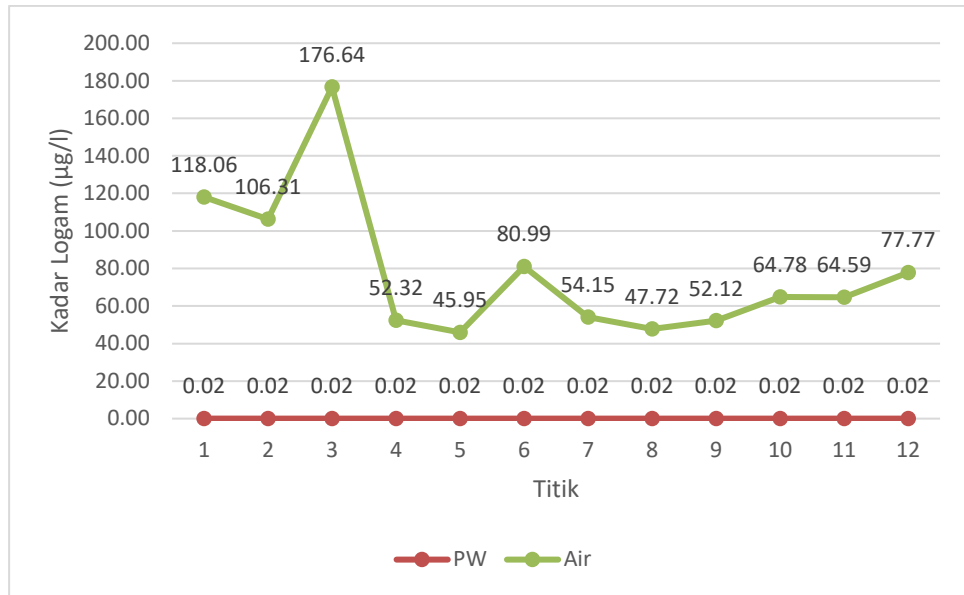
Besi (Fe) merupakan logam berat yang dibutuhkan dimana zat ini dibutuhkan dalam proses untuk menghasilkan oksidasi enzim cytochrome dan pigmen pernapasan (haemoglobin). Logam ini akan menjadi racun apabila keadaannya terdapat dalam konsentrasi di atas normal (Hasbi, 2007). Logam Fe merupakan logam essensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek racun (Supriyantini, E., dkk, 2015). Hasil pengamatan logam berat Fe pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



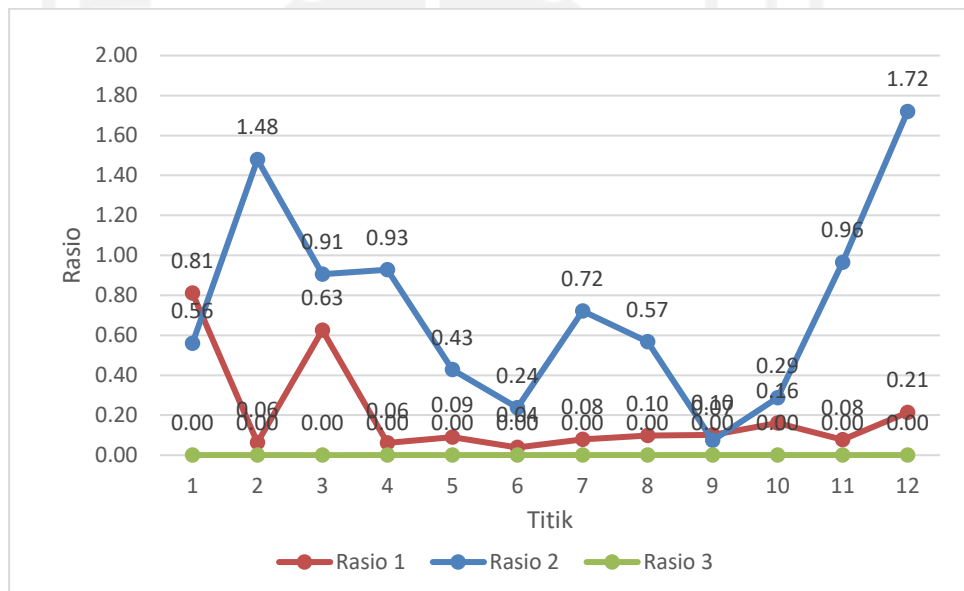
Gambar 4.49 Kandungan Logam Fe Pada Sampling 1 di Sungai Winongo



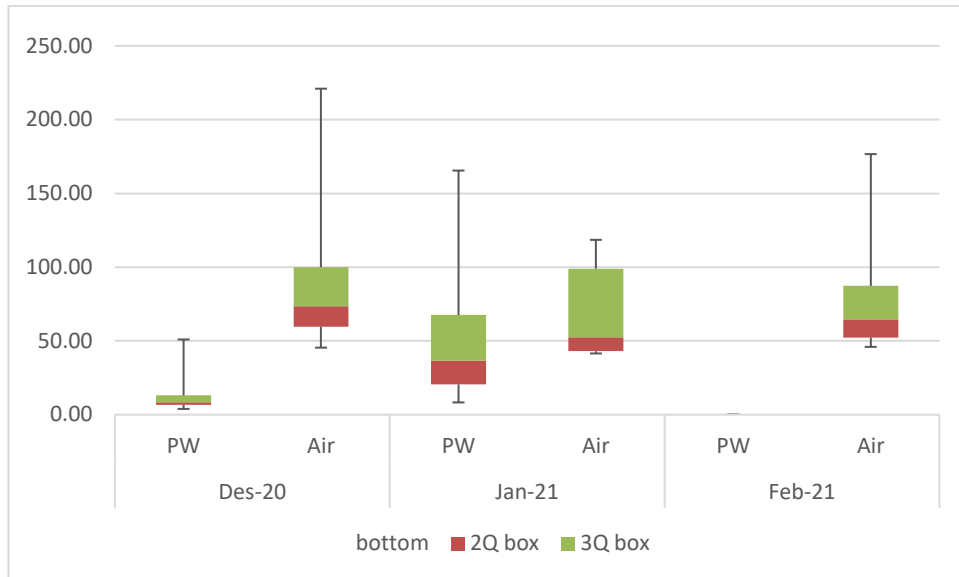
Gambar 4.50 Kandungan Logam Fe Pada Sampling 2 di Sungai Winongo



Gambar 4.51 Kandungan Logam Fe Pada Sampling 3 di Sungai Winongo



Gambar 4.52 Grafik Rasio Logam Fe



Gambar 4.53 Analisa *Box Plot* Mn Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengamatan gambar 4.53 logam berat besi pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,02-165,481 $\mu\text{g/l}$ dengan rata-rata 13,513 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling pertama, 50,067 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua dan 0,02 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling ketiga. Kandungan besi tertinggi pada sampling pertama sebesar 50,985 $\mu\text{g/l}$ untuk sampling kedua logam berat tertinggi sebesar 165,481 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat tertinggi sebesar 0,024 $\mu\text{g/l}$. Untuk logam berat besi terendah pada sampling pertama sebesar 3,879 $\mu\text{g/l}$ sedangkan untuk sampling kedua logam berat terendah sebesar 8,293 $\mu\text{g/l}$ dan untuk sampling ketiga logam berat terendah sebesar 0,02 $\mu\text{g/l}$.

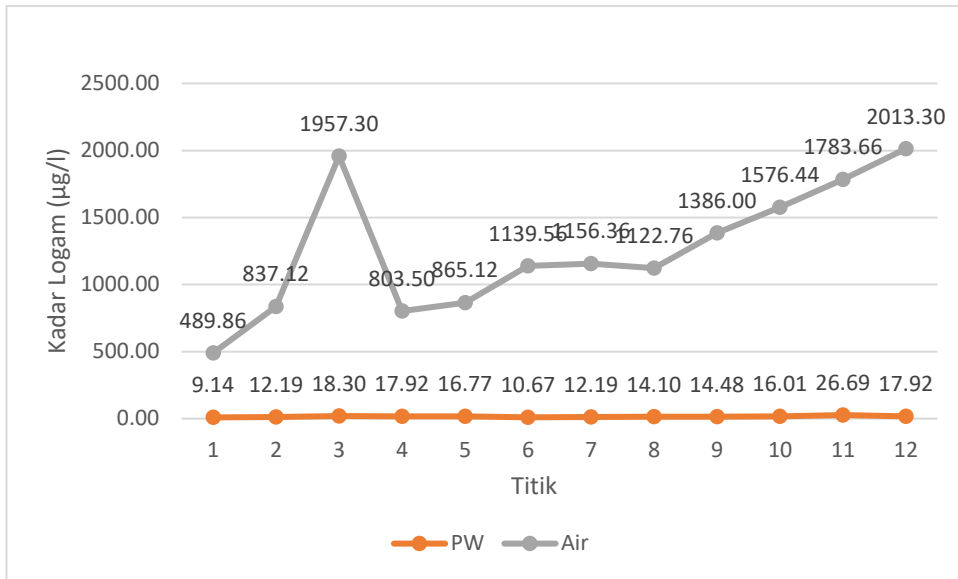
Berdasarkan gambar 4.53 *box whisker* air permukaan diatas, terlihat bahwa ketiga box memiliki data yang tidak simetris dikarenakan garis median tidak berada di tengah dan garis whisker condong kearah kanan, serta terlihat bahwa bulan Januari memiliki tingkat penyebaran dan data yang beragam. Namun demikian, tidak ditemukan nilai outlier pada data logam Fe. Nilai median yang didapatkan dari 12 titik dengan dua kali pengambilan sampel berada pada rentang 52,38 $\mu\text{g/l}$ hingga 73,54 $\mu\text{g/l}$ atau 0,05 mg/L hingga 0,07 mg/, dengan nilai rata-rata tiap waktunya yaitu bulan Desember 89,26 $\mu\text{g/l}$, Januari 70,51 $\mu\text{g/l}$, dan Februari 78,45 $\mu\text{g/l}$.

Banyaknya pabrik atau industri sekitar Sungai Winongo seperti industri percetakan, bengkel dan toko elektronik memicu terjadinya peningkatan logam Fe karena limbah buangan yang dialirkan ke sungai. Selain itu, sampah-sampah yang berada di sekitar maupun di dalam air Sungai Winongo memicu terjadinya peningkatan logam Fe seperti sampah kaleng yang sudah berkarat. Kaleng bekas yang sudah berkarat mengandung besi dan terurai dalam air menyebabkan kadar besi meningkat di perairan (Nurhaini & Affandi, 2017). Berdasarkan penelitian Bhardwaj et al., (2019), logam Fe dapat berasal dari pembuangan limbah industri dan domestik yang tidak diolah terlebih dahulu melalui saluran pipa besi yang sudah berkarat ke badan sungai, dan limbah dari bengkel kendaraan di daerah sekitar.

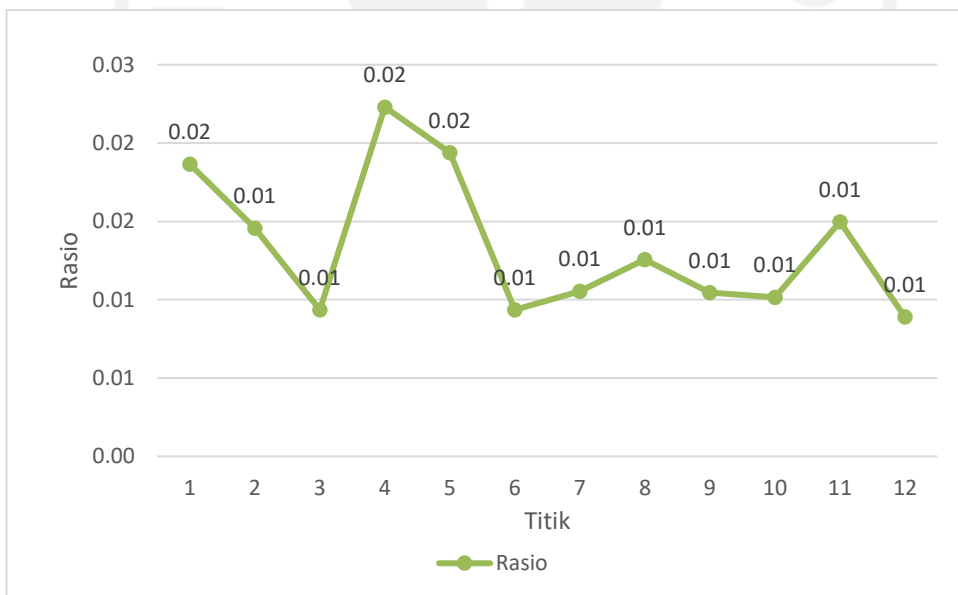
4.3.8 Aluminium (Al)

Air limbah dari industri yang dimana mengandung bahan kimia apabila dibuang langsung ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu menjadi sumber aluminium pada air sungai. Menurut (Hegde S, 2019), hujan asam akibat kegiatan industri adalah alasan utama peningkatan kadar aluminium dalam air karena hujan asam mengurangi pH air sehingga menyebabkan pelarutan bentuk antropogenik dan alami. Menurut (Hegde S, 2019) menyatakan bahwa terdapat dua faktor penyebab hadirnya aluminium yaitu berasal dari alam dan antropogenik. Aluminium yang berasal dari alam merupakan hasil dari pelapukan dan erosi dari bebatuan dan tanah serta adanya aktivitas vulkanik. Sedangkan yang berasal dari antropogenik dapat ditemukan pada limbah industri, limbah hasil dari instalasi pengolahan air minum dan instalasi pengolahan air limbah, pertambangan, kegiatan manufaktur, pertanian, dan batu bara. Adanya aluminium pada lingkungan akuatik menjadi ancaman bagi hewan yang menggunakan insang untuk bernafas seperti ikan dan invertebrata yang hidup pada sungai tersebut karena dapat menyebabkan hilangnya fungsi osmoregulasi.

Data hasil pengukuran konsentrasi logam berat Aluminium (Al) pada sampling ketiga pada Sungai Winongo adalah sebagai berikut.



Gambar 4.54 Kandungan Logam Al Pada *Pore Water* dan Air Permukaan di Sungai Winongo



Gambar 4.55 Grafik Rasio Logam Al

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.55 logam berat aluminium pada *pore water* di Sungai Winongo selama satu kali sampling berkisar antara 9,14-26,69 µg/l dengan rata-rata 15,53 µg/l. Kandungan aluminium tertinggi pada titik sampling ke-11 sebesar 26,69 µg/l dan kandungan aluminium terendah terletak pada titik sampling ke-1 sebesar 9,14 µg/l. Penggunaan diagram Al yang berbeda daripada logam berat lainnya dikarenakan pengambilan sampel Al hanya dilakukan satu kali sehingga tidak bisa dilihat tingkat penyebaran data dengan dilihat dari tinggi atau lebar box.

Dari gambar 4.55 konsentrasi logam berat Al pada air permukaan tertinggi yang didapatkan dari 12 (dua belas) titik pengambilan sampel pada sampling 3 sebesar 2013,3 $\mu\text{g/l}$ yang terdapat pada titik 12 tepatnya berada pada daerah Jembatan Winongo. Sedangkan konsentrasi dengan titik terendah berada pada titik 1 sebesar 489,86 $\mu\text{g/l}$ yaitu berada pada daerah Jembatan Jambon. Menurut Ibrahim et al., (2020). Konsentrasi Al di sebagian besar air permukaan sangat rendah karena sekitar 95% pH air alami berkisar dari 6 sampai 9. Sama halnya yang terjadi pada Sungai Winongo, pH yang dimiliki berkisar 6 – 8 sesuai dengan konsentrasi Al yang didapat rendah tidak melebihi baku mutu. Jika dilihat dari hasil yang didapatkan, titik 12 memiliki konsentrasi tertinggi karena terdapat banyak industri di sekitar lokasi antara lain terdapat industri aluminium dan juga terdapat toko bangunan dimana terdapat banyak aluminium.

4.4 Korelasi Logam Berat *Pore Water* dan Air Sungai

Analisis korelasi logam berat antara *pore water* dan air permukaan sungai dilakukan menggunakan metode korelasi Pearson. Analisis korelasi Pearson bertujuan untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel (*pore water* dan air permukaan sungai) yang dinyatakan dengan koefisien korelasi (r). Jika hubungan dua variabel tidak linier, maka koefisien korelasi Pearson tersebut tidak mencerminkan kekuatan hubungan dua variabel yang sedang diteliti, meski kedua variabel mempunyai hubungan kuat. Jenis hubungan antar variabel logam pada *pore water* dan air permukaan sungai dapat bersifat positif dan negatif. Jika positif maka semakin tinggi variabel x , semakin tinggi pula variabel y , begitu sebaliknya. Lalu jika negatif maka semakin tinggi variabel x , maka semakin rendah variabel y , begitu sebaliknya. Uji korelasi Pearson memiliki pedoman derajat hubungan sebagai berikut:

Nilai Pearson Correlation 0,00 s/d 0,20 = Korelasi sangat lemah

Nilai Pearson Correlation 0,21 s/d 0,40 = Korelasi lemah

Nilai Pearson Correlation 0,41 s/d 0,60 = Korelasi sedang

Nilai Pearson Correlation 0,61 s/d 0,80 = Korelasi kuat

Nilai Pearson Correlation 0,81 s/d 1,00 = Korelasi sempurna

Korelasi logam berat pada *pore water* dan air permukaan Sungai Winongo Yogyakarta dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Korelasi logam berat di *pore water* dan air permukaan sungai di Sungai Winongo

Sampling	Logam Berat							
	Cd		Ni		Mn		Cu	
	sig	r	sig	r	sig	r	sig	r
1	0,087	0,515	0,408	0,264	0	0	0,210	0,390
2	0,746	0,105	0,564	0,186	0,917	-0,034	0,776	0,092
3	0,706	-0,122	0,313	-0,318	0,667	-0,139	0	0

Sampling	Logam Berat							
	Fe		Pb		Cr		Al	
	sig	r	sig	r	sig	r	sig	r
1	0,587	-0,175	0,544	0,195	0	0	-	-
2	0,665	0,140	0	0	0	0	-	-
3	0	0	0	0	0	0	0,031	0,623

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Cd sampling pertama adalah 0,515 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sedang antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cd pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cd pada air sungai. Analisis korelasi untuk sampling kedua adalah 0,105 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cd pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cd pada air sungai dan hasil analisis korelasi pada sampling ketiga adalah -0,122 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah negatif karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kandungan Cd pada *pore water* maka semakin turun kandungan Cd pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Ni sampling pertama adalah 0,264 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Ni pada *pore water* maka

semakin meningkatkan kandungan Ni pada air sungai. Analisis korelasi untuk sampling kedua adalah 0,186 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Ni pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Ni pada air sungai dan hasil analisis korelasi pada sampling ketiga adalah -0,318 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah negatif karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kandungan Ni pada *pore water* maka semakin turun kandungan Ni pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Mn sampling pertama adalah 0 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Mn pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Mn pada air sungai. Analisis korelasi untuk sampling kedua adalah -0,034 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah negatif karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kandungan Mn pada *pore water* maka semakin turun kandungan Mn pada air sungai dan hasil analisis korelasi pada sampling ketiga adalah -0,139 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah negatif karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kandungan Mn pada *pore water* maka semakin turun kandungan Mn pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Cu sampling pertama adalah 0,390 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cu pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cu pada air sungai. Analisis korelasi untuk sampling kedua adalah 0,092 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cu pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cu pada air sungai dan hasil analisis korelasi pada sampling ketiga adalah 0 hal ini menunjukkan bahwa terjadi

hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cu pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cu pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Fe sampling pertama adalah $-0,175$ hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah negatif karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kandungan Fe pada *pore water* maka semakin turun kandungan Fe pada air sungai. Analisis korelasi untuk sampling kedua adalah $0,140$ hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Fe pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Fe pada air sungai dan hasil analisis korelasi pada sampling ketiga adalah 0 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cu pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cu pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Pb sampling pertama adalah $0,195$ hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Pb pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Pb pada air sungai. Analisis korelasi untuk sampling kedua adalah 0 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Pb pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Pb pada air sungai dan hasil analisis korelasi pada sampling ketiga adalah 0 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Pb pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Pb pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Cr sampling pertama, kedua dan ketiga adalah 0 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat rendah antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan

adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Cr pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Cr pada air sungai.

Dari hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi Al sampling ketiga adalah 0,623 hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang kuat antara *pore water* dengan air sungai. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kandungan Al pada *pore water* maka semakin meningkatkan kandungan Al pada air sungai.

Koefisien korelasi mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dari dua variabel. Harus diingat bahwa nilai koefisien korelasi yang kecil (tidak signifikan) bukan berarti kedua variabel tersebut tidak saling berhubungan. Mungkin saja dua variabel mempunyai keeratan hubungan yang kuat namun nilai koefisien korelasinya mendekati nol, misalnya pada kasus hubungan non linier. Dengan demikian, koefisien korelasi hanya mengukur kekuatan hubungan linier dan tidak pada hubungan non linier.

Kedua pasang variabel, x dan y bisa saja nilai koefisien korelasinya tinggi sebagai akibat adanya faktor z . Sebagai contoh, *pore water* (x) dengan air permukaan (y) mungkin saja nilai koefisien korelasinya tinggi, namun belum tentu keduanya menunjukkan adanya hubungan sebab akibat (misal, semakin rendah kandungan logam berat pada *pore water* maka logam berat di air permukaan akan semakin rendah). Adanya korelasi *pore water* dan air permukaan tersebut bisa saja semata-mata sebagai akibat dari perubahan suhu (z) suatu tempat, semakin tinggi suhu maka baik *pore water* ataupun air permukaan akan semakin tinggi kelarutan logam berat di sungai. Suhu juga mempengaruhi proses kelarutan logam-logam berat yang masuk ke perairan. Dengan demikian, Korelasi hanya menjelaskan kekuatan hubungan tanpa memperhatikan hubungan kausalitas, mana yang dipengaruhi dan mana yang mempengaruhi. Kedua variabel masing-masing bisa berperan sebagai Variabel X maupun Variabel Y.

Hubungan logam berat antara air dan *pore water* di Sungai Winongo adalah ada yang bernilai positif dan negatif. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan dan tidaknya keterkaitan antara logam berat di air dan di *pore water*. Hubungan tersebut tidak sama antar sampling, hal ini terkait dengan kondisi air dan substrat yang tidak sama tiap tempat/lokasi. Pengendapan logam berat di suatu perairan terjadi karena

adanya anion karbonat hidroksil dan klorida (Sanusi, 2006). Ada hubungan antara kualitas air permukaan dan air pori, terutama di zona hiporheik.

Zona penyerapan ini terletak di samping dan di bawah aliran sungai, dimana pencampuran antara air permukaan dan air tanah bagian atas biasanya terjadi. Hubungan antara air permukaan, air pori, dan air tanah menjadi bagian dari siklus hidrologi di lingkungan perairan. Proses air permukaan dan air tanah tersebut secara alami terjadi secara biogeokimia yang didukung oleh energi kinetik, tekanan, dan potensi kimiawi aliran air yang disebabkan oleh gradien dan konsentrasi hidrolik (Notodarmojo, 2005).



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Hasil pengamatan kadar konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Al yang ada pada *pore water* di Sungai Winongo, Yogyakarta yaitu tembaga (Cu) pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,039-20,613 $\mu\text{g/l}$. Logam berat kadmium (Cd) pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,01-22,84 $\mu\text{g/l}$. Logam berat kromium (Cr) pada *pore water* di Sungai Winongo selama selama tiga kali sampling berkisar antara 0,03-9,52 $\mu\text{g/l}$. Logam berat timbal (Pb) pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,01-65,231 $\mu\text{g/l}$. Logam berat mangan (Mn) pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,034-1421,233 $\mu\text{g/l}$. Logam berat nikel (Ni) pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,018-45,568 $\mu\text{g/l}$. Logam berat besi (Fe) pada *pore water* di Sungai Winongo selama tiga kali sampling berkisar antara 0,02-165,481 $\mu\text{g/l}$. Hasil logam berat aluminium (Al) pada *pore water* di Sungai Winongo selama satu kali sampling berkisar antara 9,14-26,69 $\mu\text{g/l}$.
2. Korelasi antara *pore water* dan air permukaan pada Sungai Winongo sebagian besar memiliki korelasi positif yang dimana artinya bahwa semakin tinggi logam berat pada *pore water* maka semakin tinggi juga kadar logam berat pada permukaan air sungai.

5.2 Saran

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

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



DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Badan Pengelola Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. 2014. *Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Yogyakarta Tahun 2014*. Yogyakarta: BPLHD.
- Besser JM, Brumbaugh WG, Allert AL, Poulton BC, Schmitt CJ. 2009. *Ecological impacts of lead mining on Ozark streams: toxicity of sediment and pore water*. *Ecotoxicol Environ Saf* 72:516–526
- Bolan, Nanthi & Adriano, Domy & Curtin, Denis. 2003. *Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability*. *Advances in Agronomy*. 78. 215-272. 10.1016/S0065-2113(02)78006-1.
- Cheng, Q., Wang, R., Huang, W., Wang, W. & Li, X. 2015. *Assessment of heavy metal contamination in the sediments from the Yellow River Wetland National Nature Reserve (the Sanmenxia section), China*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 8586–8593.
- Connel dan Miller. 1995. *Environmental toxicology and chemistry, Oxford University pers Inc. New York*. 520p
- Diana, Dyah, dan Minoru. 2020. *Distribution, source identification, and assessment of heavy metal pollution in the surface and pore waters of Cipeles River, West Java, Indonesia*. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Duncan AE, de Vries N, Nyarko KB. 2018. *Assessment of heavy metal pollution in the sediments of the Roanoke River*. *Water Air Soil Pollut* 229 (272):1–10.
- Effendi, F., Tresnaningsih, E., Sulistomo, A.W., Wibowo, S., Hudoyo, K.S et al. 2012. *Penyakit Akibat Kerja Karena Paparan Logam Berat*. Jakarta: Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Fish J. 2011. *Use of pore water as part of contaminated sites management: case studies in Kotzebue and Fairbanks, Alaska*. The fourth interagency

- conference of research in the watersheds, 26–30 Sept 2011, Fairbanks, AK
2–8
- Förstner, U., Wittman, G.T.W., 1979. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer, Berlin.
- Hammond, D. 2001. *Pore Water Chemistry*. Encyclopedia of Ocean Sciences, volume 4, pp 2263–2271.
- Huang Y, Zhang D, Xu Z, Yuan S, Li Y, Wang L. 2017. *Effect of overlying water pH, dissolved oxygen and temperature on heavy metal release from river sediments under laboratory conditions*. Arch Environ Protect 43(2):28–36.
- Ibisch, R. dan Borchartd, D. 2009. *Integrated Water Resouces Management (IWRM): From Reasearch to Implementation*.
- Ji, H., Li, H., Zhang, Y., Ding, H., Gao, Y. & Xing, Y. 2018. *Distribution and risk assessment of heavy metals in overlying water, porewater, and sediments of Yongding River in a coal mine brownfield*. Journal of Soils and Sediments, 18, 624–639.
- Kusuma, E. M. 2005. *Kajian Perubahan Kualitas Air Sungai Code Setelah Melewati Kawasan Perkotaan Tahun 2005*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Lestari, P dan Trihadiningrum, Y. 2019. *The impact of improper solid waste management to plastic pollution in Indonesian coast and marine environment*. Marine Pollution Bulletin. Vol.149.
- Liu B, Ma X, Ai S, Zhu S, Zhang W, Zhang Y. 2016. *Spatial distribution and source identification of heavy metals in soils under different land uses in a sewage irrigation region*. Northwest China. J Soils Sediments 16(5):1547–1556.
- Ni, Z., Zhang, L., Yu, S., Jiang, Z., Zhang, J., Wu, Y., Zhao, C., Liu, S., Zhou, C. & Huang, X. 2017. *The porewater nutrient and heavy metal characteristics in sediment cores and their benthic fluxes in Daya Bay, South China*. Marine Pollution Bulletin, 124, 547–554.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: Penerbit ITB.

- Oviantari, M. V. 2011. *Analisis Indek Kualitas Air Pada Mata Air Tlebusan Baluan, Pancoran Camplung, Dan Pancoran Padukuhan Di Banjar Cau, Tabanan*. Seminar Nasional FMIPA Undiksha. Bali: FMIPA Undiksha.
- Pal, R., Dubey, R. K., Dubey, S. K., & Singh, A. K. (2017). *Assessment of Heavy Metal Pollution through Index Analysis for Yamuna Water in Agra Region, India*. 6(12), 1491–1498.
- Rochyatun, E., & Rozak, A. 2007. *Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta*, 11(1), 28-36.
- Ruhl L, Vengosh A, Dwyer GS, Hsu-Kim H, Schwartz G, Romanske A, Smith SD. 2012. *The impact of coal combustion residue effluent on water resources: a North Carolina example*. Environ Sci Technol 46(21):12226–12233
- Sanusi, HS. 2006. *Kimia Laut (Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan)*. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. FPIK IPB
- Sari, Dwi Sagita. 2014. *Daya Tampung Beban Pencemaran dan Upaya Pengelolaan Sungai Winongo di Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis. Yogyakarta: Pascasarjana Ilmu Lingkungan. Universitas Gadjah Mada.
- Sukoasih, A., & Widiyanto, T. 2017. *Hubungan Antara Suhu, pH dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Badan Air Sungai Rompang dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016*. Buletin Keslingmas, 36(4), 360–368.
- Susanti, R., Dewi, M., & Sasi, F. A. (2014). *Analisis Kadar Logam Berat Pada Sungai Di Jawa Tengah*. Saintek, 12(1), 35–40.
- Tang, W., Zhang, H., Zhang, W., Shan, B., Zhu, X. & Song, Z. 2015. *Dynamics of heavy metals and phosphorus in the pore water of estuarine sediments following agricultural intensification in Chao Lake Valley*. Environmental Science and Pollution Research, 22, 7948–7953.
- Viana PZ, Yin K, Rockne KJ. 2012. *Field measurements and modeling of ebullition-facilitated flux of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons from sediments to the water column*. Environmental science & technology 46 (21), 12046-12054.

- Wang, X., Shi, Z., Shi, Y., Ni, S., Wang, R., Xu, W. & Xu, J. 2018. *Distribution of potentially toxic elements in sediment of the Anning River near the REE and V Ti magnetite mines in the Panxi Rift, SW China*. Journal of Geochemical Exploration, 184, 110-118.
- Wibowo, D., Basri, B., Adami, A., Sumarlin, S., Rosdiana, R., Ndibale, W., & Ilham, I. (2020). *Analisis Logam Nikel (Ni) dalam Air Laut dan Persebarannya di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara*. Indo. J. Chem. Res., 8(2), 144–150.
- Widyastuti R. 2009. *Kemelimpahan Larva Choronomidae Berdasarkan Gradien Lingkungan di Sungai Winongo Yogyakarta*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Wulandari, E. A., & Sukei. (2013). *Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd dan Cu dalam Nugget Ayam Rumput Laut Merah (Eucheuma Cottonii)*. Jurnal Sains Dan Seni Pomits, 2(2), 15–17.
- Zhang, Z., Lu, Y., Li, H., Tu, Y., Liu, B. & Yang, Z. 2018. *Assessment of heavy metal contamination, distribution and source identification in the sediments from the Zijiang River, China*. Science of the Total Environment, 645, 235–243.
- Zuraida R., R. Rahardiawan, Subarsyah, K. T., dkk. 2010. *Laporan Akhir Penelitian Lingkungan dan Kebencanaan Geologi Kelautan Perairan Teluk Jakarta (Tanjung Kait – Muara Gembong)*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.

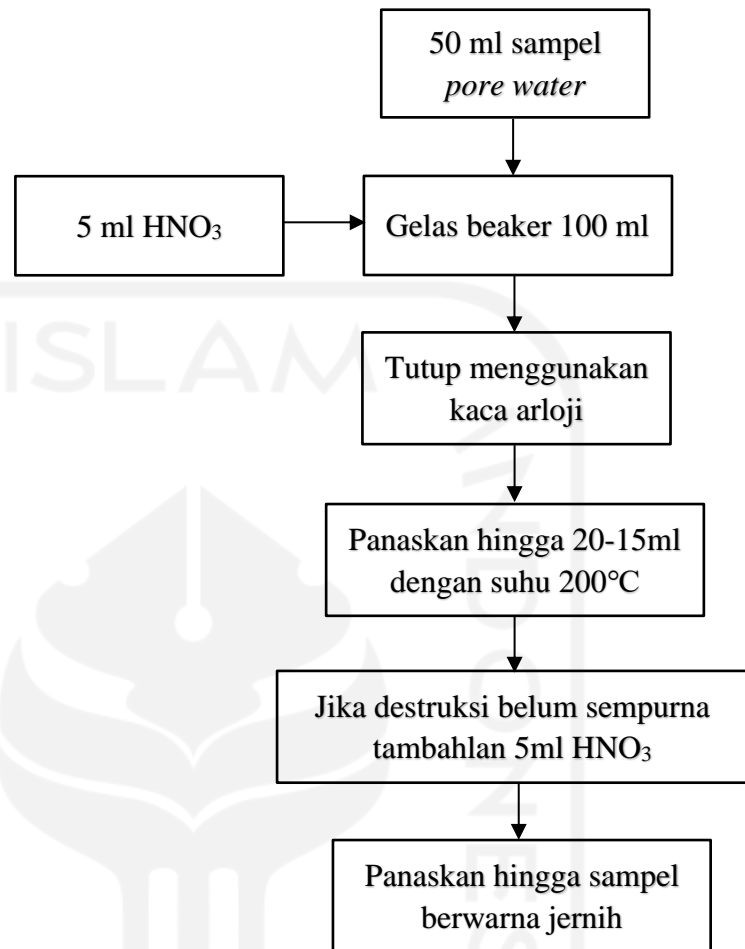


LAMPIRAN A
(Preparasi Sampel)

1A. *Pre-treatment*



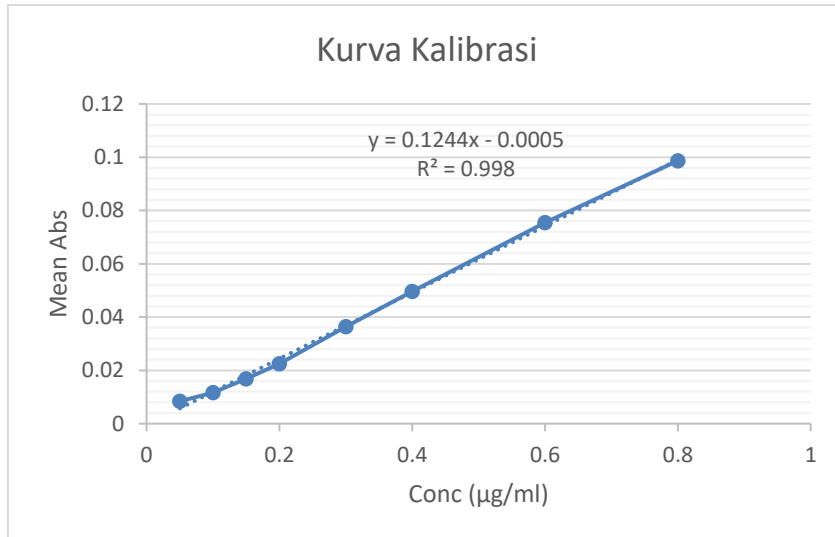
2A. Destruksi



LAMPIRAN B
(Hasil Kadar Logam)

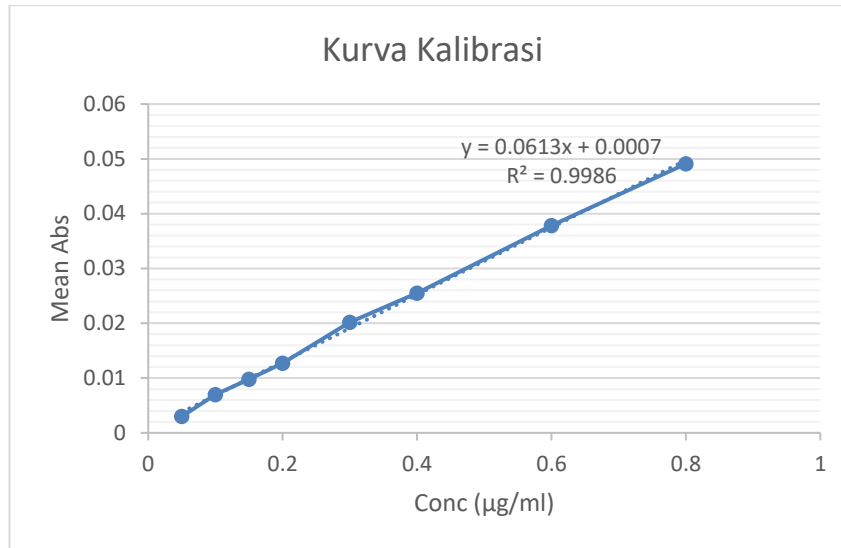
1B. Hasil Uji AAS Sampling 1

1. Logam Cd



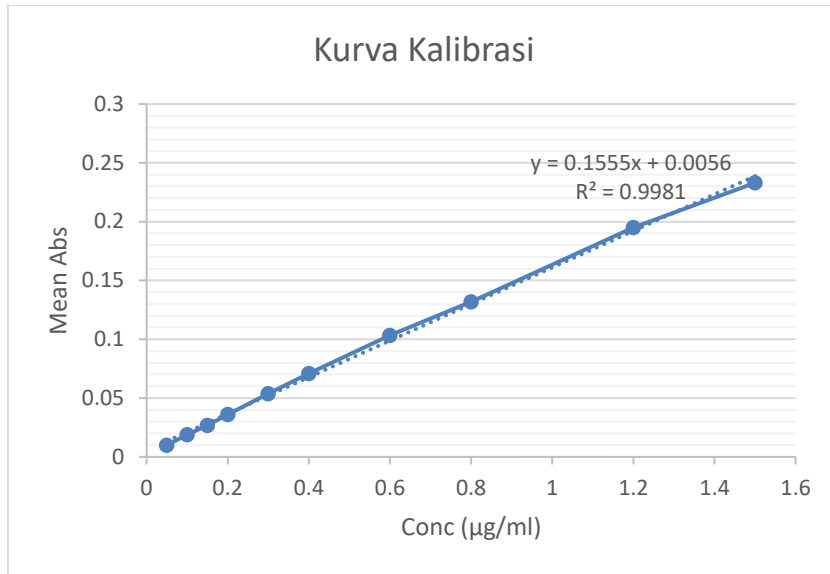
Cd			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0066	0,0571	22,84
2	0,0053	0,0467	18,66
3	0,0047	0,0418	16,74
4	0,005	0,0442	17,70
5	0,0056	0,0491	19,63
6	0,0057	0,0499	19,95
7	0,0056	0,0491	19,63
8	0,0059	0,0515	20,59
9	0,0044	0,0394	15,77
10	0,0061	0,0531	21,24
11	0,0049	0,0434	17,38
12	0,004	0,0362	14,48

2. Logam Ni



Ni			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0019	0,0139	5,57
2	0,0031	0,0337	13,48
3	0,0014	0,0057	2,28
4	0,0015	0,0073	2,94
5	0,0006	-0,0075	-3,00
6	0,0006	-0,0075	-3,00
7	0,0005	-0,0091	-3,66
8	0,0003	-0,0124	-4,98
9	0,0012	0,0024	0,96
10	0,0018	0,0123	4,91
11	0,0016	0,0090	3,59
12	0,0013	0,0040	1,62

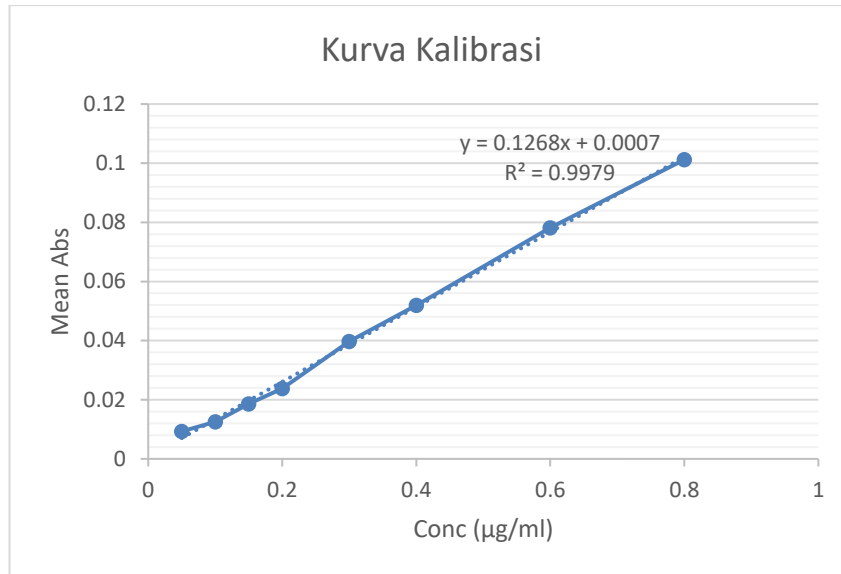
3. Logam Mn



Mn			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0035	-0,0132	-5,28
2	0,0004	-0,0331	-13,26
3	0,0054	-0,0010	-0,40
4	0,0008	-0,0306	-12,23
5	0,001	-0,0293	-11,71
6	0,0004	-0,0331	-13,26
7	0,0007	-0,0312	-12,49
8	0,0018	-0,0241	-9,66
9	0,0013	-0,0274	-10,94
10	0,0018	-0,0241	-9,66
11	0,0007	-0,0312	-12,49
12	0,0008	-0,0306	-12,23

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

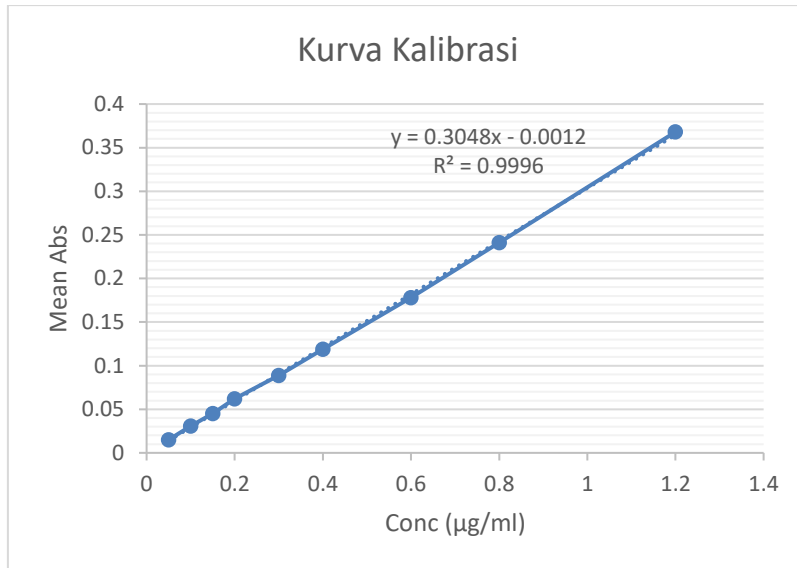
4. Logam Cu



Cu			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0016	0,0072	2,88
2	0,0006	-0,0007	-0,28
3	0,0016	0,0072	2,88
4	0,0001	-0,0046	-1,86
5	0,0008	0,0009	0,35
6	0,0001	-0,0046	-1,86
7	0,0001	-0,0046	-1,86
8	0,0001	-0,0046	-1,86
9	0,0001	-0,0046	-1,86
10	0,0001	-0,0046	-1,86
11	0,0003	-0,0031	-1,23
12	0,0001	-0,0046	-1,86

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

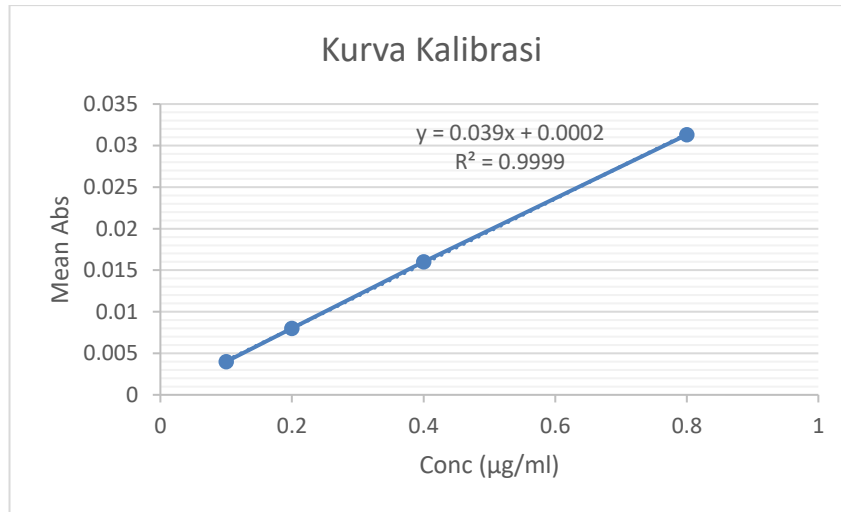
5. Logam Fe



Fe			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0377	0,1275	50,99
2	0,0095	0,0350	13,98
3	0,0205	0,0710	28,42
4	0,0034	0,0149	5,98
5	0,0029	0,0133	5,32
6	0,0018	0,0097	3,88
7	0,0049	0,0199	7,95
8	0,0048	0,0195	7,82
9	0,004	0,0169	6,77
10	0,0056	0,0222	8,87
11	0,006	0,0235	9,39
12	0,0086	0,0320	12,80

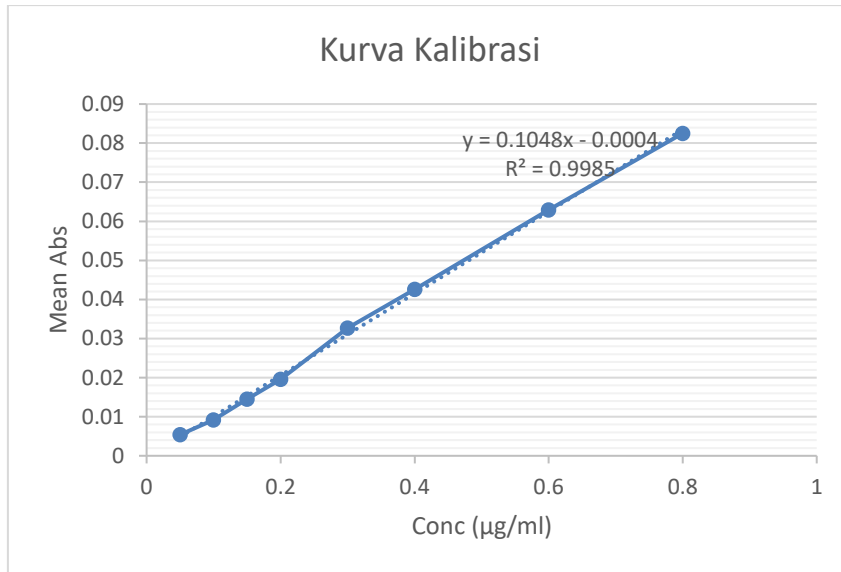
الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

6. Logam Pb



Pb			
Titik	Mean Abs	Conc ($\mu\text{g/ml}$)	Kadar Logam ($\mu\text{g/l}$)
1	0,0062	0,0598	23,90
2	0,0009	-0,0363	-14,52
3	0,0005	-0,0436	-17,42
4	0,0119	0,1631	65,23
5	0,0038	0,0163	6,50
6	0,0099	0,1268	50,73
7	0,0042	0,0235	9,40
8	0,0046	0,0308	12,30
9	0,0047	0,0326	13,03
10	0,0026	-0,0055	-2,20
11	0,002	-0,0164	-6,55
12	0,0074	0,0815	32,60

7. Logam Cr

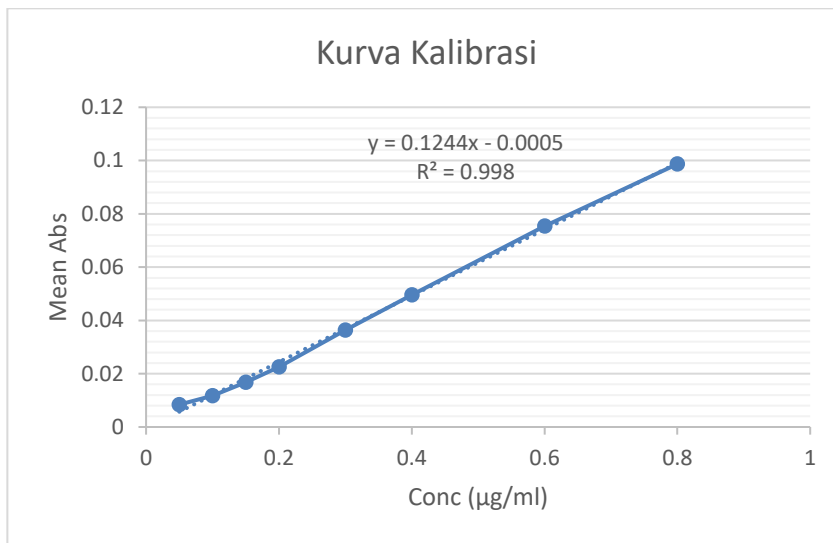


Cr			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	-0,0011	-0,0067	-2,69
2	0,0019	0,0219	8,76
3	0,0008	0,0114	4,56
4	0,0015	0,0181	7,23
5	0,0007	0,0105	4,18
6	0,0013	0,0162	6,47
7	0,0003	0,0066	2,66
8	0,0014	0,0171	6,85
9	0,0004	0,0076	3,04
10	0,0001	0,0047	1,89
11	0,0002	0,0057	2,27
12	0,0009	0,0124	4,94

الجامعة الإسلامية العالمية
الاستاذ الدكتور

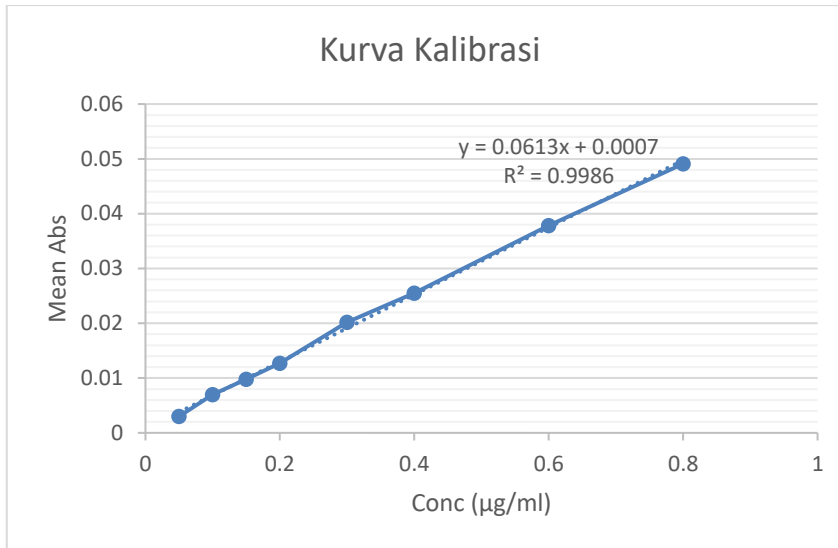
2B. Hasil Uji AAS Sampling 2

1. Logam Cd



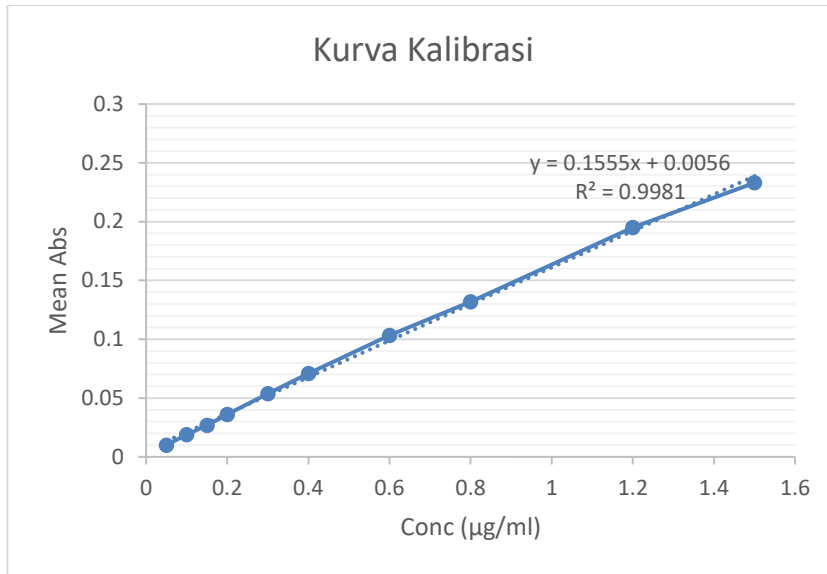
Cd			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0054	-0,0178	-7,13
2	0,0083	-0,0031	-1,25
3	0,0077	-0,0062	-2,46
4	0,0104	0,0075	3,01
5	0,0075	-0,0072	-2,87
6	0,0042	-0,0239	-9,56
7	0,0154	0,0329	13,16
8	0,0084	-0,0026	-1,04
9	0,0084	-0,0026	-1,04
10	0,0095	0,0030	1,19
11	0,0133	0,0222	8,90
12	0,0065	-0,0122	-4,90

2. Logam Ni



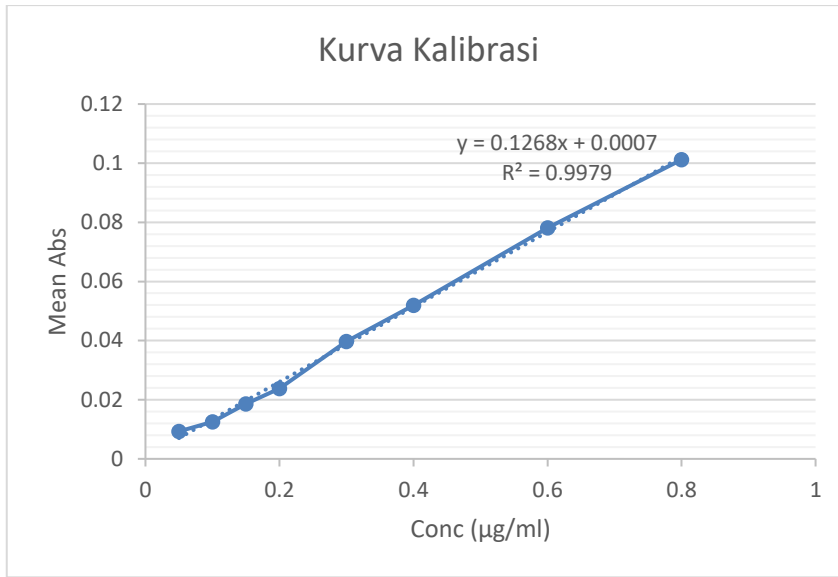
Ni			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0059	0,0737	29,47
2	0,003	0,0348	13,91
3	0,0024	0,0267	10,70
4	0,0011	0,0093	3,72
5	0,006	0,0750	30,01
6	0,0052	0,0643	25,72
7	0,0071	0,0898	35,91
8	0,0008	0,0053	2,11
9	0,0089	0,1139	45,57
10	0,0024	0,0267	10,70
11	0	-0,0055	-2,18
12	0,0019	0,0200	8,01

3. Logam Mn



Mn			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,005	-0,0036	-1,42
2	0,0094	0,0247	9,90
3	0,0054	-0,0010	-0,40
4	0,0026	-0,0190	-7,60
5	0,0011	-0,0286	-11,46
6	0,0009	-0,0299	-11,97
7	0,558	3,5531	1421,23
8	0,4764	3,0283	1211,31
9	0,0548	0,3167	126,69
10	0,0025	-0,0196	-7,86
11	0,5388	3,4296	1371,84
12	0,1578	0,9792	391,67

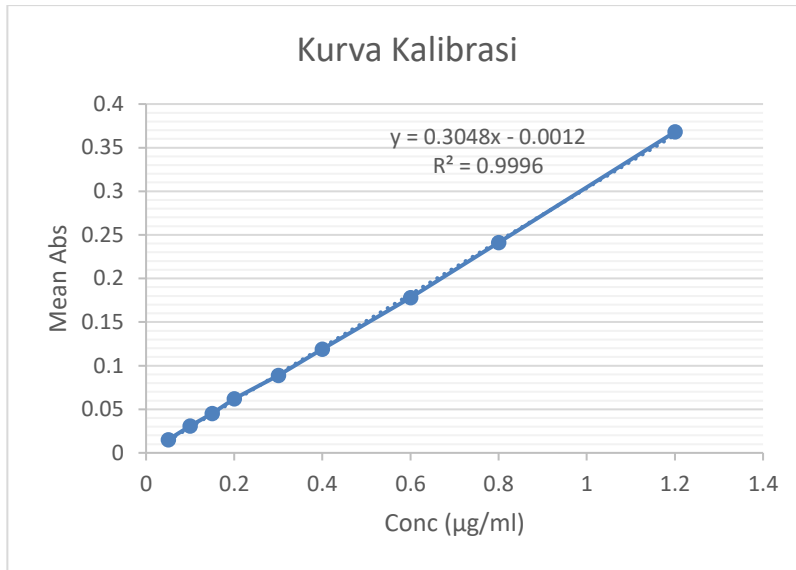
4. Logam Cu



Cu			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0022	0,0183	7,31
2	0,0074	0,0515	20,61
3	0,0013	0,0125	5,01
4	0,0018	0,0157	6,29
5	0,0001	0,0049	1,94
6	0,0004	0,0068	2,71
7	0,0015	0,0138	5,52
8	0,002	0,0170	6,80
9	0,0002	0,0055	2,20
10	0,0011	0,0113	4,50
11	0,0018	0,0157	6,29
12	0,0013	0,0125	5,01

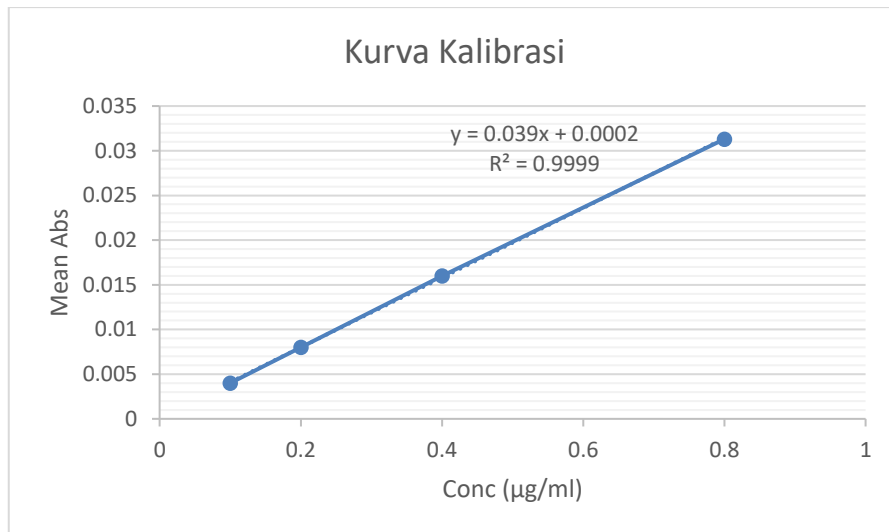
الجامعة الإسلامية
الاستد الاندوسية

5. Logam Fe



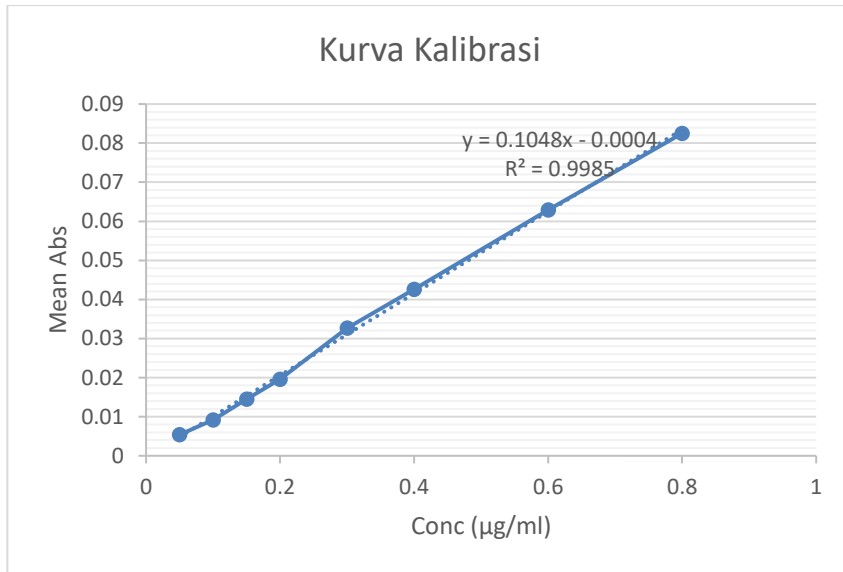
Fe			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0499	0,1657	66,27
2	0,124	0,4137	165,48
3	0,0644	0,2142	85,68
4	0,0374	0,1238	49,53
5	0,014	0,0455	18,20
6	0,0163	0,0532	21,28
7	0,0249	0,0820	32,79
8	0,0222	0,0729	29,18
9	0,0066	0,0207	8,29
10	0,0097	0,0311	12,44
11	0,0305	0,1007	40,29
12	0,0537	0,1784	71,36

6. Logam Pb



Pb			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0004	-0,0432	-17,27
2	0,0002	-0,0442	-17,68
3	0,0007	-0,0417	-16,66
4	0,0012	-0,0391	-15,65
5	0,0009	-0,0406	-16,26
6	0,0003	-0,0437	-17,47
7	0,0012	-0,0391	-15,65
8	0,0008	-0,0411	-16,46
9	0,0013	-0,0386	-15,45
10	0	-0,0452	-18,08
11	0,0005	-0,0427	-17,07
12	0	-0,0452	-18,08

7. Logam Cr

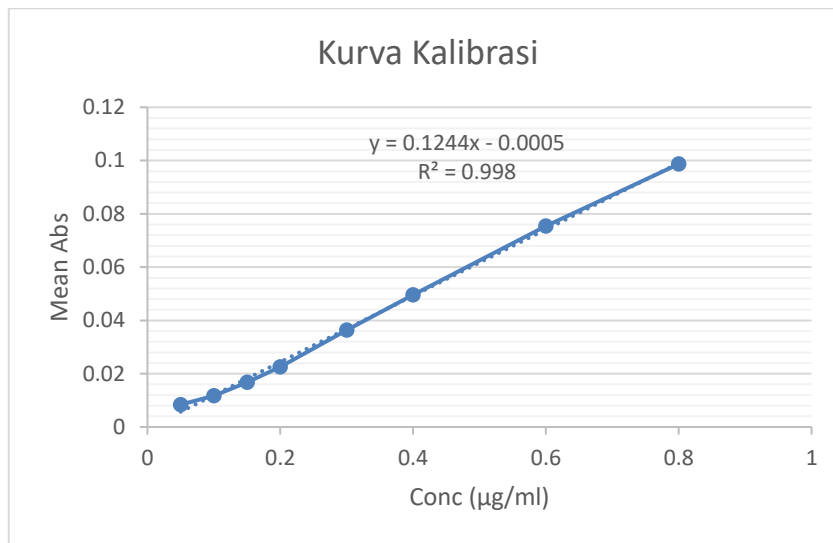


Cr			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,001	0,0133	5,33
2	0,0008	0,0114	4,56
3	0,0021	0,0238	9,52
4	0,0006	0,0095	3,80
5	0,0007	0,0105	4,18
6	0,0003	0,0066	2,66
7	0,0006	0,0095	3,80
8	0,0019	0,0219	8,76
9	0,0004	0,0076	3,04
10	0,0015	0,0181	7,23
11	0,0008	0,0114	4,56
12	0,002	0,0229	9,14

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

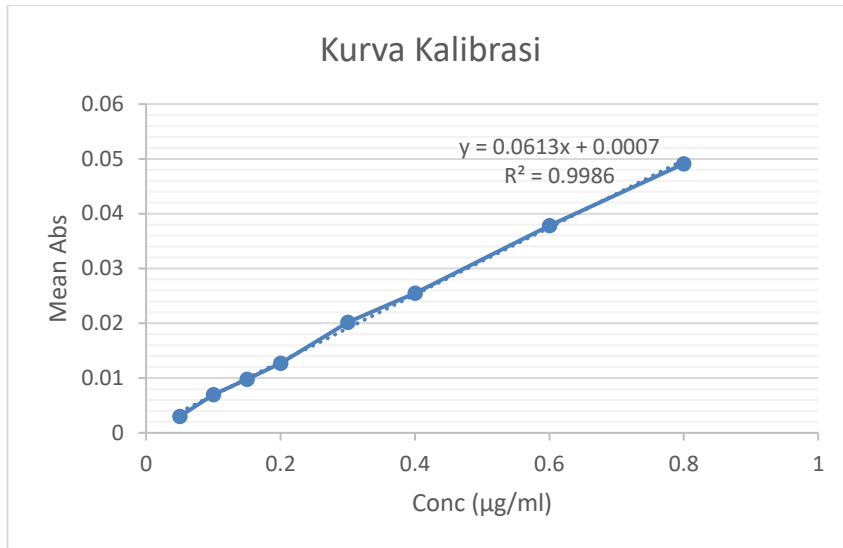
3B. Hasil Uji AAS Sampling 3

1. Logam Cd



Cd			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0044	0,0394	15,77
2	0,0051	0,0451	18,02
3	0,0042	0,0378	15,13
4	0,0053	0,0467	18,66
5	0,0049	0,0434	17,38
6	0,0045	0,0402	16,09
7	0,004	0,0362	14,48
8	0,0033	0,0306	12,23
9	0,004	0,0362	14,48
10	0,0046	0,0410	16,41
11	0,0037	0,0338	13,52
12	0,0043	0,0386	15,45

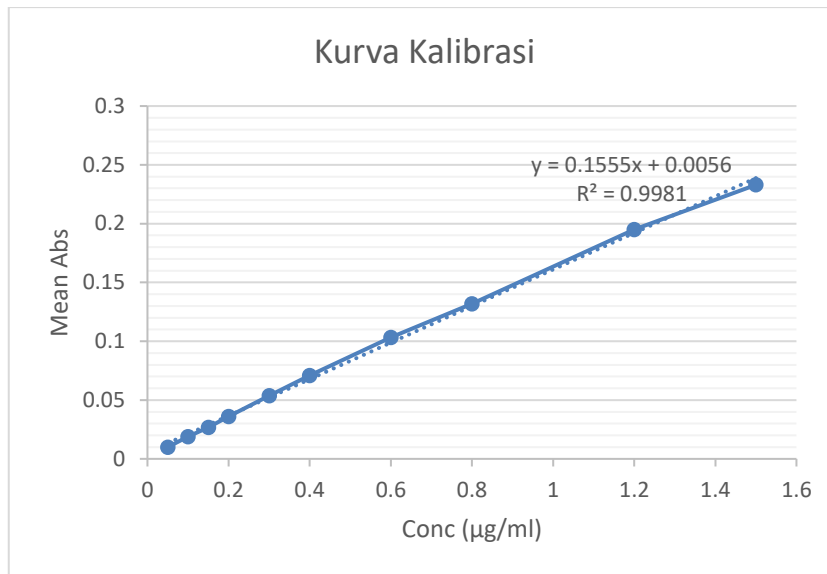
2. Logam Ni



Ni			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0003	-0,0270	-10,82
2	0,0007	-0,0203	-8,11
3	0,0006	-0,0220	-8,79
4	-0,0002	-0,0355	-14,20
5	-0,0002	-0,0355	-14,20
6	0,0008	-0,0186	-7,43
7	0,0021	0,0034	1,36
8	-0,0002	-0,0355	-14,20
9	-0,0005	-0,0406	-16,23
10	0,0002	-0,0287	-11,49
11	-0,0002	-0,0355	-14,20
12	0,0004	-0,0253	-10,14

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

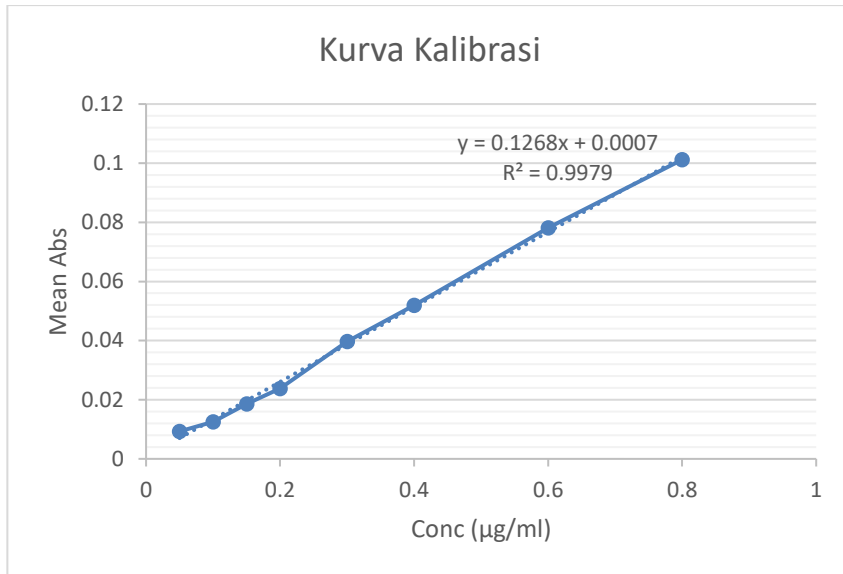
3. Logam Mn



Mn			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0015	-0,0261	-10,43
2	0,0799	0,4782	191,26
3	0,003	-0,0164	-6,57
4	0,1513	0,9374	374,95
5	-0,0017	-0,0467	-18,66
6	0,2177	1,3644	545,77
7	0,0022	-0,0216	-8,63
8	0,0192	0,0878	35,11
9	0,2024	1,2660	506,41
10	0,0187	0,0846	33,82
11	0,0877	0,5283	211,33
12	0,228	1,4307	572,27

الجامعة الإسلامية
الاستد الاندوسية

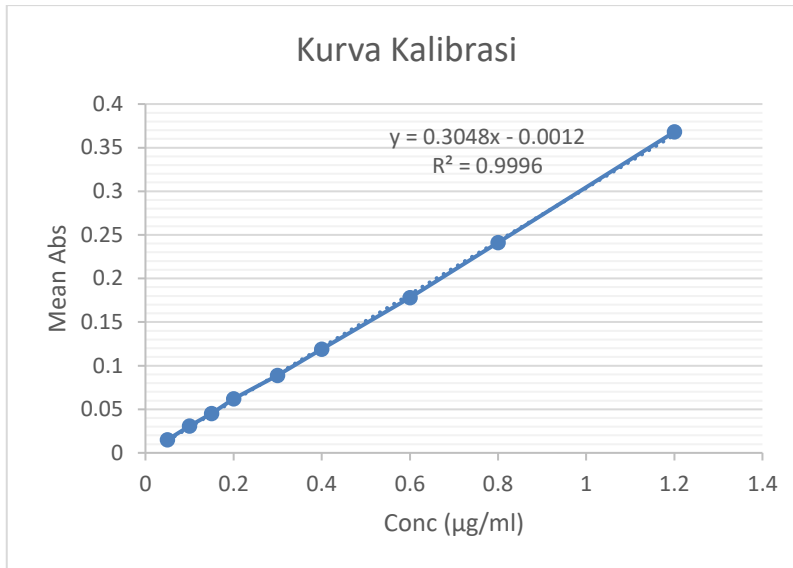
4. Logam Cu



Cu			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0001	-0,0046	-1,86
2	0,0002	-0,0039	-1,54
3	0,0003	-0,0031	-1,23
4	0,0001	-0,0046	-1,86
5	0,0003	-0,0031	-1,23
6	0,0002	-0,0039	-1,54
7	0,0005	-0,0015	-0,60
8	0,0003	-0,0031	-1,23
9	0,0003	-0,0031	-1,23
10	-0,0004	-0,0086	-3,44
11	-0,0002	-0,0070	-2,80
12	-0,0004	-0,0086	-3,44

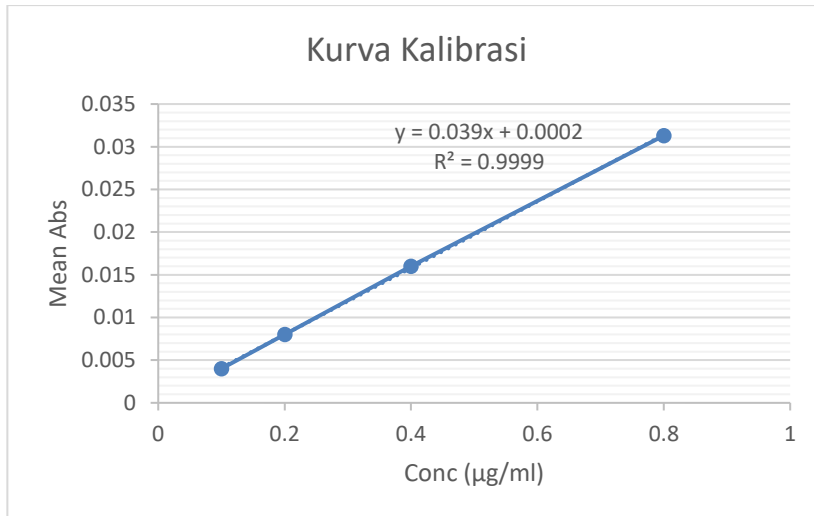
الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

5. Logam Fe



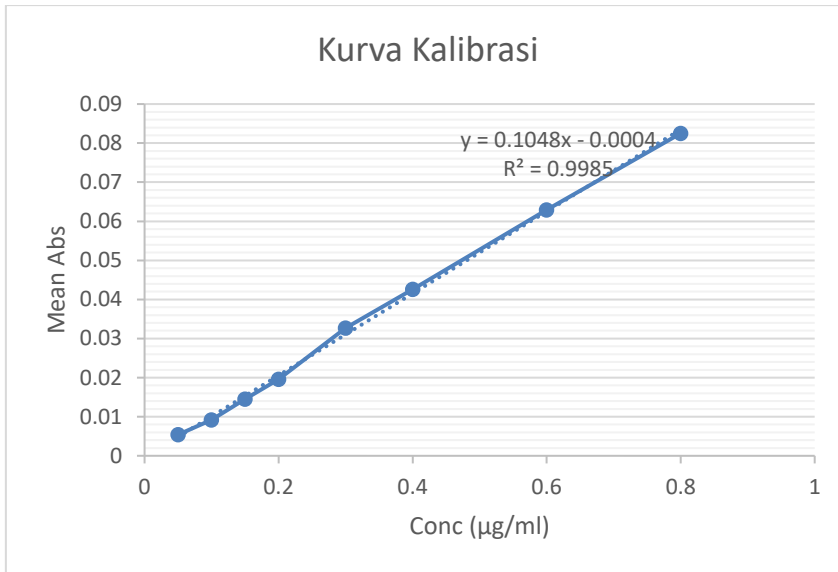
Fe			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,015	-0,6865	-274,59
2	0,0143	-0,6881	-275,25
3	0,027	-0,6581	-263,22
4	0,0336	-0,6424	-256,97
5	0,0156	-0,6851	-274,02
6	0,0119	-0,6938	-277,53
7	0,0138	-0,6893	-275,73
8	0,0206	-0,6732	-269,28
9	0,0199	-0,6749	-269,95
10	0,0127	-0,6919	-276,77
11	0,0225	-0,6687	-267,48
12	0,0169	-0,6820	-272,79

6. Logam Pb



Pb			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,0003	-3,3315	-1332,61
2	0,0003	-3,3315	-1332,61
3	0,0014	-3,3249	-1329,97
4	0,0011	-3,3267	-1330,69
5	0,0006	-3,3297	-1331,89
6	0,0001	-3,3327	-1333,09
7	0,001	-3,3273	-1330,93
8	0,0009	-3,3279	-1331,17
9	0,0024	-3,3189	-1327,56
10	-0,0011	-3,3399	-1335,98
11	-0,0002	-3,3345	-1333,81
12	-0,0003	-3,3351	-1334,05

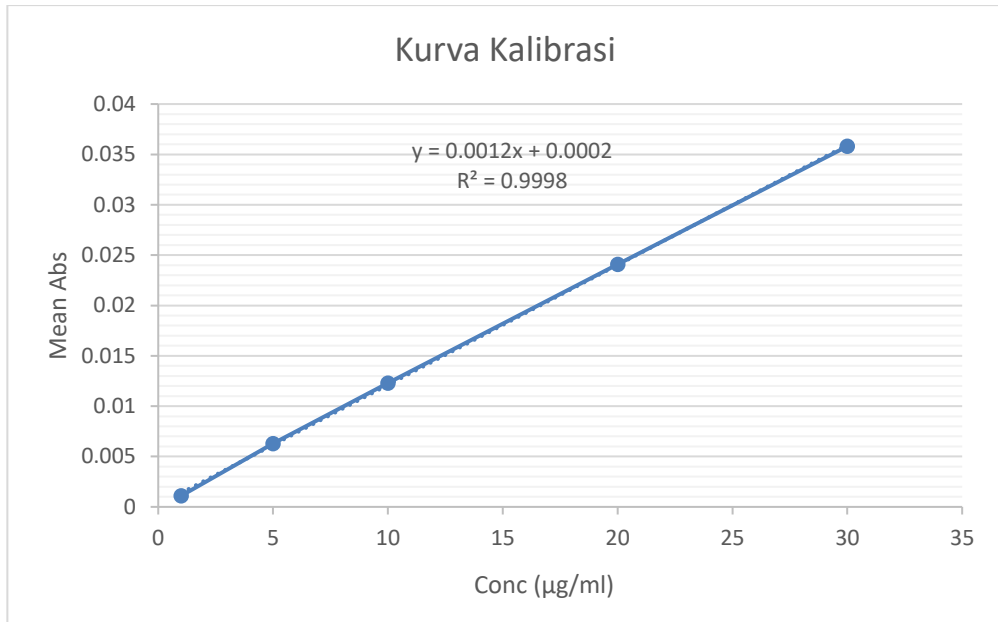
7. Logam Cr



Cr			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	-0,0043	-0,0372	-14,90
2	-0,0043	-0,0372	-14,90
3	-0,0032	-0,0267	-10,70
4	-0,004	-0,0344	-13,75
5	-0,0031	-0,0258	-10,32
6	-0,0046	-0,0401	-16,04
7	-0,0043	-0,0372	-14,90
8	-0,0039	-0,0334	-13,37
9	-0,004	-0,0344	-13,75
10	-0,0039	-0,0334	-13,37
11	-0,0035	-0,0296	-11,84
12	-0,0042	-0,0363	-14,52

الجامعة الإسلامية
الاستد الاندوسية

8. Logam Al



Al			
Titik	Mean Abs	Conc (µg/ml)	Kadar Logam (µg/l)
1	0,002	0,0229	9,14
2	0,0028	0,0305	12,19
3	0,0044	0,0457	18,30
4	0,0043	0,0448	17,92
5	0,004	0,0419	16,77
6	0,0024	0,0267	10,67
7	0,0028	0,0305	12,19
8	0,0033	0,0353	14,10
9	0,0034	0,0362	14,48
10	0,0038	0,0400	16,01
11	0,0066	0,0667	26,69
12	0,0043	0,0448	17,92