

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENCEMARAN AIR SUNGAI CODE BERDASARKAN PARAMETER
TIMBAL (Pb) DENGAN PEMODELAN QUAL2K**

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



Rafi

21513084

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENCEMARAN AIR SUNGAI CODE BERDASARKAN PARAMETER TIMBAL (Pb) DENGAN PEMODELAN QUAL2K

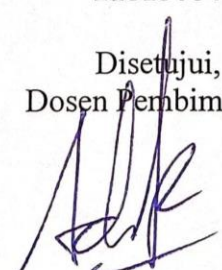
Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



Rafi

21513084

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIK. 155131304

Tanggal: 18 Februari 2025

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII:



Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401

Tanggal: 18 Februari 2025

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENCEMARAN AIR SUNGAI CODE BERDASARKAN PARAMETER
TIMBAL (Pb) DENGAN PEMODELAN QUAL2K**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Senin

Tanggal: 20 Januari 2025

Disusun Oleh:

Rafi

21513084

Tim Penguji:

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.



18 Februari 2025

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



22 Januari 2025

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.



20 Januari 2025

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, 20 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,

Rafi

NIM. 21513084



PRAKATA

Assalamu 'alaikum Warahmatulahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) dengan judul “ANALISIS PENCEMARAN AIR SUNGAI CODE BERDASARKAN PARAMETER TIMBAL (Pb) DENGAN PEMODELAN QUAL2K”. Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dorongan, serta doa dari berbagai pihak. Salah satunya kedua orang tua penulis yaitu Bapak Ramzi Amir, S.E., dan Ibu Dina Mansur Abdat, S.Si., M.Si. yang telah memberi dukungan, kepercayaan, bantuan, dan doa sepanjang pelaksanaan tugas akhir, Oleh karena itu, pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan waktunya untuk membimbing, memberi arahan dan masukan untuk penulis,
2. Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. dan Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji 1 dan 2 Tugas Akhir yang turut memberikan masukan dan arahan untuk menjadikan penelitian ini menjadi lebih baik,
3. Seluruh dosen, staf, dan keluarga Besar Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia atas bantuan, pengajaran, dan pengalaman yang telah diberikan,
4. Seluruh staf Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan,
5. Saudara kandung penulis yakni Amir Ramzi, A.Md. yang telah mendukung penulis sebagai adik kandung, dan memberikan pelajaran hidup semenjak kecil,
6. Teman-teman Angkatan 2021 Program Studi Teknik Lingkungan,
7. Ariana Grande sebagai seseorang yang memeberikan dukungan meskipun tidak langsung yaitu melalui lagu-lagu buatannya yang membuat sang penulis tetap menjalankan dan melanjutkan penulisan tugas akhir ini,
8. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, dengan berbesar hati, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik maupun saran yang membangun demi kemajuan penulis dan kelayakan laporan tugas akhirini. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan, kekhilafan, dan keterbatasan yang ada dalam penelitian ini. Semoga laporan tugas akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua. *Aamiin*.

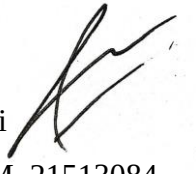
Wassalamualaikum Warrahmatulahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 4 Januari 2025

Penulis

Rafi

NIM. 21513084

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name 'Rafi', written over a faint, circular official stamp or watermark.

ABSTRAK

RAFI. Analisis Pencemaran Air Sungai Code Berdasarkan Parameter Timbal (Pb) Dengan Pemodelan QUAL2K. Dibimbing oleh ADAM RUS NUGROHO, S.T., M.T. Ph.D.

Sungai Code merupakan sungai yang berada di wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang melintasi 3 (tiga) wilayah administrasi. Sebagai sungai yang menerima pembuangan limbah di sepanjang daerah yang didominasi limbah domestik yang mengandung logam berat terutama Timbal (Pb). Pencemaran Sungai Code dapat merusak ekosistem perairan dan membahayakan kesehatan manusia, terutama ketika logam berat seperti timbal masuk ke dalam air, maka dari itu diperlukannya pemantauan kualitas air Sungai Code salah satunya dari nilai daya tampung beban pencemarannya. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Pasal 23 dalam rangka upaya pengendalian pencemaran air ditetapkan daya tampung beban pencemaran air pada sumber air yang dilakukan secara berkala sekurang-kurangnya 5 (lima) tahun sekali. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Code terhadap parameter logam berat Timbal (Pb) pada Tahun 2018 dengan Tahun 2024 dengan menggunakan *Software* pemodelan QUAL2K. Metode QUAL2K merupakan metode pemodelan yang menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic for Applications* (VBA) untuk menganalisis daya dukung sungai dalam kaitannya dengan beban yang mencemari yang dijalankan dengan *Microsoft Excel*. Lokasi penelitian pada masing-masing tahun dibagi menjadi 4 segmen dengan jumlah titik sampling sebanyak 5 titik. Penelitian ini menggunakan 2 simulasi/skenario pemodelan software QUAL2K. Simulasi 1 merupakan simulasi menurut kondisi eksisting sedangkan skenario 2 merupakan pembentukan model kualitas air agar beban pencemar Timbal (Pb) maksimum dapat diketahui sesuai dengan standar baku mutu air Kelas II (PP Nomor 22 Tahun 2021). Nilai daya tampung Timbal (Pb) dihitung melalui selisih dari beban pencemar skenario 2 dikurangi beban pencemar simulasi 1. Berdasarkan hasil penelitian, Sungai Code termasuk sungai yang tercemar Timbal (Pb) karena pada segmen 3 pada Tahun 2018 serta segmen 1 dan 2 Tahun 2024 memiliki daya tampung yang bernilai negatif, yang berarti beban pencemaran Timbal di segmen tersebut telah melebihi kapasitas lingkungan alaminya. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengurangan beban pencemaran Timbal (Pb) sebesar 1,2 kg/hari pada segmen 3 pada Tahun 2018, 8,51 kg/hari di segmen 1 dan 39 kg/hari di segmen 2 pada Tahun 2024 untuk mencapai kondisi daya tampung yang ideal.

Kata Kunci: Timbal (Pb), Sungai Code, Daya Tampung Beban Pencemar, QUAL2K

ABSTRACT

RAFI. Analysis of Water Pollution in the Code River Based on Lead (Pb) Parameters Using QUAL2K Modeling. Supervised by ADAM RUS NUGROHO, S.T., M.T., Ph.D.

The Code River, located in the Special Region of Yogyakarta, spans three administrative areas and receives domestic wastewater containing heavy metals, particularly lead (Pb). This pollution poses a threat to aquatic ecosystems and human health, necessitating water quality monitoring, including analyzing the river's pollution load capacity. According to Government Regulation No. 82 of 2001 Article 23, water pollution control requires periodic determination of pollution load capacity. This study aims to compare the pollution load capacity of the Code River for lead (Pb) parameters in 2018 and 2024 using QUAL2K modeling. QUAL2K modeling, executed in Microsoft Excel using Visual Basic for Applications (VBA), evaluates the river's capacity to assimilate pollutants. The study was conducted across four river segments with five sampling points. Two scenarios were simulated: Scenario 1 represents the existing condition, while Scenario 2 models the maximum pollutant load of lead (Pb) that meets Class II water quality standards (Government Regulation No. 22 of 2021). Lead (Pb) pollution load capacity was calculated as the difference between pollutant loads in Scenario 2 and Scenario 1. The results indicated that the Code River is polluted, as Segment 3 in 2018 and Segment 2 in 2024 exhibited negative Lead (Pb) pollution load capacities, meaning the pollutant load exceeded the natural environmental capacity. To achieve an ideal Lead (Pb) pollution load capacity, pollutant reductions of 1,2 kg/day in Segment 3 (2018), 8,51 kg/day in segment 1 (2024) and 39 kg/day in Segment 2 (2024) are required.

Keywords: Lead (Pb), Code River, Pollution Load Capacity, QUAL2K

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	4
ABSTRAK.....	7
ABSTRACT.....	8
DAFTAR ISI.....	9
DAFTAR TABEL.....	11
DAFTAR GAMBAR.....	12
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Asumsi Penelitian	3
1.6 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Daerah Aliran Sungai Code	5
2.2 Kondisi Sungai Code	5
2.3 Pencemaran Logam Berat Pada Sungai Code.....	6
2.3.1 Pencemaran Timbal (Pb) Air Sungai Code.....	7
2.3.2 Transportasi dan Distribusi Kontaminan Timbal (Pb).....	8
2.3.3 Reaksi pada Logam Berat Timbal (Pb).....	9
2.3.4 Baku Mutu Timbal (Pb).....	9
2.4 Daya Tampung Beban Pencemar.....	11
2.5 <i>Software</i> Pemodelan Air Sungai	12
2.6 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Alur Penelitian	17
3.2 Waktu dan Lokasi	18
3.3 Metode Pengumpulan Data	20
3.3.1 Data Sekunder	21
3.3.2 Data Primer	22
3.4 Pengujian Konsentrasi Timbal (Pb).....	25
3.4.1 Persiapan Pengujian.....	25
3.4.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi	26
3.4.3 Pengujian.....	27
3.4.4 Perhitungan	27

3.5	Pemodelan QUAL2K.....	27
3.5.1	Input Data.....	28
3.5.2	Kalibrasi Model	29
3.5.3	Evaluasi / Validasi Model.....	29
3.6	Analisis Data.....	30
3.6.1	Skenario Model.....	30
3.6.2	Perhitungan Beban Pencemar	31
3.6.3	Daya Tampung.....	31
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1	Kondisi Lokasi Sampling.....	32
4.2	Kondisi Hidrolik Sungai Code.....	34
4.2.1	Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2018.....	34
4.2.2	Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2024.....	37
4.3	Kondisi Kualitas Air Sungai Code.....	39
4.3.1	Derajat Keasaman (pH).....	39
4.3.2	Temperatur Air.....	40
4.3.3	Timbal (Pb)	42
4.4	Sumber Pencemar Sungai Code.....	45
4.5	Pemodelan Kualitas Air Sungai Code dengan QUAL2K.....	47
4.5.1	Hasil Kalibrasi Model	47
4.5.2	Hasil Evaluasi Model.....	51
4.6	Analisis Daya Tampung Beban Pencemar.....	53
4.6.1	Hasil Skenario Model	53
4.6.2	Beban Pencemar.....	59
4.6.3	Daya Tampung Beban Pencemar.....	60
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	65
DAFTAR	PUSTAKA	66
LAMPIRAN		68
RIWAYAT	HIDUP	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1 Titik pantau kualitas air Sungai Code 2018.....	21
Tabel 3.2 Lokasi Sampling Kualitas Air Sungai Code 2024.....	22
Tabel 3.3 Alat Ukur Kualitas Air Sungai.....	22
Tabel 3. 4 Alat Ukur Hidrolik Sungai.....	23
Tabel 3.5 Lokasi Point Source pada Sungai Code Tahun 2024.....	24
Tabel 3.6 <i>Worksheet</i> Input Data pada program QUAL2K	28
Tabel 3.7 <i>Worksheet</i> Kalibrasi Program QUAL2K	29
Tabel 3.8 Simulasi Model	30
Tabel 4.1 Kondisi Lokasi Sampling Sungai Code	32
Tabel 4.2 Titik Lokasi Sampling Air Sungai	34
Tabel 4.3 Data Debit Air Sungai Code Tahun 2018.....	35
Tabel 4.4 Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2018.....	36
Tabel 4.5 Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2024.....	37
Tabel 4.6 pH Air Sungai Code.....	39
Tabel 4.7 Temperatur Air Sungai Code	41
Tabel 4.8 Data Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2018	43
Tabel 4.9 Data Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2024	44
Tabel 4.10 Sumber Pencemar Sungai Code.....	46
Tabel 4.11 Hasil Validasi Model Debit Sungai Code Tahun 2018.....	51
Tabel 4.12 Hasil Validasi Model Kedalaman Sungai Code Tahun 2018	52
Tabel 4.13 Hasil Validasi Model Kecepatan Aliran Sungai Code 2018.....	52
Tabel 4.14 Hasil Validasi Model Timbal (Pb) Sungai Code 2018	52
Tabel 4.15 Hasil Validasi Model Debit Sungai Code 2024.....	52
Tabel 4.16 Hasil Validasi Model Kedalaman Sungai Code 2024	52
Tabel 4.17 Hasil Validasi Model Kecepatan Aliran Sungai Code 2024.....	53
Tabel 4.18 Hasil Validasi Model Timbal (Pb) Sungai Code 2024	53
Tabel 4.19 Sumber Pencemar 2018 Skenario 1	54
Tabel 4.20 Sumber Pencemar 2024 Skenario 1	55
Tabel 4.21 Sumber Pencemar 2018 Skenario 2	57
Tabel 4.22 Sumber Pencemar 2024 Skenario 2	57
Tabel 4.23 Beban Pencemaran Tahun 2018 Skenario 1	59
Tabel 4.24 Beban Pencemaran Tahun 2024 Skenario 1	59
Tabel 4.25 Beban Pencemaran Tahun 2018 Skenario 2	60
Tabel 4.26 Beban Pencemaran Tahun 2024 Skenario 2	60
Tabel 4.27 Hasil Perhitungan DTBP Timbal (Pb) Tahun 2018.....	61
Tabel 4.28 Hasil Perhitungan DTBP Timbal (Pb) Tahun 2024.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2 Peta Lingkup Penelitian	18
Gambar 3.3 Segmentasi Sungai Code.....	20
Gambar 3.4 Sketsa Penampang Sungai	23
Gambar 4.1 Grafik Debit Sungai Code Tahun 2018.....	35
Gambar 4.2 Grafik Kedalaman Sungai Code 2018	36
Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Aliran Sungai Code 2018.....	36
Gambar 4.4 Grafik Debit Sungai Code Tahun 2024.....	38
Gambar 4.5 Grafik Kedalaman Sungai Code 2024	38
Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Aliran Sungai Code 2024.....	38
Gambar 4.7 pH Air Sungai Code	40
Gambar 4.8 Temperatur Air Sungai Code	41
Gambar 4.9 Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2018	43
Gambar 4.10 Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2024	44
Gambar 4.11 Model Debit Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi	48
Gambar 4.12 Model Kedalaman Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi.....	48
Gambar 4.13 Model Kecepatan Aliran Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi	48
Gambar 4.14 Model Timbal (Pb) Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi.....	49
Gambar 4.15 Model Debit Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi	50
Gambar 4.16 Model Kedalaman Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi.....	50
Gambar 4.17 Model Kecepatan Aliran Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi	50
Gambar 4.18 Model Timbal (Pb) Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi.....	51
Gambar 4.19 Hasil Skenario1 Timbal (Pb) Tahun 2018	54
Gambar 4.20 Hasil Skenario 1 Timbal (Pb) Tahun 2024	56
Gambar 4.21 Hasil Skenario 2 Timbal (Pb) Tahun 2018	58
Gambar 4.22 Hasil Skenario 2 Timbal (Pb) Tahun 2024	58
Gambar 4.23 Beban Pencemaran Timbal yang melebihi daya tampung	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai adalah aliran air alami yang bergerak dari sumbernya, seperti mata air, menuju ke badan air yang lebih besar seperti danau, laut, atau samudra. Sungai berperan penting dalam siklus hidrologi, membawa air hujan ke tempat yang lebih rendah. Selain itu, sungai memiliki fungsi ekologis yang vital, menjadi habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna, serta menyediakan sumber air untuk kebutuhan manusia, irigasi pertanian, dan pembangkit listrik. Namun, sungai juga rentan terhadap pencemaran akibat aktivitas manusia, seperti limbah industri, pertanian, dan rumah tangga, yang dapat mengganggu kualitas air dan ekosistemnya.

Sungai Code merupakan sungai yang berada di wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang melintasi 3 (tiga) wilayah administrasi. Hulu Sungai Code berada di wilayah Kabupaten Sleman, tengah Sungai Code berada di wilayah Kota Yogyakarta, bagian hilir Sungai Code berada di wilayah Kabupaten Bantul (Peta RBI BIG Tahun 2019). Sungai Code menerima beban air limbah dari berbagai kegiatan diantaranya kegiatan pertanian dari wilayah hulu, kegiatan pemukiman dan kegiatan usaha kecil/industri di wilayah tengah, kegiatan permukiman dan usaha kecil/industri di wilayah hilir (RTRW Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2023-2043).

Sebagai sungai yang menerima pembuangan limbah di sepanjang daerah, pencemaran Sungai Code dapat merusak ekosistem perairan dan membahayakan kesehatan manusia, terutama ketika logam berat seperti timbal masuk ke dalam air melalui limbah industri yang tidak dikelola dengan baik. Pencemaran yang berbahaya antara lain adalah pencemaran logam berat. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia (Mohiuddin dkk, 2011).

Timbal (Pb) dihasilkan dari limbah domestik. Riset menunjukkan bahwa Timbal adalah logam berat yang paling banyak dihasilkan oleh aktifitas domestik (Moriyama dkk, 2018). Domestik bukan hanya berarti limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga, tetapi juga dari usaha dan atau kegiatan pemukiman (real estate), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Dengan digunakannya Sungai Code sebagai sumber air oleh sebagian masyarakat, dimana parameter Timbal (Pb) merupakan parameter untuk mengidentifikasi adanya kandungan logam berat, maka perlu dilakukan identifikasi keberadaannya. Analisis

pencemaran logam berat yang sudah dilakukan oleh Mayu Dwi Anjani pada tahun 2018, dengan menguji keberadaan beberapa logam berat salah satunya Timbal. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa setiap logam berat memiliki konsentrasi yang berbeda beda setiap titik sampling dan lokasi serta cuaca sampling menjadi faktor pengubah tingkat konsentrasi logam berat tersebut. Berdasarkan hasil penelitian tersebut juga didapatkan kesimpulan bahwa konsentrasi Timbal (Pb) pada Sungai Code sudah melebihi baku mutu air sungai kelas II. Dengan demikian, tantangan kontaminasi timbal dalam Sungai Code menjadi permasalahan yang perlu diidentifikasi pencemarannya secara berkala salah satu contohnya adalah dengan menghitung daya tampung beban pencemaran Timbal (Pb) pada air Sungai Code. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Pasal 23 dalam rangka upaya pengendalian pencemaran air ditetapkan daya tampung beban pencemaran air pada sumber air yang dilakukan secara berkala sekurang-kurangnya 5 (lima) tahun sekali.

Daya tampung beban pencemaran timbal (Pb) pada air sungai adalah kapasitas maksimal sungai untuk menampung timbal tanpa menyebabkan penurunan kualitas air yang signifikan atau membahayakan ekosistem di dalamnya. Parameter ini penting untuk menjaga kesehatan sungai, terutama jika aliran tersebut digunakan untuk kebutuhan air minum, pertanian, atau sebagai habitat makhluk hidup. Untuk memantau dan memprediksi fluktuasi distribusi logam berat beserta daya tampung beban pencemaran timbal di sepanjang sungai, diperlukan pendekatan yang efektif dalam pengelolaan kualitas air. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah menggunakan model kualitas air QUAL2K, yang mampu mensimulasikan perubahan konsentrasi parameter kualitas air termasuk logam berat dalam aliran sungai. Meskipun ada beberapa jenis metode yang dapat digunakan dalam memodelkan air sungai, QUAL2K digunakan pada penelitian ini karena aplikasi ini masih dalam proses pengembangan yang bisa diubah atau diperbarui sesuai berjalannya ilmu dalam pemodelan air sungai. Dengan memanfaatkan data lapangan seperti debit aliran, konsentrasi logam berat, suhu, pH, serta sumber pencemar, QUAL2K dapat digunakan untuk memodelkan kondisi Sungai Code saat ini, sekaligus memproyeksikan perubahan kualitas air di masa mendatang. Hasil pemodelan ini penting untuk merumuskan strategi mitigasi yang tepat guna mengurangi dampak pencemaran logam berat, sekaligus mendukung pengelolaan Sungai Code yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat masalah yang ingin dipecahkan yaitu:

1. Berapakah nilai beban pencemaran Timbal (Pb) pada air Sungai Code pada tahun 2018 dan 2024 dalam kondisi eksisting.
2. Bagaimanakah Daya Tampung Beban Pencemar pada Sungai Code pada tahun 2018 dan 2024 dan seberapa besar beban pencemaran yang harus diturunkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai beban pencemaran Timbal (Pb) pada Sungai Code pada tahun 2018 dan 2024 dengan pemodelan QUAL2K.
2. Menentukan kondisi Daya Tampung Beban Pencemaran pada Sungai Code pada tahun 2018 dan 2024 dan nilai beban pencemar yang harus diturunkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Dapat menjadi referensi ilmiah bagi akademisi dan peneliti selanjutnya yang berkaitan dengan analisis pencemaran logam berat dengan pemodelan kualitas air Sungai Code dengan *software* QUAL2K.
2. Dapat memberikan solusi alternatif kepada pemerintah dalam pengelolaan air Sungai Code akibat dari kegiatan pencemaran kontaminan logam berat.
3. Memberikan informasi kepada masyarakat terkait sumber pencemaran logam berat air sungai.

1.5 Asumsi Penelitian

Berdasarkan kondisi eksisting kualitas air Sungai Code, analisis daya tampung beban pencemar dilakukan sebagai upaya serta strategi untuk mengetahui batasan maksimal daya tampung beban pencemar terutama pada parameter Timbal (Pb) yang dapat diterima di Sungai Code dengan menggunakan pemodelan dari *software* QUAL2K.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Lokasi Sampling terletak pada Sungai Code berada di Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Segmen Sungai Code yang meliputi dalam penelitian ini terletak dari Jembatan Pogung, Mlati, Kabupaten Sleman dan berakhir pada Jembatan Tungkak di Mergangsan Kota Yogyakarta.
3. Parameter yang diuji pada sample adalah Timbal (Pb).
4. Sample Air Sungai Code yang digunakan untuk diuji kualitas air sungai dan konsentrasi timbal di air Sungai Code pada Tahun 2024 diambil pada Bulan Februari Tahun 2024.
5. Baku Mutu parameter menggunakan Baku Mutu Air kelas II pada lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021
6. Menggunakan aplikasi QUAL2K versi 3 untuk memodelkan kualitas air sungai.
7. Lokasi pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UII.
8. Data sekunder yang digunakan terkait titik pantau kualitas air sungai dan konsentrasi timbal di air Sungai Code pada Tahun 2018 didapatkan dari penelitian Mayu Dwi Anjani pada Bulan Januari hingga Mei Tahun 2018.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai Code

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian disalurkan ke laut melalui sungai utama. Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air atau *catchment area* yang meruoakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam seperti tanah, air, dan vegetasi serta sumber daya manusia sebagai pemanfaat sumber daya alam tersebut (Asdak, 2023).

Selain untuk menyalurkan air dari hulu ke hilir, peran sungai bagi alam menurut PP No. 38 Tahun 2011 adalah sebagai pemulih kualitas air, penyalur banjir dan habitat ekosistem flora dan fauna. Sungai memiliki manfaat sebagai penyedia sumber air bersih yang vital bagi kehidupan sehari-hari, pertanian, dan industri, memastikan ketersediaan air yang cukup untuk kebutuhan manusia dan hewan. Keberadaan sungai mendukung keanekaragaman hayati dengan menjadi habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna. Selain itu, sungai juga berperan penting dalam perekonomian daerah sekitarnya melalui penyediaan sumber daya alam serta potensi pariwisata.

Dengan panjang total perkiraan 41 kilometer, Sungai Code merupakan sungai yang melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, serta Kabupaten Bantul. Sungai Code dan Sungai Gajahwong mengalami tingkat pencemaran yang relatif lebih tinggi dari sungai yang lainnya, hal ini disebabkan oleh banyaknya limbah rumah tangga yang dibuang ke kedua sungai tersebut (Dradjat, 1988). Perairan sungai di dalam kota, memiliki konsentrasi bahan kimia yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan sungai yang lain (Sucahya, A. D., 2001).

2.2 Kondisi Sungai Code

Adanya peningkatan aktivitas manusia di sekitar Sungai Code, kualitas air dalam kondisi yang baik-baik saja apabila dilakukan pengelolaan dan monitoring yang tepat. Akan tetapi, apabila aktivitas manusia mampu disetarakan dengan kepedulian akan lingkungan guna menjaga kualitas sungai serta ekosistem yang teradapat didalamnya, maka kualitas air sungai Code tersebut akan relative baik-baik saja (Yogafanny, 2015).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Anjani pada tahun 2018, konsentrasi timbal (Pb) di Sungai Code telah melebihi baku mutu yang ditetapkan, yaitu 0,03 mg/l, di setiap titik pengujiannya. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat pencemaran timbal di Sungai Code cukup serius, dengan konsentrasi timbal yang melebihi ambang batas yang aman bagi ekosistem dan kesehatan manusia, sehingga memerlukan tindakan pengelolaan dan mitigasi pencemaran yang lebih efektif.

Dengan demikian, tantangan kontaminasi timbal dalam Sungai Code menjadi permasalahan yang perlu diidentifikasi pencemarannya secara berkala salah satu contohnya adalah dengan menghitung daya tampung beban pencemaran Timbal (Pb) pada air Sungai Code. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Pasal 23 dalam rangka upaya pengendalian pencemaran air ditetapkan daya tampung beban pencemaran air pada sumber air yang dilakukan secara berkala sekurang-kurangnya 5 (lima) tahun sekali.

2.3 Pencemaran Logam Berat Pada Sungai Code

Pencemaran sungai adalah proses masuknya zat atau bahan berbahaya seperti limbah industri, limbah domestik, bahan kimia, dan polutan lainnya ke dalam air sungai, yang menyebabkan degradasi kualitas air, merusak ekosistem, dan membahayakan kesehatan manusia serta makhluk hidup yang bergantung pada sungai tersebut. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air adalah masuknya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh manusia. Ini menurunkan kualitas air ke titik di mana ia tidak dapat melakukan apa yang seharusnya dilakukan.

Menurut PP No. 38 Tahun 2011 Penyebab pencemaran air sungai yang utama adalah air limbah dan sampah. Kecenderungan perilaku masyarakat memanfaatkan sungai sebagai tempat buangan air limbah dan sampah harus dihentikan. Hal ini mengingat air sungai yang tercemar akan menimbulkan kerugian dengan pengaruh ikutan yang panjang. Salah satunya yang terpenting adalah mati atau hilangnya kehidupan flora dan fauna di sungai yang dapat mengancam keseimbangan ekosistem.

Sungai Code diketahui menerima mayoritas limbah cair dari pemukiman di sepanjang bantaran sungai, di mana limbah domestik menjadi sumber pencemaran utama. Limbah domestik ini, yang meliputi sisa-sisa aktivitas rumah tangga seperti air bekas mencuci, mandi, serta kegiatan lain, ternyata mengandung logam berat, salah satunya adalah timbal (Pb). Berdasarkan penelitian Moriyama, timbal merupakan salah satu logam berat dengan konsentrasi tertinggi yang dihasilkan oleh limbah domestik. Jalur masuknya timbal ke dalam

air sungai yaitu antara melalui saluran pipa langsung dari rumah ke sungao, atau dari saluran drainase yang digunakan untuk menyalurkan limbah cair domestik. Akumulasi limbah domestik yang terus-menerus masuk ke Sungai Code menyebabkan peningkatan konsentrasi timbal, yang pada akhirnya membahayakan kualitas air dan ekosistem di sepanjang aliran sungai.

2.3.1 Pencemaran Timbal (Pb) Air Sungai Code

Timbal (Pb) termasuk salah satu komponen logam berat yang terdapat pada lingkungan karena memiliki massa atom 207.2 u. Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang terjadi secara alami yang tersedia dalam bentuk biji logam, dan juga dalam percikan gunung berapi, dan bisa juga di peroleh di alam (WHO, 2007). Timbal (Pb) bisa masuk dalam lingkungan dan tubuh manusia dari berbagai macam sumber seperti bensin (petrol), daur ulang atau pembuangan baterai mobil, mainan, cat, pipa, tanah, beberapa jenis kosmetik dan obat tradisional dan berbagai sumber lainnya (WHO, 2007).

Analisis pencemaran logam berat yang sudah dilakukan oleh Mayu Dwi Anjani pada tahun 2018, dengan menguji keberadaan beberapa logam berat salah satunya Timbal. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa konsentrasi Timbal (Pb) pada setiap titik sampling pada Sungai Code sudah melebihi baku mutu air sungai kelas II. Dengan demikian, tantangan kontaminasi timbal dalam Sungai Code menjadi permasalahan yang perlu diidentifikasi pencemarannya secara berkala salah satu contohnya adalah dengan menghitung daya tampung beban pencemaran Timbal (Pb) pada air Sungai Code.

Sebagai polutan, timbal memiliki dampak buruk pada lingkungan dan juga makhluk hidup. Pada lingkungan timbal dapat mencemari udara, air dan tanah, sedangkan pada makhluk hidup timbal dapat masuk ke dalam tubuh dan mengendap di dalam darah (Albalak, 2001). Selain dapat mencemari air sungai, timbal juga dapat terakumulasi di dalam tubuh fauna air sungai dan juga tumbuhan yang disiram menggunakan air sungai yang terkontaminasi Timbal (Pb). Jika dikonsumsi manusia, tanaman dan ikan tersebut dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia yang dapat dilihat dari darah, syaraf, rongga mulut, ginjal, dan beberapa organ lainnya (Assi, 2016).

2.3.2 Transportasi dan Distribusi Kontaminan Timbal (Pb)

Proses transportasi dan distribusi Timbal (Pb) di sungai melibatkan berbagai mekanisme yang memengaruhi penyebaran dan akumulasi kontaminan ini dalam lingkungan perairan. Setelah masuk ke dalam sungai, timbal tersebar melalui badan air dan mengalami proses penyebaran secara alami akibat arus sungai, difusi, serta pencampuran turbulen. Namun, timbal tidak hanya tetap berada di kolom air, tetapi juga dapat mengendap dan terakumulasi dalam sedimen di dasar sungai. Proses sedimentasi ini terjadi karena timbal memiliki kecenderungan untuk berikatan dengan partikel-partikel tersuspensi di air, yang kemudian mengendap seiring dengan laju aliran yang melambat. Konsentrasi timbal yang tinggi dalam sedimen dapat menjadi sumber pencemaran jangka panjang, terutama bagi organisme akuatik seperti ikan, kerang, dan mikroorganisme yang berinteraksi langsung dengan dasar sungai (Widowati, dkk, 2008). Timbal yang terakumulasi dalam organisme ini dapat masuk ke dalam rantai makanan dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia jika dikonsumsi.

Timbal (Pb) di sedimen Sungai Code berasal dari proses pengendapan, di mana awalnya timbal terlarut di air lalu bereaksi secara fisik, seperti menempel pada partikel atau membentuk senyawa yang tidak larut. Partikel ini kemudian mengendap ke dasar sungai, menyebabkan konsentrasi timbal berpindah dari air ke sedimen (Biaggi, 2022).

Selain itu, timbal juga mengalami proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam ekosistem perairan. Bioakumulasi terjadi ketika timbal diserap oleh organisme akuatik lebih cepat daripada kemampuan tubuh mereka untuk mengeluarkannya, sehingga terjadi peningkatan konsentrasi dalam jaringan tubuh organisme tersebut (Darmono, 2001). Seiring dengan perpindahan energi melalui rantai makanan, timbal mengalami biomagnifikasi, di mana konsentrasi timbal semakin meningkat pada tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti predator puncak. Faktor lingkungan seperti pH air, kadar oksigen terlarut, serta keberadaan bahan organik juga berpengaruh terhadap kelarutan timbal dalam air. Menurut Hutagalung dan Setiapermana (1994), bahwa logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut. Pemahaman mendalam mengenai proses transportasi, penyebaran, serta interaksi timbal dengan lingkungan sangat penting dalam mengevaluasi risiko ekologis dan dampaknya terhadap kesehatan manusia akibat pencemaran timbal di perairan.

2.3.3 Reaksi pada Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal (Pb) termasuk dalam kategori polutan konservatif, yaitu jenis polutan yang tidak dapat terurai secara alami meskipun mengalami reaksi kimia dengan senyawa lain di lingkungan. Sebagai unsur logam berat, timbal tetap mempertahankan keberadaannya dalam berbagai bentuk kimia tanpa mengalami degradasi biologis atau kimiawi yang signifikan. Hal ini menyebabkan timbal cenderung bertahan dalam waktu yang lama di lingkungan dan dapat terakumulasi dalam tanah, air, serta rantai makanan. Karena sifatnya yang tidak dapat terurai, timbal memiliki dampak toksik yang tinggi terhadap organisme perairan dan manusia, terutama jika terpapar dalam jangka panjang (Widowati, dkk, 2008).

Meskipun tidak dapat terurai, timbal dapat mengalami reaksi spesiasi, salah satunya dengan oksigen terlarut di perairan. Reaksi ini dapat menyebabkan perubahan bentuk kimia timbal, misalnya membentuk senyawa timbal oksida (PbO) atau timbal hidroksida (Pb(OH)₂), yang memiliki kelarutan lebih rendah dibandingkan bentuk terlarutnya (Clark, n.d.). Akibatnya, ukuran partikel timbal menjadi lebih besar dan lebih mudah untuk mengalami pengendapan di dasar perairan dalam bentuk sedimen. Namun, kondisi lingkungan seperti perubahan pH atau gangguan fisik dapat menyebabkan timbal yang telah mengendap kembali terlarut ke dalam air, meningkatkan potensi pencemaran. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air dan pengelolaan pencemaran timbal sangat penting untuk mencegah dampak negatif terhadap ekosistem perairan.

2.3.4 Baku Mutu Timbal (Pb)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Baku Mutu Air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Standar kualitas air yang diterapkan dalam pengelolaan sumber air ada 2 jenis, yaitu *effluent standard* dan *stream standard*.

1. *Effluent Standard*

Effluent Standard adalah standar atau kualitas air limbah yang dikeluarkan IPAL setelah diolah menuju sungai terdekat. Baku Mutu Air Limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam Air Limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dan tanah dari

suatu Usaha dan/atau Kegiatan. Peraturan yang mengatur tentang Baku Mutu Air Limbah adalah Kepmen LH No. 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk Aktivitas Industri.

2. *Stream Standard*

Standar baku mutu sungai/stream standard adalah standar baku mutu yang ditetapkan untuk badan air yang sesuai dengan peruntukannya, seperti yang tercantum dalam Lampiran 6 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 pembagian kelas terhadap baku mutu air permukaan dibagi ke dalam empat kelompok, yaitu:

a. Kelas 1

Kelas satu merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Berdasarkan Lampiran 6 Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Baku mutu parameter Timbal (Pb) pada kelas 1 adalah 0,03 mg/L.

b. Kelas 2

Kelas dua merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana / sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Berdasarkan Lampiran 6 Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Baku mutu parameter Timbal (Pb) pada kelas 2 adalah 0,03 mg/L.

c. Kelas 3

Kelas tiga merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Berdasarkan Lampiran 6 Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Baku mutu parameter Timbal (Pb) pada kelas 3 adalah 0,03 mg/L.

d. Kelas 4

Kelas empat merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan / atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Berdasarkan Lampiran 6 Pemerintah Republik Indonesia

Nomor 22 Tahun 2021, Baku mutu parameter Timbal (Pb) pada kelas 4 adalah 0,05 mg/L.

Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007 Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada Pasal 10 Sungai Code terbagi menjadi 3 segmen utama berdasarkan kelas air peruntukannya. Pada segmen pertama, dimulai dari Sungai Boyong dengan Sungai Trasi di Dusun Dayakan, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman menurut peruntukannya sebagai sungai kelas satu. Lalu mulai pertemuan Sungai Boyong dengan Sungai Trasi di Dusun Dayakan, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman kearah hilir sampai Kampung Surokrasan, Wirogunan, Mergangsan, Yogyakarta menurut peruntukannya sebagai sungai kelas dua. Pada segmen terakhir mulai Kampung Surokrasan, Wirogunan, Mergangsan, Yogyakarta kearah hilir sampai pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Kembangsono, Trimulyo, Jetis, Bantul menurut peruntukannya sebagai sungai kelas tiga.

2.4 Daya Tampung Beban Pencemar

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Daya Dukung Lingkungan Hidup didefinisikan sebagai kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antarkeduanya, sedangkan Daya Tampung Lingkungan Hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya. Dalam konteks monitoring pencemaran air sungai, daya tampung lingkungan hidup lebih relevan digunakan sebagai acuan karena berkaitan langsung dengan kapasitas sungai dalam menerima polutan tanpa melampaui ambang batas pencemaran. Pencemaran terjadi ketika beban pencemar melebihi daya tampung sungai, sehingga indikator ini dapat digunakan untuk menilai sejauh mana sungai masih mampu menyerap polutan sebelum mengalami degradasi kualitas air. Sementara itu, daya dukung lingkungan hidup memiliki cakupan yang lebih luas dan lebih cocok digunakan dalam perencanaan pengelolaan lingkungan secara umum, bukan secara spesifik untuk pemantauan pencemaran air sungai. Oleh karena itu, dalam monitoring pencemaran sungai, daya tampung lingkungan hidup adalah parameter yang lebih tepat digunakan.

Pengertian daya tampung sungai terhadap beban pencemaran menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 adalah kemampuan air pada suatu sumber

air, untuk menerima masukan beban pencemar tanpa mengakibatkan air tersebut cemar. Beban pencemaran itu sendiri merupakan jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah. Untuk menentukan beban daya tampung dengan menggunakan Metode Neraca Massa, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah: ukur konsentrasi setiap konstituen dan laju alir pada aliran sungai sebelum bercampur dengan sumber pencemar. Ukur konsentrasi setiap konstituen dan laju alir pada setiap aliran sumber pencemar; Menurut (Irsanda dkk, 2014), perhitungan beban pencemar adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya tampung beban pencemar (kg/hari)} = \text{Beban Pencemar Penuh} - \text{Beban Kondisi Awal}$$

Keterangan:

Beban Kondisi Awal : bersumber dari pencemar alami

Beban Pencemar penuh : batas maksimum beban pencemar yang diperbolehkan

2.5 Software Pemodelan Air Sungai

Permodelan sungai adalah penggunaan model matematika dan komputer untuk mensimulasikan aliran air dan proses terkait dalam sungai. Model ini dapat mencakup aspek fisik, kimia, dan biologi dari sistem sungai. Tujuan utama dari permodelan sungai adalah untuk memahami, memprediksi, dan mengelola perilaku sungai di bawah berbagai kondisi lingkungan dan penggunaan lahan. QUAL2K (atau Q2K) adalah salah satu *software* model kualitas air sungai dan aliran sungai yang ditujukan sebagai versi modern dari model QUAL2E (atau Q2E) (Brown dan Barnwell 1987).

QUAL2K dan QUAL2Kw adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan kualitas air sungai, tetapi terdapat beberapa perbedaan signifikan di antara keduanya. Salah satu keunggulan utama QUAL2K adalah bahwa perangkat lunak ini masih terus diperbarui dan dikembangkan, sedangkan QUAL2Kw tidak lagi mendapatkan pembaruan. Hal ini membuat QUAL2K lebih fleksibel dalam mengakomodasi penemuan baru atau parameter tambahan dalam pemodelan kualitas air. Jika ada perkembangan dalam metode analisis atau standar lingkungan yang baru, QUAL2K masih dapat diadaptasi dan ditingkatkan, sedangkan QUAL2Kw tetap dalam versi terakhirnya tanpa kemungkinan peningkatan.

Keunggulan lain dari QUAL2K adalah adanya tiga kolom kosong yang disebut *Generic Constituent*, yang memungkinkan pengguna untuk memasukkan parameter tambahan sesuai kebutuhan penelitian. Sementara itu, QUAL2Kw hanya memiliki satu kolom *Generic Constituent*, sehingga pengguna terbatas dalam memodelkan lebih dari satu parameter bebas

dalam satu aplikasi. Fitur ini menjadikan QUAL2K lebih unggul dalam pemodelan skenario yang kompleks, terutama ketika diperlukan analisis terhadap lebih dari satu parameter pencemar yang tidak tersedia dalam daftar default perangkat lunak. Dengan fleksibilitas yang lebih tinggi dan kemungkinan pengembangan di masa depan, QUAL2K menjadi pilihan yang lebih unggul dibandingkan QUAL2Kw dalam analisis kualitas air sungai.

Penelitian ini memodelkan persebaran logam berat pada Sungai Code untuk menentukan status Daya Tampung Beban Pencemaran Logam Berat pada sungai dengan menggunakan perangkat lunak QUAL2K. Logam berat yang menjadi parameter utama pengujian ini adalah Timbal (Pb). Penggunaan QUAL2K dapat digunakan untuk memodelkan kondisi Sungai Code saat ini, sekaligus memproyeksikan perubahan kualitas air di masa mendatang. Hasil pemodelan ini penting untuk merumuskan strategi mitigasi yang tepat guna mengurangi dampak pencemaran logam berat, sekaligus mendukung pengelolaan Sungai Code yang berkelanjutan. Pemodelan kualitas air sungai menggunakan QUAL2K dibagi menjadi 3 proses utama yaitu:

1. Input Data

Proses pembuatan model QUAL2K dimulai dengan tahap input data, yang mencakup berbagai informasi terkait kondisi sungai dan sumber pencemar. Data yang dimasukkan meliputi data kualitas sungai, seperti konsentrasi parameter pencemar, serta karakteristik fisikokimia air. Selain itu, data hidrolika sungai diperlukan untuk memahami pola aliran, yang mencakup debit, kecepatan, kedalaman, dan luas penampang sungai. Selanjutnya, model juga membutuhkan data meteorologis, seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari, karena faktor-faktor ini dapat mempengaruhi proses fisika dan kimia dalam sungai, seperti reaksi oksidasi, evaporasi, dan pertumbuhan alga. Selain itu, data sumber pencemar juga harus dimasukkan, yang terdiri dari point source (sumber pencemar yang berasal dari lokasi tertentu, seperti pembuangan limbah industri atau domestik) dan diffuse source (sumber pencemar yang tersebar, seperti limpasan permukaan dari area pertanian atau pemukiman).

2. Kalibrasi Data

Kalibrasi dilakukan dengan cara menyesuaikan parameter model agar hasil simulasi mendekati data kualitas air sungai yang diperoleh dari pengukuran lapangan. Salah satu metode yang digunakan adalah trial and error, yaitu dengan mengubah nilai beberapa parameter kunci hingga hasil model sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Dalam proses kalibrasi ini, data diffuse source sering kali menjadi variabel yang perlu

disesuaikan, karena sumber pencemar yang tersebar (seperti limpasan permukaan dari lahan pertanian dan pemukiman) sulit untuk diukur secara langsung dan dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan. Selain itu, data slope (kemiringan sungai) dan satuan Manning (koefisien kekasaran aliran) juga dikalibrasi untuk memastikan bahwa model merepresentasikan pola aliran sungai secara akurat.

3. Validasi Data

Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Dalam penelitian ini, terdapat dua metode validasi yang digunakan, yaitu RMSPE (Root Mean Square Percent Error) dan RPD (Relative Percentage Difference). Kedua metode ini berfungsi untuk mengukur tingkat kesalahan antara hasil model dan data lapangan, namun memiliki pendekatan yang berbeda dalam perhitungannya. Jika dibandingkan, metode RPD lebih cocok digunakan dalam penelitian ini karena metode ini mengharuskan setiap titik pengambilan sampel memiliki nilai error di bawah 25%. Artinya, validasi dilakukan secara spesifik pada setiap titik sungai sehingga keakuratan model dapat dinilai secara lebih rinci. Sementara itu, metode RMSPE menghitung nilai error berdasarkan rata-rata keseluruhan titik, sehingga potensi perbedaan besar di beberapa titik bisa tertutupi oleh nilai rata-rata yang lebih kecil. Dengan demikian, validasi menggunakan RPD dianggap lebih valid dalam memastikan bahwa model QUAL2K mampu merepresentasikan kondisi kualitas air sungai dengan tingkat kesalahan yang lebih terkendali pada setiap titik pemantauan.

Dalam pemodelan persebaran konsentrasi timbal (Pb) di air sungai menggunakan QUAL2K, terdapat beberapa koefisien model yang berperan penting. Dua di antaranya adalah *settling velocity* dan *first-order reaction rate*, yang berpengaruh terhadap pergerakan serta perubahan konsentrasi timbal dalam air.

- *Settling Velocity* (Kecepatan Pengendapan, V_s)

Settling velocity adalah kecepatan partikel tersuspensi, termasuk timbal yang teradsorpsi pada sedimen, untuk mengendap ke dasar sungai. Sebagian besar timbal konsentrasinya dalam air sungai tidak dapat berkurang sendirinya, melainkan teradsorpsi pada partikel tersuspensi seperti lumpur dan bahan organik. Semakin tinggi *settling velocity*, semakin cepat timbal mengendap ke dasar sungai, sehingga mengurangi konsentrasi Pb dalam kolom air. Jika aliran sungai kuat atau terjadi

gangguan pada sedimen, partikel yang telah mengendap dapat mengalami resuspensi, menyebabkan pelepasan kembali timbal ke dalam air. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengendapan timbal adalah ukuran dan massa partikel tersuspensi, kecepatan aliran sungai, dan kekeruhan dan kandungan bahan organik dalam air.

- *First-Order Reaction Rate* (Laju Reaksi Orde Satu, K_r)

First-order reaction rate adalah laju perubahan konsentrasi timbal dalam air akibat proses kimia atau biologis yang mengikuti hukum reaksi orde satu, di mana laju perubahan sebanding dengan konsentrasi Pb yang ada. Koefisien ini penting dalam Pemodelan Timbal (Pb) untuk menentukan seberapa cepat konsentrasi timbal berubah akibat reaksi kimia dan biologis di sungai. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi adalah pH dan komposisi ionik air, kandungan bahan organik yang bisa berikatan dengan Pb, dan oksigen terlarut yang mempengaruhi reaksi oksidasi-reduksi Pb.

2.6 Penelitian Terdahulu

Program QUAL2K masih termasuk jarang digunakan dalam pemodelan sungai jika dibandingkan program lain seperti QUAL2Kw. Tetapi sebelumnya sudah pernah dilakukan penelitian terkait analisis kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada sungai code, dan ada penelitian lainnya yang menjelaskan terkait memodelkan sungai menggunakan program QUAL2Kw. Penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

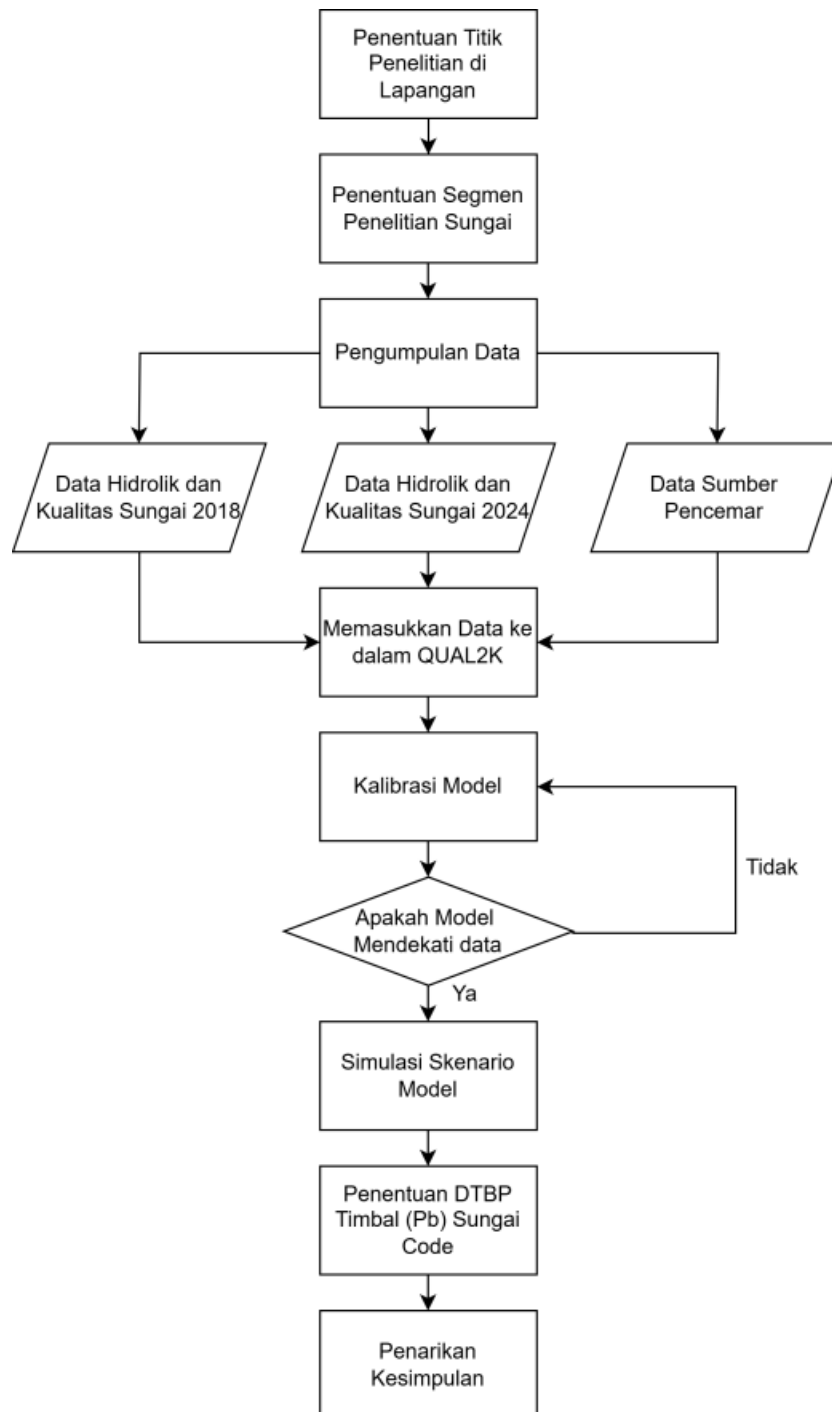
No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Sabiq Fikri Damari	2023	ANALISIS DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR AMONIA DAN FOSFAT DI SUNGAI GAJAHWONG DENGAN PEMODELAN QUAL2KW	Penurunan beban pencemar amonia dan fosfat harus dilakukan, untuk beban pencemar amonia harus dilakukan penurunan pada segmen 2 dan 4 sebagai berikut: segmen 2 harus dilakukan penurunan beban pencemar sebesar 9,38 kg/hari, dan segmen 4 sebesar 12,11 kg/hari. Sedangkan untuk beban pencemar 55 fosfat perlu diturunkan pada segmen 2 sampai 4 sebagai berikut; segmen 2 harus diturunkan sebesar 11,13 kg/hari, segmen 3 sebesar 2,44 kg/hari, dan segmen 4 sebesar 7,41 kg/hari.

2	Mayu Dwi Anjani	2018	ANALISIS WATER QUALITY INDEX KANDUNGAN LOGAM BERAT DI SEPANJANG SUNGAI CODE, YOGYAKARTA	Lokasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perbedaan rata-rata konsentrasi logam Pb, Cd, Fe, dan Mn sementara musim berpengaruh secara signifikan terhadap perbedaan rata-rata konsentrasi logam Pb, Cd, Fe, dan Mn di sepanjang Sungai Code Yogyakarta. Sungai Code Yogyakarta telah tercemar ringan oleh Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd).
3	Nur Shadrina Ghaisani	2024	Analisis Kandungan Mikroplastik pada Sumber Pencemar Titik (Point Sources) di Air Sungai Code	Berdasarkan hasil uji korelasi dari ketiga parameter fisik yang diuji dan debit, tidak ditemukan adanya korelasi dengan signifikansi $< 0,05$ pada keempat variabel, dan jumlah mikroplastik. Sehingga dapat dikatakan bahwa antara mikroplastik dan parameter fisik, serta mikroplastik dan debit tidak terdapat hubungan yang signifikan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

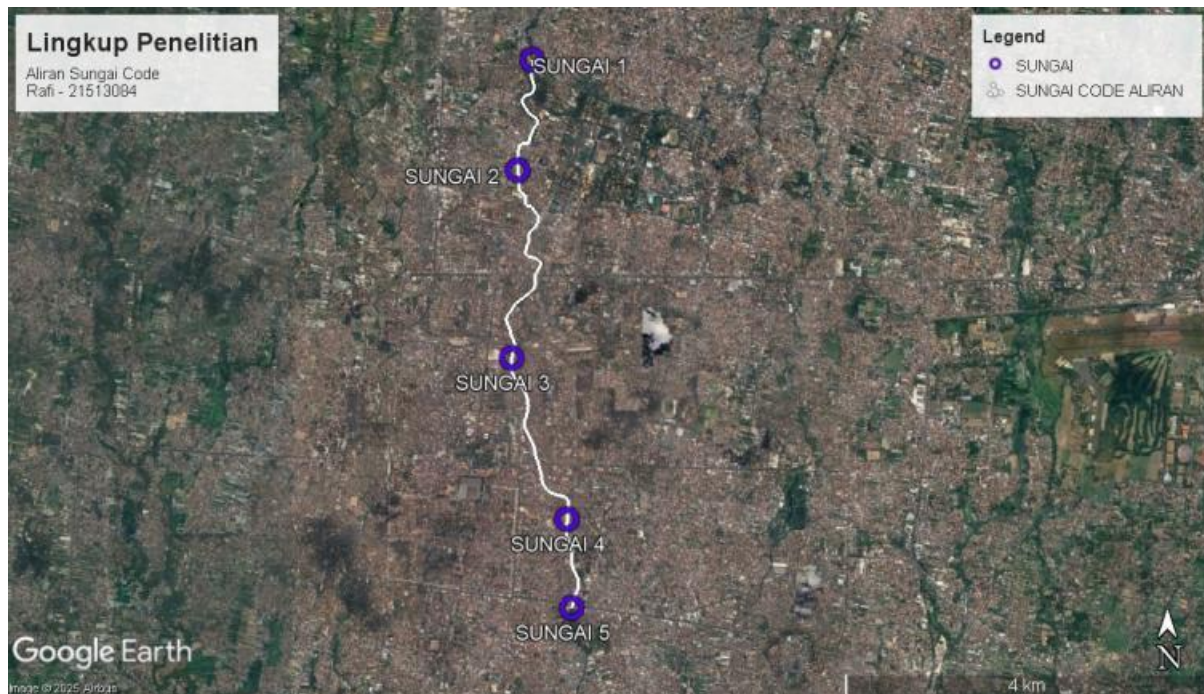
Diagram alur penelitian berikut menggambarkan berbagai tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian, mulai dari persiapan, pelaksanaan, hingga penyelesaian. Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Pasal 23 dalam rangka upaya pengendalian pencemaran air ditetapkan daya tampung beban pencemaran air pada sumber air yang dilakukan secara berkala sekurang-kurangnya 5 (lima) tahun sekali. Jumlah lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini berjumlah 5 titik untuk sampel *Point Source* berdasarkan titik sampling penelitian sebelumnya yang terletak pada setiap segmen, sedangkan untuk titik pantau kualitas air sungai menggunakan data sekunder dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anjani pada tahun 2018 serta mengambil sampel air sungai pada 5 titik untuk validasi data Tahun 2024 untuk membandingkan daya tampung beban pencemaran Timbal (Pb) pada kedua tahun tersebut. Dalam pengambilan sampel baik untuk air sungai atau sumber pencemar, dilakukan dengan metode *Grab Sampling* yaitu pengambilan sampel air sungai yang dilakukan dengan mengambil satu kali sampel pada lokasi dan waktu tertentu dengan acuan dari SNI 8995 tahun 2021 tentang Metode pengambilan contoh uji air untuk pengujian fisika dan kimia. SNI ini diperlukan untuk mengetahui mulai dari metode pengambilan sampel, jumlah titik pengambilan, lokasi titik pengambilan, dan juga penanganan atau pengawetan air sampel yang akan diuji. Lingkup penelitian dimulai dari daerah Pogung, Kabupaten Sleman, dan dilanjutkan hingga Brontokusuman di Kota Yogyakarta. Untuk melihat lingkup penelitian dalam bentuk peta, dapat dilihat pada Gambar 3.2.

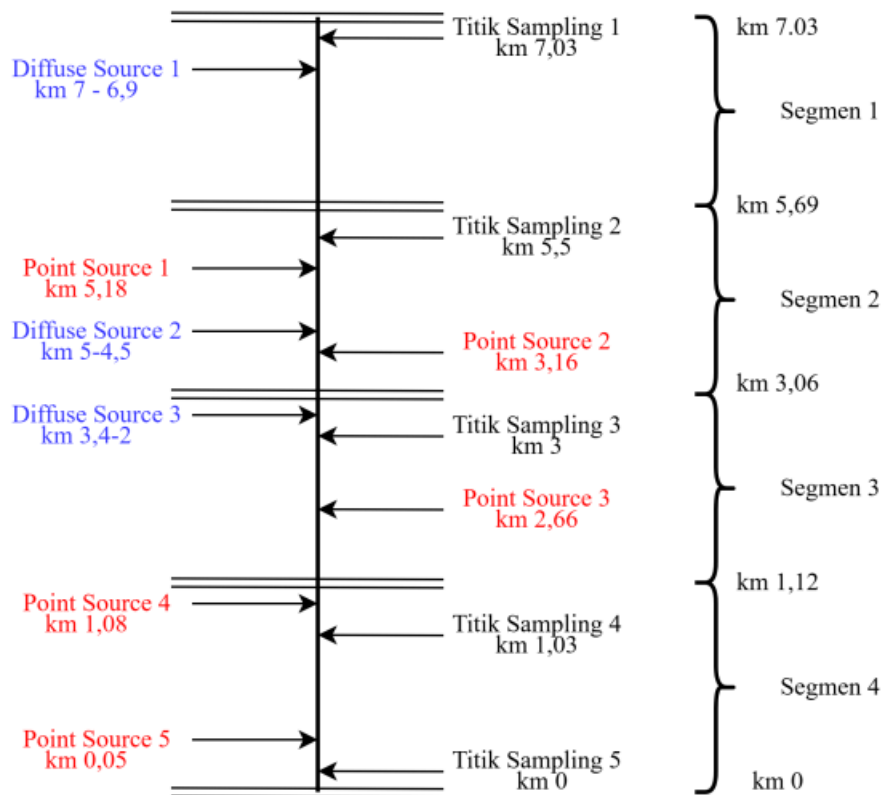


Gambar 3.2 Peta Lingkup Penelitian

Pembagian sungai ini dilakukan guna memodelkan serta melakukan identifikasi kualitas air Sungai Code. Dalam penentuan segmentasi sungai dalam penelitian ini kami menggunakan metode Panjang Morfometri Alur sungai. Morfometri alur sungai adalah pengukuran yang mempertimbangkan panjang jalur sungai sesuai dengan bentuk dan lekukan alur sungai yang sebenarnya. Morfometri DAS merupakan ukuran kuantitatif karakteristik DAS yang terkait dengan aspek geomorfologi suatu daerah (Khairun, 2017). Dalam konteks pemodelan kualitas air seperti menggunakan QUAL2K, pembagian segmen sering dilakukan berdasarkan panjang morfometri alur, karena penelitian ini memiliki fokus pada distribusi polutan yang mengikuti aliran sungai yang sebenarnya.

Penelitian ini dilakukan dengan cara membagi lokasi penelitian menjadi beberapa segmen yang diharapkan dapat mewakili populasi penelitian. Penentuan titik sampling dilakukan di 5 titik yaitu dengan membagi sungai menjadi 4 segmen berdasarkan kegiatan masyarakat dan karakteristik dari setiap penggunaan lahan dengan tetap mempertimbangkan faktor biaya, kemudahan akses peneliti, dan waktu sehingga dapat ditentukan titik-titik yang telah mewakili kondisi dan kualitas air Sungai Code. Pembagian segmen sungai utamanya berdasarkan perubahan lebar sungai. Lebar sungai ini sangat berdampak terhadap debit sungai yang mana parameter utama dalam penelitian ini yaitu kalkulasi beban pencemaran Timbal (Pb). Maka dari itu perubahan lebar sungai sepanjang lingkup penelitian menjadi faktor pembagian segmen.

Selain itu pertimbangan penentuan segmen sungai dipengaruhi oleh jumlah terjunan yang terdapat di Sungai Code. Batas segmen ditentukan oleh adanya terjunan, dimana titik sampling pertama diambil setelah adanya terjunan, dan titik terakhir terletak sebelum adanya terjunan selanjutnya. Adanya terjunan ini dapat meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) pada air sungai yang diakibatkan adanya kontak air terhadap udara yang dapat mengakibatkan perubahan *fate* parameter kualitas air disebabkan oleh aerasi karena turbulensi dari terjunan. Untuk melihat pembagian segmentasi sungai dalam penelitian ini dapat dilihat di Gambar 3.3



Gambar 3.3 Segmentasi Sungai Code

3.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *grab sampling* yaitu mengambil sampel air dari lokasi yang telah ditentukan dan diambil dalam waktu yang sama, maka dari itu hasil dari pengukuran nantinya akan menunjukkan kualitas air pada titik dan saat pengambilan. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Pasal 23 dalam rangka upaya pengendalian pencemaran air ditetapkan daya tampung beban pencemaran air yang dilakukan setidaknya setiap 5 (lima) tahun sekali. Data yang diperlukan adalah perolehan data dari Tahun 2018 dan 2024, pemilihan kedua tahun ini diakibatkan faktor waktu penelitian, ketersediaan data, dan periode pemantauan yaitu setidaknya setiap 5 tahun sekali. Metode pengumpulan data terbagi menjadi 2 yang meliputi Data Primer dan Data Sekunder.

3.3.1 Data Sekunder

Data sekunder bersumber dari penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini, yang terdiri dari:

1) Data Kualitas Air

Data Kualitas Air atau konsentrasi Timbal (Pb) pada Sungai Code menggunakan data sekunder yang didapatkan dari hasil penelitian Anjani pada Tahun 2018. Pada penelitian tersebut terdapat 4 titik pantau yang tercantum pada Tabel 3.1. Pada penelitian tersebut dilakukan sampling sebanyak 10 kali pada masing-masing titik, yaitu 2 kali pengujian setiap bulan dari Bulan Januari hingga Mei 2018, maka dari itu untuk data yang akan saya gunakan adalah rata-rata dari setiap kali sampling agar dapat mewakili data sepanjang tahun. untuk titik pantau kualitas air sungai akan diambil dari data sekunder penelitian terdahulu. Lokasi pantau kualitas air sungai dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Titik pantau kualitas air Sungai Code 2018

Titik	Lokasi	Koordinat		Waktu Pengambilan Sampel	Jumlah Data
		Lintang	Bujur		
1	Jembatan Pogung	7°45'48.08"S	110°22'14.23"E	Januari – Mei 2018	9 data hasil pengujian konsentrasi Timbal (Pb), Temperatur air, dan pH
2	Jembatan Sardjito	7°46'42.47"S	110°22'13.84"E		
3	Jembatan Jambu	7°47'38.93"S	110°22'11.06"E		
4	Jembatan Dewa Bronto	7°48'56.81"S	110°22'28.52"E		

Sumber: Anjani (2018)

2) Data Hidrolik Sungai

Data hidrolik Sungai Code meliputi debit sungai, kedalaman sungai, kecepatan aliran, dan lebar sungai. Seluruh parameter tersebut juga didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anjani pada Tahun 2018.

3) Data BMKG DIY berupa data meteorologis seperti kecepatan angin, temperatur udara, tutupan awan, persen radiasi matahari pada Tahun 2024.

4) Peta administrasi dan peta tata guna lahan Tahun 2024 dari Google Earth.

3.3.2 Data Primer

Data primer bersumber dari hasil observasi dan juga hasil pengujian pada laboratorium, yang terdiri dari:

1) Data Kualitas Air Sungai 2024

Untuk data kualitas air sungai pada Tahun 2024 diuji berdasarkan hasil sampling pada Bulan Februari Tahun 2024 pada 5 titik yang masih berada di dalam lingkup dengan tujuan untuk memudahkan perbandingan data diantara beban pencemar atau daya tampung beban pencemaran diantara kedua tahun yaitu 2018 dan 2024. Lokasi pengambilan sampel titik pantau kualitas air sungai tercantum pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Lokasi Sampling Kualitas Air Sungai Code 2024

Titik	Lokasi	Koordinat		Waktu Pengambilan Sampel	Jumlah Data
		Lintang	Bujur		
1	Jembatan Pogung	7°45'41.89"S	110°22'14.34"E	Februari 2024	5 data untuk tiap titik dengan masing-masing parameter konsentrasi Timbal (Pb), temperature air, dan pH
2	Jembatan Sendowo	7°46'21.12"S	110°22'9.10"E		
3	Jembatan Kewek	7°47'27.92"S	110°22'6.92"E		
4	Bendungan Mergangsan	7°48'25.31"S	110°22'26.81"E		
5	Jembatan Dewa Bronto	7°48'56.81"S	110°22'28.52"E		

Sumber: Zhafirah (2024)

Untuk Menguji Parameter In-situ seperti temperatur air dan Tingkat keasaman (pH) serta parameter logam berat Timbal (Pb) diperlukan beberapa alat yang tercantum pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Alat Ukur Kualitas Air Sungai

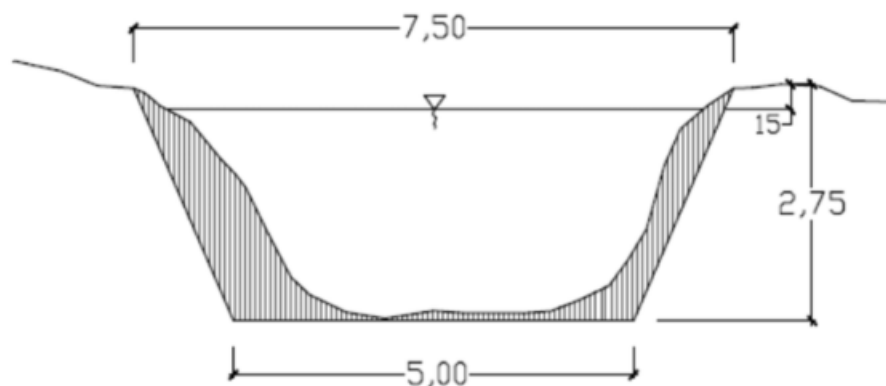
No	Parameter	Alat
1	Temperatur air	Alat Ukur Multiparameter
2	Tingkat Keasaman (pH) air	Alat Ukur Multiparameter
3	Timbal (Pb)	Spektrofotometri Serapan Atom

2) Data Hidrolik Air Sungai 2024

Data hidrolik Sungai Code meliputi debit, kedalaman sungai, kecepatan aliran dan lebar sungai. Pengukuran debit dilakukan dengan metode profil sungai (*cross section*) yang didapatkan dari hasil perkalian luas penampang sungai yaitu lebar dan kedalaman sungai dengan kecepatan aliran air. Kecepatan aliran air sungai diukur menggunakan alat current meter, sehingga didapatkan nilai kecepatan aliran pada berbagai kedalaman. Sedangkan untuk lebar sungai dapat diukur menggunakan meteran. Berdasarkan SNI 03-2414-1991 Tentang Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai, diperlukan beberapa alat yang akan digunakan untuk mengukur debit Sungai Code. Peralatan tersebut tercantum pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Alat Ukur Hidrolik Sungai

No	Parameter	Alat
1	Kecepatan Aliran Sungai	<i>Current Meter</i>
2	Lebar Basah Sungai	Meteran
3	Kedalaman Sungai	Batang Pengukur Kedalaman



Gambar 3.4 Sketsa Penampang Sungai

3) Data Sumber Pencemar

Data primer bersumber dari hasil observasi dilapangan. Untuk sampel sumber pencemar point source, digunakan air sampel dari penelitian Ghaisani tahun 2024. Namun, pengujian kadar Timbal (Pb) tetap dilakukan karena data mengenai parameter ini belum tersedia. Pengujian kadar Timbal (Pb) tersebut dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Lokasi pengambilan sampel limbah Point Source tercantum pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Lokasi Point Source pada Sungai Code Tahun 2024

NO		LOKASI	Koordinat	
			Lintang	Bujur
1	POINT SOURCE	Hotel X	7°46'32.22"S	110°22'11.90"E
2		Jembatan Kewek	7°47'23.00"S	110°22'7.00"E
3		Jembatan Jambu	7°47'38.82"S	110°22'11.02"E
4		Bendungan Mergangsan	7°48'23.20"S	110°22'26.67"E
5		Jembatan Tungkak	7°48'55.02"S	110°22'28.32"E

Sumber: Ghaisani (2024)

Dalam pengambilan sampel air baik air sungai maupun air limbah, untuk analisis logam berat timbal (Pb) sesuai dengan SNI 8995:2021, persiapan dan prosedur yang tepat sangat penting agar hasil analisis akurat dan mewakili kondisi limbah sebenarnya. Berikut adalah tahapan persiapan dan proses pengambilan sampel sesuai dengan standar:

3.3.2.1 Persiapan Sampling Air

1. Lokasi dan Waktu Pengambilan Ditentukan: Titik pengambilan sampel ditentukan pada aliran limbah di sumber pencemar titik (point source), seperti pipa buangan atau saluran keluar air limbah, sebelum bercampur dengan badan air lain.
2. Alat dan Wadah Disiapkan: Botol sampel yang khusus untuk logam berat, biasanya dari bahan polietilen atau kaca, disiapkan dan telah dicuci bersih menggunakan larutan asam untuk mencegah kontaminasi. Peralatan lain, seperti alat pengambil sampel atau tongkat pengambil, dipastikan dalam kondisi steril dan tidak terbuat dari logam yang dapat melepaskan timbal ke dalam sampel.
3. Pelabelan dan Identifikasi Dilakukan: Label disiapkan untuk mencatat informasi dasar, seperti tanggal, waktu, lokasi pengambilan, serta parameter analisis, yaitu timbal (Pb).

3.3.2.2 Pengambilan Sampel Air

1. Pembilasan Awal: Jika memungkinkan, air sungai atau air limbah dialirkan selama beberapa saat sebelum pengambilan sampel. Langkah ini dilakukan untuk membersihkan sisa kontaminasi atau aliran awal yang mungkin tidak merepresentasikan kondisi air saat itu.

2. Blanko Sampling: Pada proses ini, Blanko Sampling diadakan dengan menggunakan akuades yang dipaparkan pada lokasi pengambilan contoh uji untuk mendeteksi dan mengukur kontaminasi selama pengambilan contoh uji. Lakukan pengujian blanko lapangan apabila di sekitar lokasi pengambilan contoh uji terdapat usaha/kegiatan tertentu yang dapat mempengaruhi kadar parameter yang akan diuji.
3. Pengambilan Sampel: Sampel air diambil dengan volume sampel harus dipastikan mencukupi untuk analisis, biasanya minimal 500 mL, dan asam nitrat (HNO_3) (Pa) 65% ditambahkan hingga pH sampel mencapai sekitar 2 agar stabilitas timbal selama penyimpanan tetap terjaga. Penggunaan HNO_3 (Pa) dipilih untuk penelitian laboratorium karena memiliki kemurnian lebih tinggi serta kontaminan yang lebih rendah dibandingkan dengan HNO_3 teknis.
4. Pengemasan dan Penyimpanan: Botol sampel ditutup rapat dan diberi label sesuai dengan persiapan. Sampel kemudian disimpan pada suhu rendah (4°C) dan dijauhkan dari sumber cahaya langsung untuk mencegah perubahan kondisi sebelum sampai di laboratorium.
5. Pengiriman ke Laboratorium: Sampel dipastikan dikirim ke laboratorium secepat mungkin. Dengan prosedur ini, diharapkan hasil analisis kadar timbal dapat diperoleh secara akurat dan mencerminkan kualitas limbah dari sumber tersebut.

3.4 Pengujian Konsentrasi Timbal (Pb)

Untuk menganalisis sampel parameter Timbal (Pb) diperlukan alat Spektrofotometri Serapan Atom dengan merk GBC seri SavantAA, yang dapat mendeteksi nilai absorpsi cahaya yang dikeluarkan oleh SSA kedalam larutan yang akan didapatkan nilainya untuk perhitungan. *Limit of Detection* (LOD) alat Spektrofotometri Serapan Atom untuk parameter Timbal (Pb) adalah 0,05 mg/L, yang menunjukkan konsentrasi terendah Pb yang masih dapat terdeteksi dengan akurasi dan presisi tertentu oleh instrumen. Tetapi sebelum itu diperlukan beberapa tahapan dalam menguji kadar Timbal (Pb) yaitu:

3.4.1 Persiapan Pengujian

Berdasarkan SNI 6989.84 Tahun 2019 yang disusun oleh Badan Standardisasi Nasional terkait pengujian kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri

Serapan Atom (SSA) siapkan contoh uji untuk pengujian timbal terlarut, dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Larutan induk logam 1.000 mg/L dibuat sebagai larutan konsentrasi tinggi yang digunakan sebagai stok untuk kemudian diencerkan guna membuat larutan baku.
- b. Larutan baku 10 mg/L dibuat dengan mengencerkan larutan induk menggunakan akuades sesuai dengan volume larutan baku yang diperlukan.
- c. Larutan baku dengan konsentrasi 1 mg/L; 0,8 mg/L; 0,5 mg/L; 0,3 mg/L; 0,2 mg/L; dan 0,1 mg/L dibuat dengan mengencerkan larutan baku 10 mg/L sesuai dengan volume yang diperlukan.
- d. Blanko dibuat dengan menuangkan akuades sesuai dengan volume yang diperlukan dan diperlakukan sama seperti air sampel uji.
- e. Larutan kerja logam dipersiapkan dengan komposisi terdiri dari 1 blanko dan minimal 3 larutan kerja dengan konsentrasi berbeda.

3.4.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Berdasarkan SNI 6989.84 Tahun 2019 yang disusun oleh Badan Standardisasi Nasional terkait pengujian logam dengan SSA Kurva Kalibrasi dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Alat dioperasikan dan dioptimalkan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat (logbook).
- b. Larutan blanko diaspirasikan ke dalam SSA-nyala, kemudian serapan diatur hingga nol.
- c. Larutan kerja diaspirasikan satu per satu ke dalam SSA-nyala, lalu serapannya diukur pada panjang gelombang logam tertentu sesuai dengan parameter logam yang dianalisis. Untuk parameter Timbal (Pb), panjang gelombang yang digunakan adalah 283,3 nm.
- d. Pembilasan pada selang aspirator dilakukan dengan larutan pengencer.
- e. Kurva kalibrasi dibuat dari data yang diperoleh, dan persamaan garis lurusnya ditentukan.
- f. Jika koefisien korelasi regresi linier (r) kurang dari 0,995, kondisi alat diperiksa dan langkah b serta c diulangi hingga diperoleh nilai koefisien yang lebih besar atau sama dengan 0,995.

3.4.3 Pengujian

Dalam menguji kadar logam terlarut pada air sampel dapat dilakukan dengan mengaspirasikan contoh uji ke dalam SSA-nyala dan ukur serapannya pada panjang gelombang logam Timbal yaitu 283,3 nm. Bila hasil serapan lebih besar dari kisaran kadar optimum, lakukan pengenceran. Berdasarkan SNI 6989.84 Tahun 2019 yang disusun oleh Badan Standardisasi Nasional terkait pengujian logam dengan SSA alat ini memiliki prinsip pengujian dengan diatomisasinya analit logam tertentu dalam nyala udara-asetilen diubah menjadi bentuk atomnya yang menyerap energi radiasi elektromagnetik dari lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*).

3.4.4 Perhitungan

Berdasarkan SNI 6989.84 Tahun 2019 yang disusun oleh Badan Standardisasi Nasional terkait pengujian logam dengan SSA Kadar Logam Timbal (Pb) dapat dihitung dengan rumus berikut:

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

Keterangan:

C = kadar yang didapat dari hasil pengukuran (mg/L)

fp = faktor pengenceran

Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007 Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada Pasal 10 dinyatakan bahwa Sungai Code mulai pertemuan Sungai Boyong dengan Sungai Trasi di Dusun Dayakan, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman kearah hilir sampai Kampung Surokrasan, Wirogunan, Mergangsan, Yogyakarta menurut peruntukannya sebagai sungai kelas dua. Maka dari itu baku mutu yang akan digunakan pada penelitian ini adalah baku mutu air permukaan kelas 2 yaitu dengan Baku Mutu Timbal (Pb) senilai 0,03 mg/L.

3.5 Pemodelan QUAL2K

Proses analisis data dilakukan dengan memasukkan data-data primer maupun sekunder serta parameter Timbal (Pb) ke *software* QUAL2K versi 3. Berdasarkan hasil pencarian pada penelitian terdahulu, pemodelan sungai di Indonesia lebih sering menggunakan program QUAL2Kw dibandingkan QUAL2K, sedangkan untuk studi ini menggunakan program QUAL2K karena berdasarkan *website* resmi QUAL2K, QUAL2Kw sudah tidak akan

dikembangkan lagi, sedangkan QUAL2K masih dalam proses pengembangan. Dengan demikian, jika ada penemuan atau inovasi baru terkait pemodelan kualitas air sungai baik itu terkait parameter polutan terbaru atau jenis skenario pemodelan baru, program QUAL2K masih memiliki potensi untuk diperbarui dan disesuaikan dengan kemajuan ilmu pengetahuan di masa depan.

3.5.1 Input Data

Pada tahap proses input data, data yang diinput ke dalam *software* QUAL2K meliputi data hidrolik dan kualitas sungai, data meteorologis, serta data sumber pencemar berupa *point source* dan *diffuse source*. Berikut merupakan data-data yang diinput ke dalam *Worksheet* Microsoft Excel *software* QUAL2K versi 3:

Tabel 3.6 *Worksheet* Input Data pada program QUAL2K

No	Input data Qual2k	Fungsi
1	Qual2k Worksheet	Untuk memasukkan informasi dan data keterangan umum yang berhubungan dengan pengaplikasian mode. Data yang dimasukkan berupa nama sungai, nama file, tanggal simulasi, waktu matahari terbit dan waktu matahari terbenam.
2	Headwater Worksheet	Untuk memasukkan data debit dan kualitas air pada hulu sungai.
3	Reach Worksheet	Untuk memasukkan data pembagian segmen, panjang segmen, koordinat segmen, kedalaman, n manning, elevasi dan terjunan.
4	Air Temperature Worksheet	Untuk memasukkan temperatur udara pada setiap reach sungai.
5	Wind speed worksheet	Untuk memasukkan data kecepatan angin pada setiap reach sungai.
6	Cloud Cover worksheet	Untuk memasukkan data tutupan awan .
7	Solar worksheet	Untuk memasukkan data radiasi sinar matahari pada setiap reach sungai.
8	Point source worksheet	Untuk memasukkan data point source berupa konsentrasi pencemar dan debit.
9	Diffuse source worksheet	Untuk memasukkan data diffuse source berupa konsentrasi pencemar dan debit.

Sumber: QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 3.02)

3.5.2 Kalibrasi Model

Kalibrasi data kualitas air melibatkan penyesuaian besaran *First-order reaction rate* dan *Settling velocity* pada *worksheet rates*, untuk menyesuaikan hasil pemodelan kualitas air sungai agar menyerupai data lapangan melalui metode *trial and error* dan diikuti dengan *running* program yang dilakukan hingga hasil model menyerupai kondisi data sebenarnya (Fajaruddin, 2017). Karena timbal (Pb) merupakan polutan konservatif yang tidak dapat terurai secara alami, maka proses kalibrasi dalam pemodelan difokuskan pada *settling velocity* atau kecepatan pengendapannya. Hal ini bertujuan untuk memahami bagaimana timbal berpindah dan mengendap dalam badan air, sehingga dapat memperkirakan distribusi spasialnya dalam sedimen. Worksheet yang meliputi untuk proses kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 *Worksheet* Kalibrasi Program QUAL2K

No	Input Data QUAL2K	Fungsi
1	<i>Hydraulic data worksheet</i>	Untuk memasukkan data hidrolik seperti debit, kedalam sungai, kecepatan aliran pada setiap titik sampling sungai.
2	<i>Temperature data worksheet</i>	Untuk memasukkan data temperatur air pada setiap titik sampling sungai.
3	<i>WQ data worksheet</i>	Untuk memasukkan angka kualitas air pada setiap titik sampling sungai.

Sumber: QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 3.02)

3.5.3 Evaluasi / Validasi Model

Tujuan validasi model adalah untuk mengidentifikasi nilai kesalahan atau *error* dalam nilai model serta akurasi antara data model yang dihasilkan dengan data lapangan yang telah dimasukkan sebelumnya ke dalam proses pemodelan. Validasi model ini dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat data model dengan data lapangan. Persamaan RPD (*Relative Percentage Difference*) atau galat relatif dapat digunakan untuk memvalidasi model pada program QUAL2K yang mengandung data berupa parameter air sungai. Rumus berikut digunakan dalam persamaan RPD:

$$RPD = \frac{C_{sim} - C_{obs}}{C_{obs}} \times 100\%$$

Dengan Keterangan sebagai berikut:

Cobs : Konsentrasi Observasi (mg/L)

Csim : Konsentrasi Simulasi (mg/L)

Jika nilai RPD yang didapatkan kurang dari 25% maka hasil model dapat diterima, sebaliknya apabila nilai RPD yang didapatkan lebih dari 25% maka hasil model ditolak (Kamal dkk, 2020).

3.6 Analisis Data

Pada proses analisis data, dilakukan beberapa kegiatan untuk menemukan hasil dari semua data yang sudah diperoleh untuk mendapatkan kesimpulan yang diperlukan.

3.6.1 Skenario Model

Setelah model dikalibrasi, divalidasi, dan dilalui sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan, langkah berikutnya adalah simulasi model. Simulasi ini dilakukan menggunakan dua skenario untuk menentukan kondisi sungai dengan status pencemaran di berbagai kondisi. Tabel 3.8. menunjukkan dua skenario simulasi yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.8 Simulasi Model

Skenario	Kualitas Hulu	Kualitas Pencemar	Kualitas Air Sungai
1	Eksisting	Eksisting	Model
2	Eksisting	<i>Trial & Error</i>	Baku Mutu Kelas II

3.6.1.1 Skenario 1

Tujuan simulasi pertama adalah untuk menghitung jumlah beban pencemar eksisting yang masuk ke dalam Sungai Code pada Tahun 2018 dan 2024. Dimulai dengan memodelkan sungai pada kedua tahun tersebut dengan data yang ada seperti kualitas air, data hidrolik, dan juga data sumber pencemar. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan metode trial and error untuk membuat model yang sesuai dengan data yang ada di lapangan.

3.6.1.2 Skenario 2

Skenario kedua dilakukan dengan simulasi pembentukan model kualitas air untuk perhitungan beban pencemaran maksimum pada Tahun 2018 dan 2024 sesuai dengan standar baku mutu Kelas II (PP Nomor 22 Tahun 2021) untuk pencemar logam berat Parameter Timbal (Pb) yaitu dengan konsentrasi 0,03 mg/L. Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007 Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada Pasal 10 dinyatakan bahwa Sungai Code pada segmen tersebut menurut peruntukannya sebagai sungai kelas dua. Maka dari itu baku mutu yang akan

digunakan pada penelitian ini adalah baku mutu air permukaan kelas 2 yaitu dengan Baku Mutu Timbal (Pb) senilai 0,03 mg/L. Dalam skenario ini, data *point source* diperoleh melalui proses *trial and error*, sehingga hasilnya sesuai dengan standar baku mutu Kelas II. Tujuan dari skenario ini adalah untuk mengetahui berapa besar beban pencemaran Timbal (Pb) atau kadar maksimal logam berat Parameter Timbal (Pb) yang dapat masuk ke Sungai Code pada Tahun 2018 dan 2024 tanpa mencemari sungai sehingga sungai dapat digunakan sepadan dengan kegunaannya.

3.6.2 Perhitungan Beban Pencemar

Untuk menentukan besaran beban pencemar digunakan rumus atau persamaan sebagai berikut:

$$BP = C \times Q$$

Dengan Keterangan:

C : Konsentrasi Pencemar (mg/L)

BP : Beban Pencemar Sungai (kg/hari)

Q : Debit air (m³/s)

3.6.3 Daya Tampung

Daya tampung sungai terhadap beban pencemaran, berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003, adalah kemampuan air di suatu sumber air untuk menerima pencemar tanpa menyebabkan pencemaran. Beban pencemaran merujuk pada jumlah zat pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah. Untuk menghitung daya tampung beban pencemaran menggunakan Metode Neraca Massa, langkah-langkah yang dilakukan adalah: mengukur konsentrasi setiap konstituen dan laju alir sungai sebelum bercampur dengan sumber pencemar, serta mengukur konsentrasi dan laju alir dari setiap sumber pencemar. Nilai daya tampung dihitung dari hasil pemodelan dari Beban Pencemaran Maksimum yang dikurangi dengan hasil verifikasi model. Menurut Irsanda (2014), perhitungan beban pencemar dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya tampung beban pencemar (kg/hari)} = \\ \text{Beban Pencemar Penuh} - \text{Beban Kondisi Awal} \end{aligned}$$

Keterangan:

Beban Kondisi Awal: bersumber dari pencemar alami

Beban Pencemar penuh: batas maksimum beban pencemar yang diperbolehkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Lokasi Sampling

Penelitian ini dilakukan di Sungai Code yang merupakan salah satu sungai yang mengalir melintasi tiga wilayah di Provinsi D.I. Yogyakarta diantaranya, Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta. Salah satu langkah penting dalam penelitian ini adalah menentukan lokasi sampling untuk mendapatkan gambaran kondisi eksisting kualitas air sungai. Meskipun beberapa data yang digunakan berasal dari data sekunder atau penelitian sebelumnya, penelitian ini tetap melakukan sampling langsung di lapangan untuk melihat kondisi eksisting di beberapa titik strategis, yaitu Jembatan Pogung, Jembatan Sendowo, Jembatan Kewek, Bendungan Mergangsan, dan Jembatan Tungkak. Titik-titik ini dipilih berdasarkan pertimbangan aksesibilitas dan relevansi terhadap dinamika kualitas air sungai. Kondisi lokasi sampling dapat dilihat pada Tabel 4.1. sedangkan titik lokasi sampling untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Kondisi Lokasi Sampling Sungai Code

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Lokasi Sampling
Titik 1		Titik sampling pertama berada di Jembatan Pogung, yang memiliki sebuah terjunan pada aliran sungainya. Tata guna lahan di sekitar lokasi ini didominasi oleh pemukiman, menjadikan kawasan ini cukup terpengaruh oleh aktivitas domestik penduduk.
Titik 2		Jembatan Sendowo dipilih sebagai titik kedua karena terletak di kawasan padat pemukiman. Selain itu, lokasi ini berada di hilir saluran pembuangan dari sebuah hotel, yang berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap kualitas air sungai.

Titik 3		Titik ketiga berada di Jembatan Kewek, yang merupakan kawasan sangat padat pemukiman. Untuk mengantisipasi potensi banjir saat musim hujan, di lokasi ini dibangun tanggul yang berfungsi menahan limpasan air.
Titik 4		Bendungan Mergangsan menjadi titik sampling keempat, yang juga berada di area padat pemukiman. Di lokasi ini, ditemukan banyak timbunan sampah mengapung di permukaan air, serta drainase besar dengan arus yang cukup kuat mengalir ke sungai.
Titik 5		Titik terakhir berada di Jembatan Tungkak, yang terletak di bawah jalan raya. Lokasi ini sedang dipengaruhi oleh proyek pembangunan di pinggir sungai, serta terdapat SPBU di dekatnya, yang berpotensi menambah beban lingkungan pada kualitas air.

Tabel 4.2 Titik Lokasi Sampling Air Sungai Code Tahun 2024

Titik	Lokasi	Alamat	Koordinat		Jarak	Elevasi
			Lintang	Bujur	km	M
1	Jembatan Pogung	Jalan Jembatan Baru UGM, Mlati, Sleman	7°45'41.89"S	110°22'14.34"E	7,03	131
2	Jembatan Sendowo	Jalan Sendowo, Sinduadi, Mlati, Sleman	7°46'21.12"S	110°22'9.10"E	5,55	117
3	Jembatan Kewek	Suryatmajan, Danurejan, Kota Yogyakarta	7°47'27.92"S	110°22'6.92"E	3,09	101
4	Bendungan Mergangsan	Jalan Surokasan, Kota Yogyakarta	7°48'25.31"S	110°22'26.81"E	1,03	92
5	Jembatan Dewa Bronto	Jl. Kolonel Sugiono, Kota Yogyakarta	7°48'56.81"S	110°22'28.52"E	0	90

4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Code

Sungai Code memiliki kondisi hidrolik yang dipengaruhi oleh debit, kecepatan aliran, lebar, dan kedalaman sungai. Debit sungai dipengaruhi oleh curah hujan dan aktivitas manusia di sepanjang daerah aliran sungai. Kecepatan aliran ditentukan oleh kemiringan dasar sungai serta kondisi fisik sungai, seperti hambatan akibat sedimentasi atau sampah. Lebar dan kedalaman sungai bervariasi di setiap lokasi, mencerminkan dinamika aliran serta kapasitas sungai dalam mengalirkan air dan menangani beban pencemaran. Kondisi hidrolik ini menjadi faktor penting dalam analisis kualitas air dan distribusi pencemar.

Pengambilan data hidrolik Sungai Code dilakukan dengan beberapa metode sederhana namun akurat. Kecepatan aliran air diukur menggunakan current meter untuk mendapatkan nilai yang representatif. Kedalaman sungai diukur menggunakan bambu yang telah diberi tanda skala kedalaman, sedangkan lebar sungai diukur menggunakan meteran di setiap titik sampling. Data hidrolik ini sangat penting untuk mengkalkulasi beban pencemaran, karena informasi mengenai debit dan dimensi sungai berkontribusi dalam menentukan kapasitas sungai dalam mengencerkan dan mengangkut pencemar.

4.2.1 Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2018

Data debit Sungai Code yang digunakan untuk Tahun 2018 dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Anjani pada tahun 2018. Data tersebut mencakup periode pengambilan sampel dari bulan Januari hingga Mei, di mana setiap bulan dilakukan dua kali sampling. Untuk keperluan penelitian ini, data debit yang digunakan merupakan nilai rata-rata dari keseluruhan hasil sampling selama periode tersebut. Pendekatan ini diambil untuk mendapatkan

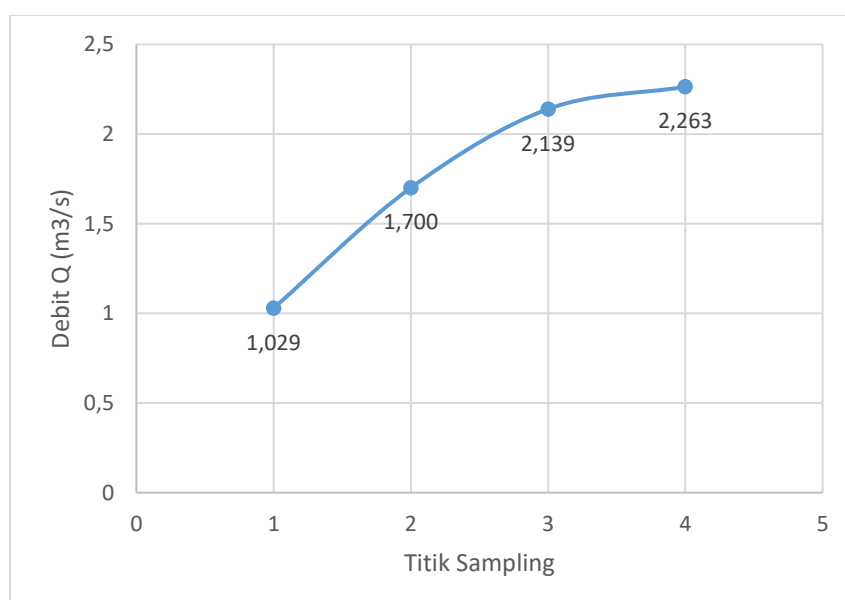
gambaran umum mengenai kondisi debit Sungai Code selama waktu penelitian, yang mana kedua tahun penelitian dilakukan dalam musim penghujan maka dari itu data yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam pemodelan distribusi logam berat menggunakan program QUAL2K. Data debit air Sungai Code pada Tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Debit Air Sungai Code Tahun 2018

No	Titik	JAN II	FEB I	FEB II	MAR I	MAR II	APR I	APR II	MEI I	MEI II	Rata-rata
		m ³ /s									
1	Pogung	1,291	1,732	0,921	0,334	0,702	1,346	1,498	0,589	0,850	1,029
2	Sardjito	2,162	2,668	1,744	0,63	0,722	2,494	1,618	1,716	1,545	1,700
3	Jambu	2,934	3,115	2,207	0,651	2,074	2,592	2,474	2,120	1,085	2,139
4	Tungkak	3,09	3,335	2,332	1,937	2,302	1,482	-	1,670	1,955	2,263

Sumber: Anjani (2018)

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata debit air Sungai Code pada tahun 2018, dapat disimpulkan bahwa debit sungai mengalami kenaikan secara gradual sepanjang aliran sungai dari hulu ke hilir. Debit terkecil tercatat pada titik pertama, yaitu di Jembatan Pogung, dengan nilai 1,029 m³/s. Sementara itu, debit tertinggi tercatat pada titik terakhir, yaitu di Jembatan Tungkak, dengan nilai 2,33 m³/s. Hal ini menunjukkan adanya kontribusi tambahan aliran air sepanjang perjalanan sungai, baik dari limpasan permukaan, anak sungai, maupun sumber-sumber air lainnya. Grafik perubahan debit Sungai Code dapat dilihat pada Gambar 4.1.

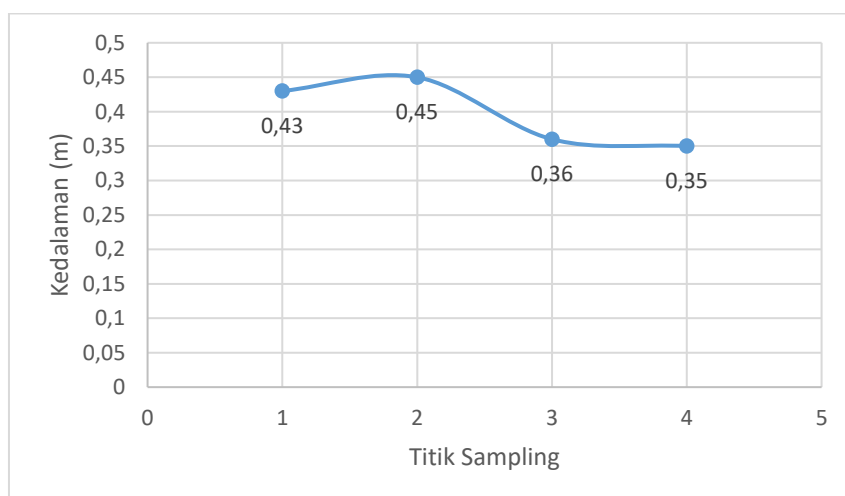


Gambar 4.1 Grafik Debit Sungai Code Tahun 2018

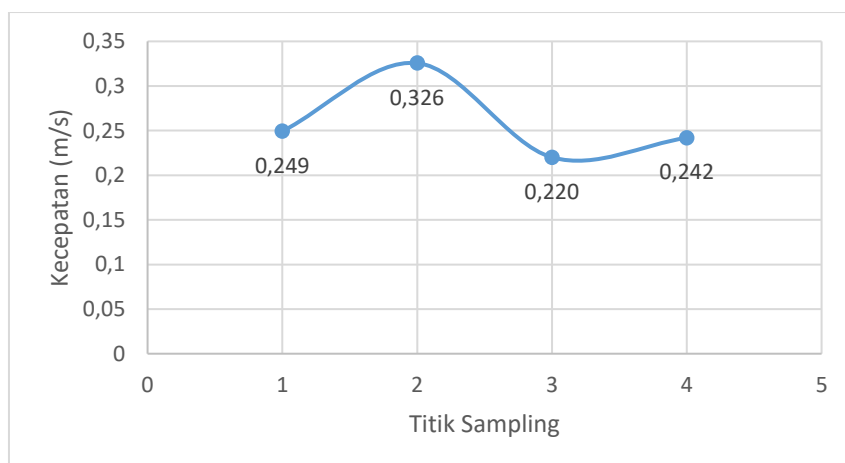
Dikarenakan tidak tersedianya data hidrolis sungai pada tahun 2018, maka dilakukan asumsi bahwa luas penampang sungai, yang meliputi kedalaman dan lebar sungai, dianggap sama dengan data yang diperoleh pada tahun 2024 karena pengambilan sampel dilakukan pada musim yang sama, sehingga kondisi hidrologi diperkirakan serupa. Untuk menghitung kecepatan aliran sungai pada tahun 2018, digunakan pendekatan dengan membagi nilai debit sungai tahun 2018 dengan luas penampang yang diasumsikan. Data Hidrolis Tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.4. serta grafik data hidrolis dapat dilihat pada Gambar 4.2. dan 4.3.

Tabel 4.4 Data Hidrolis Sungai Code Tahun 2018

Titik	Kedalaman (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m/s)
1	0,43	9,6	4,1	1,0292	0,2493
2	0,45	11,6	5,2	1,6999	0,3257
3	0,36	27	9,7	2,1391	0,2201
4	0,35	26,73	9,4	2,2629	0,2419



Gambar 4.2 Grafik Kedalaman Sungai Code 2018



Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Aliran Sungai Code 2018

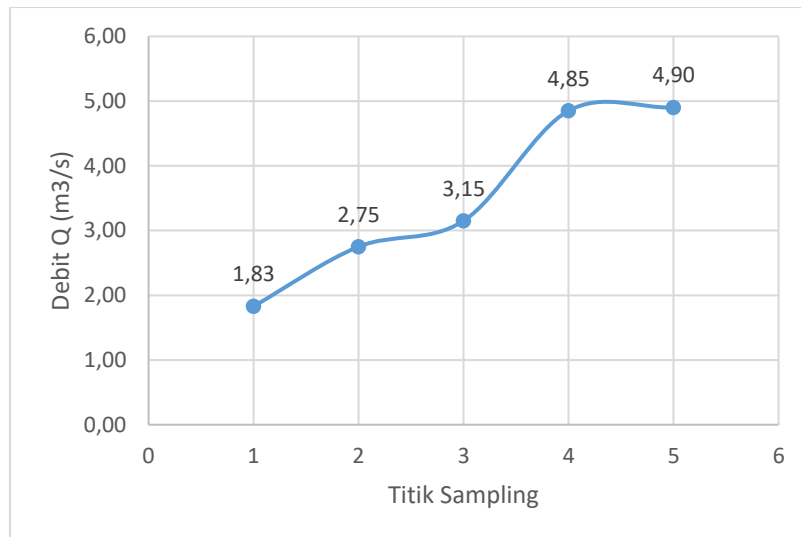
4.2.2 Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2024

Pengukuran data debit air Sungai Code Tahun 2024 dilakukan secara langsung di lapangan dengan metode pengambilan data lebar dan kedalaman sungai menggunakan alat bantu berupa meteran. Untuk mengukur kecepatan aliran air, digunakan alat *current meter* yang memberikan nilai kecepatan aliran pada titik-titik tertentu di sungai pada kasus ini titik yang kami ambil adalah titik paling tengah sungai. Debit air dihitung dengan mengalikan luas penampang aliran sungai, yang diperoleh dari data lebar dan kedalaman sungai, dengan kecepatan aliran yang terukur. Pendekatan ini memungkinkan estimasi debit air secara akurat berdasarkan kondisi aktual di lokasi pengukuran. Data hidrolik Sungai Code dapat dilihat pada Tabel 4.5.

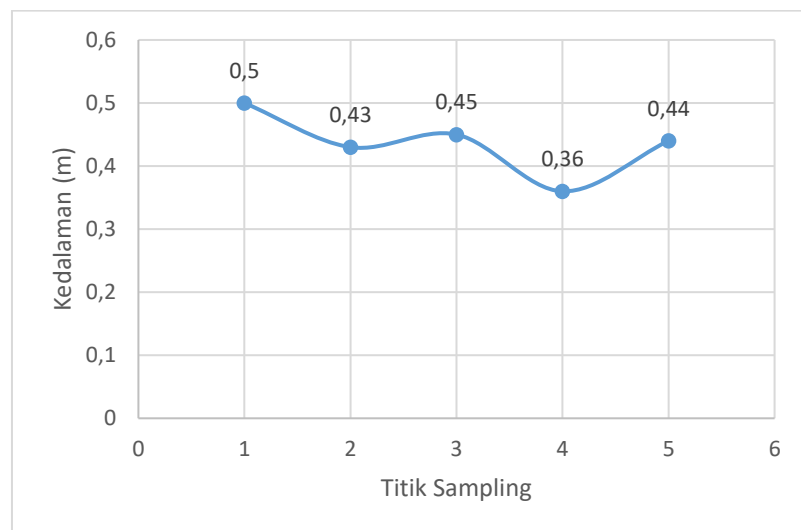
Tabel 4.5 Data Hidrolik Sungai Code Tahun 2024

Titik	Lokasi	Jarak	Elevasi	Kedalaman	Lebar	Kecepatan	DEBIT
		km	M	Cm	M	m/s	m ³ /s
1	Jembatan Pogung	7,03	131	0,5	25	0,146	1,83
2	Jembatan Sendowo	5,55	117	0,43	9,5	0,67	2,75
3	Jembatan Kewek	3,09	101	0,45	11,7	0,6	3,15
4	Bendungan Mergangsan	1,03	92	0,36	26,9	0,5	4,85
5	Jembatan Dewa Bronto	0	90	0,44	26,5	0,42	4,90

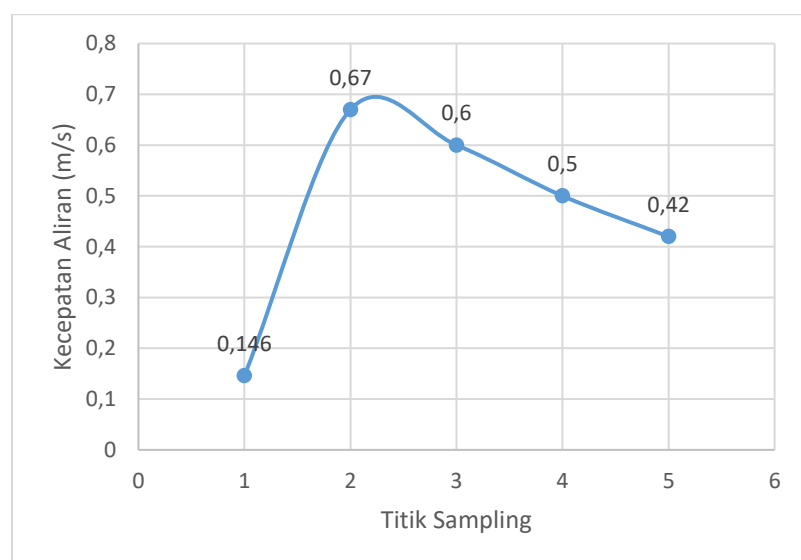
Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata debit air Sungai Code pada tahun 2024, dapat disimpulkan bahwa debit sungai mengalami kenaikan secara gradual sepanjang aliran sungai dari hulu hingga hilir meskipun data tidak menunjukkan perubahan yang konstan. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan aliran pada hulu yang tidak merata pada keseluruhan lebar sungai dan juga disebabkan bentuk morfologi sungai yang berbeda-beda. Debit terkecil tercatat pada titik pertama, yaitu di Jembatan Pogung, dengan nilai 1,83 m³/s. Sementara itu, debit tertinggi tercatat pada titik terakhir, yaitu di Jembatan Tungkak atau Dewa Bronto, dengan nilai 4,9 m³/s. Sama seperti data tahun 2018 hal ini menunjukkan adanya kontribusi tambahan aliran air sepanjang perjalanan sungai, baik dari limpasan permukaan, anak sungai, maupun sumber-sumber air lainnya. Grafik perubahan debit, kedalaman, dan kecepatan aliran Sungai Code dapat dilihat pada Gambar 4.4., 4.5., dan 4.6.



Gambar 4.4 Grafik Debit Sungai Code Tahun 2024



Gambar 4.5 Grafik Kedalaman Sungai Code 2024



Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Aliran Sungai Code 2024

4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai Code

Kondisi kualitas air Sungai Code diperoleh dari hasil pengukuran serta pengujian dari beberapa parameter. Pengambilan sampel pada masing - masing titik sampling diikuti dengan pengukuran langsung terhadap pH dan suhu air, sedangkan pengukuran konsentrasi Timbal (Pb) dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII. Pada penelitian ini, parameter Timbal (Pb) ditinjau untuk mengetahui kondisi kualitas air Sungai Code. Selanjutnya hasil yang diperoleh dari pengujian kualitas air Sungai Code dibandingkan dengan baku mutu air kelas II yang terdapat pada PP Nomor 22 Tahun 2021.

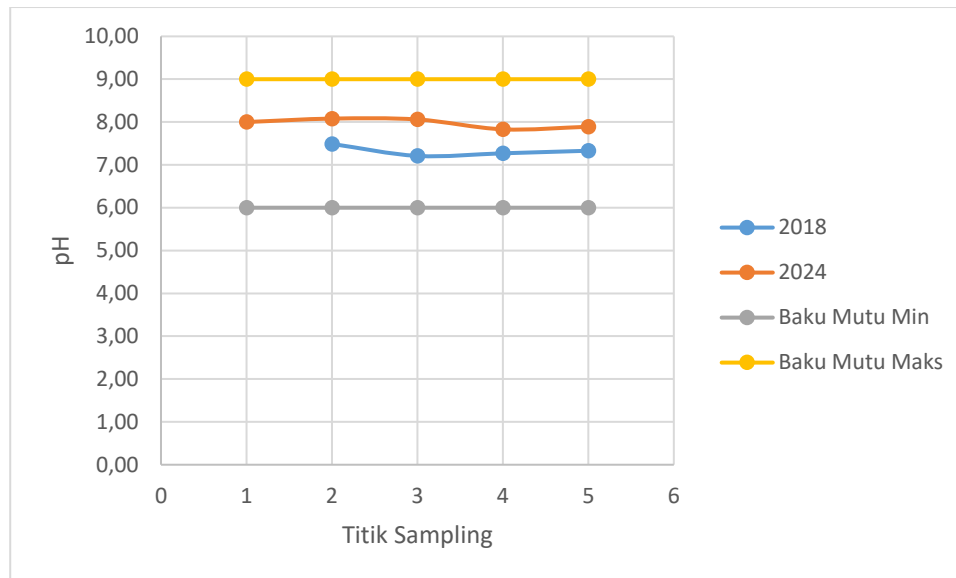
4.3.1 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau yang biasa disebut sebagai pH merupakan salah satu parameter kualitas air Sungai Code yang dapat menunjukkan kadar asam atau basa air sungai. Parameter pH memiliki skala dari 0 – 14. Nilai pH 7 menandakan bahwa kondisi air bersifat netral, sedangkan nilai di bawah 7 menunjukkan kondisi air yang bersifat asam sementara nilai pH di atas 7 menandakan bahwa kondisi air bersifat basa.

Hasil pengukuran pH yang dilakukan pada saat sampling di Sungai Code diukur menggunakan pH meter pada setiap lokasi titik sampling. Data pH Tahun 2018 berdasarkan data sekunder serta Hasil dari pengukuran pH di Sungai Code pada tahun 2024 beserta baku mutu pH berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 ditampilkan dalam Tabel 4.6. di bawah ini

Tabel 4.6 pH Air Sungai Code

No	Titik Sampling	2018	2024	Baku Mutu Min	Baku Mutu Maks
1	Jembatan Pogung 1		8	6	9
2	Jembatan Pogung 2	7,5		6	9
3	Jembatan Sendowo		8,08	6	9
4	Jembatan Sardjito	7,2		6	9
5	Jembatan Kewek		8,06	6	9
6	Jembatan Jambu	7,3		6	9
7	Bendungan Mergangsan		7,83	6	9
8	Jembatan Tungkak	7,3	7,89	6	9



Gambar 4.7 pH Air Sungai Code

Tabel 4.6 dan Gambar 4.7. memperlihatkan bahwa nilai pH di Sungai Code memiliki rentang nilai 7 – 8. PP Nomor 22 Tahun 2021 menyatakan bahwa kriteria baku mutu air kelas II untuk pH minimal dan maksimal sebesar 6 dan 9. Hal ini menandakan bahwasannya nilai pH dari hasil pengukuran di Sungai Code masih memenuhi kriteria baku mutu pH air kelas II.

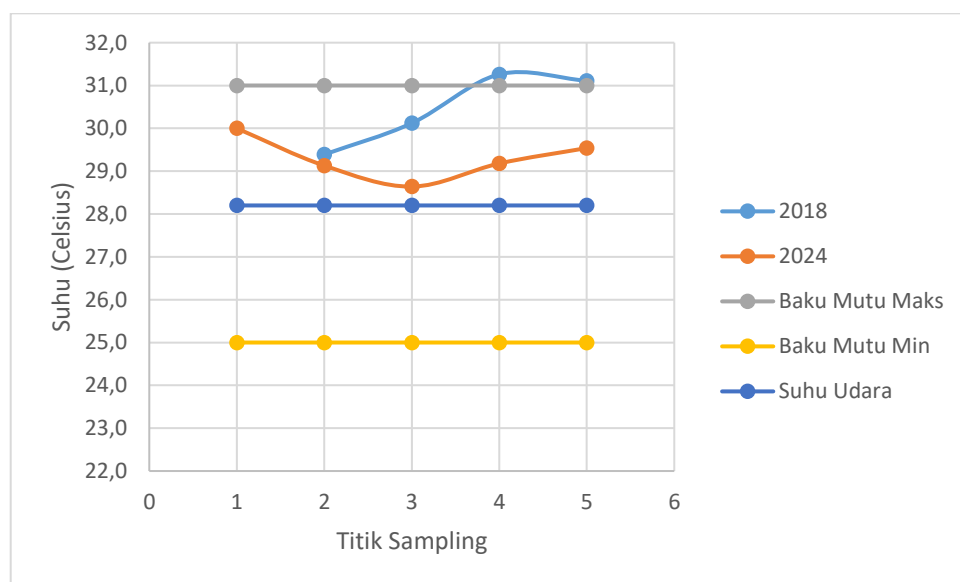
4.3.2 Temperatur Air

Salah satu indikator yang dapat menilai kondisi kualitas air Sungai Code adalah suhu air. Temperatur air dapat mempengaruhi pertumbuhan, perkembangbiakan organisme di sungai, serta metabolisme organisme. Temperatur air yang berubah akan berefek langsung pada aktivitas organisme perairan, seperti pertumbuhan, metabolisme, dan bahkan kematian organisme sungai.

Hasil pengukuran nilai temperatur air pada saat pengambilan sampel di Sungai Code diukur dengan alat termometer. Tabel 4.7 menampilkan data temperatur suhu air Sungai Code pada saat pengambilan sampel di setiap titik serta baku mutu temperatur suhu air kelas II menurut PP Nomor 22 Tahun 2021.

Tabel 4.7 Temperatur Air Sungai Code

No	Titik Sampling	2018	2024	Baku Mutu Min	Baku Mutu Maks	Suhu Udara
		°C				
1	Jembatan Pogung 1		30,0	25	31	28,2
2	Jembatan Pogung 2	29,4		25	31	28,2
3	Jembatan Sendowo		29,1	25	31	28,2
4	Jembatan Sardjito	30,1		25	31	28,2
5	Jembatan Kewek		28,6	25	31	28,2
6	Jembatan Jambu	31,3		25	31	28,2
7	Bendungan Mergangsan		29,2	25	31	28,2
8	Jembatan Tungkak	31,1	29,5	25	31	28,2



Gambar 4.8 Temperatur Air Sungai Code

Tabel 4.7 dan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa temperatur air pada lokasi titik sampling di Sungai Code memiliki rentang nilai 28 °C – 31 °C. Jika dibandingkan dengan kriteria baku mutu temperatur air kelas II menurut PP Nomor 22 Tahun 2021, nilai temperatur air yang didapatkan dari seluruh lokasi titik sampling masih sesuai dengan baku mutu temperatur air kelas II yang menyarankan agar temperatur air baiknya memiliki perbedaan sebesar $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari temperatur udara pada saat sampling di masing-masing titik lokasi pengambilan sampel Sungai Code, kecuali titik 4 dan 5 pada tahun 2018 yaitu Jembatan Jambu dan Tungkak yang melebihi baku mutu maksimal meskipun sangat sedikit dengan selisih $0,01^{\circ}\text{C}$ dan $0,03^{\circ}\text{C}$. Hal ini dapat terjadi karena lokasi sungai kurang ada tutupan vegetasi dan pelaksanaan sampling dilakukan pada siang hari yang mana suhu udara sedang berada di puncaknya.

Temperatur air akan meningkat akibat intensitas matahari yang lebih tinggi, dan hal ini terkait dengan faktor lain yang dapat mempengaruhi intensitas matahari, seperti musim, cuaca, lama penyinaran, dan tutupan awan. Suhu air yang meningkat akan menyebabkan banyak hal, termasuk penurunan jumlah oksigen yang terlarut dalam air. Kurangnya oksigen di dalam air akan mengganggu kehidupan biota air, menyebabkan peningkatan kecepatan reaksi kimia, dan menyebabkan kematian ikan serta biota air jika temperatur air telah melebihi batas normal.

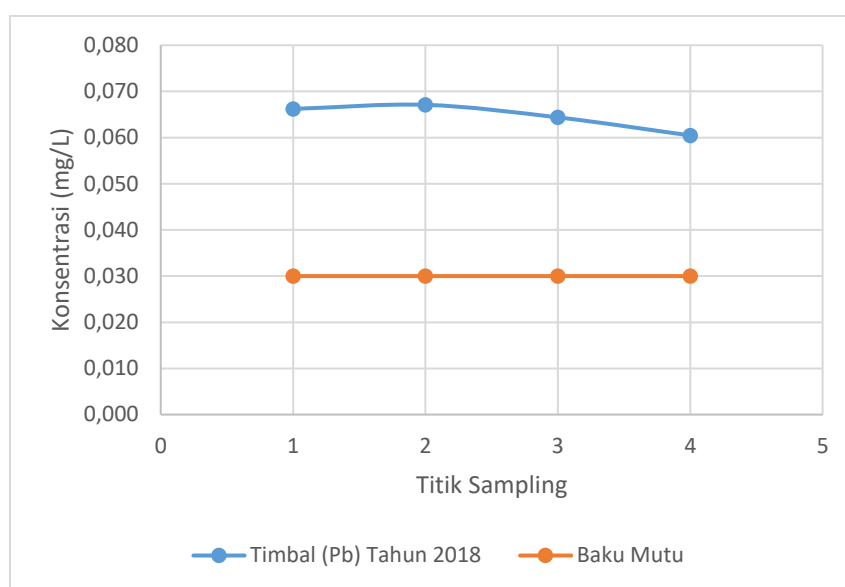
4.3.3 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) termasuk salah satu komponen logam berat yang terdapat pada lingkungan karena memiliki massa atom 207.2 u. Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang terjadi secara alami yang tersedia dalam bentuk biji logam, dan juga dalam percikan gunung berapi, dan bisa juga di peroleh di alam. Sungai Code diketahui menerima mayoritas limbah cair dari pemukiman di sepanjang bantaran sungai, di mana limbah domestik menjadi sumber pencemaran utama. Limbah domestik ini, yang meliputi sisa-sisa aktivitas rumah tangga seperti air bekas mencuci, mandi, serta kegiatan lain, ternyata mengandung logam berat, salah satunya adalah timbal (Pb).

Pengujian parameter logam berat Timbal (Pb) dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Alat yang digunakan untuk menguji konsentrasi Timbal adalah Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) yang akan didapatkan nilai regresi dari absorbansi larutan saat dimasukkan kedalam alat yang dapat dihitung konsentrasinya. Untuk data konsentrasi Timbal (Pb) pada Tahun 2018 didapat dari data sekunder yaitu penelitian terdahulu milik Anjani pada tahun 2018. Pada penelitian tersebut dilakukan pengujian selama 5 bulan berturut-urur dan setiap bulan dilakukan 2 kali pengujian. Lalu data yang digunakan pada penelitian ini adalah rata-rata dari keseluruhan pengujian tersebut. Nilai konsentrasi Timbal pada Air Sungai Code Tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.8. dan Gambar 4.9.

Tabel 4.8 Data Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2018

Titik	JAN II	FEB I	FEB II	MAR I	MAR II	APR I	APR II	MEI I	MEI II	Rata-rata
	mg/L									
Pogung	0,0641	0,072	0,0478	0,1617	0,0416	0,0396	0,0388	0,0554	0,0749	0,066
Sardjito	0,0922	0,0711	0,0536	0,047	0,0896	0,0658	0,0453	0,0526	0,0866	0,067
Jambu	0,1275	0,0843	0,0528	0,0482	0,0633	0,0385	0,0339	0,0582	0,0727	0,064
Tungkak	0,0898	0,0683	0,0467	0,0971	0,037	0,0427	0,0367	0,0536	0,0723	0,060



Gambar 4.9 Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2018

Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Tabel 4.8. dan Gambar 4.5. konsentrasi timbal (Pb) pada tahun 2018 di kelima titik pengambilan sampel Sungai Code telah melebihi baku mutu air untuk Kelas II sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, yaitu sebesar 0,03 mg/L. Konsentrasi timbal terendah tercatat pada titik Jembatan Pogung dengan nilai 0,0662 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi ditemukan pada titik ketiga, yaitu Jembatan Sardjito, dengan nilai 0,0932 mg/L. Kondisi ini menunjukkan adanya pencemaran timbal yang signifikan di Sungai Code, yang berpotensi memberikan dampak negatif terhadap ekosistem perairan dan penggunaan air untuk kegiatan yang membutuhkan kualitas sesuai standar Kelas II. Hasil ini menegaskan perlunya langkah pengelolaan dan pengendalian pencemaran yang lebih efektif untuk menurunkan konsentrasi timbal di sungai tersebut.

Pengujian konsentrasi timbal (Pb) untuk sampel air Sungai Code pada tahun 2024 dilakukan secara langsung di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), yang dikenal memiliki sensitivitas tinggi untuk mendeteksi logam berat seperti timbal dalam sampel air dengan melihat serapannya pada panjang gelombang logam Timbal yaitu 283,3 nm. Proses analisis dilakukan dengan prosedur standar laboratorium untuk memastikan akurasi dan keandalan data yang dihasilkan. Dengan menggunakan SSA, konsentrasi timbal dalam sampel air dapat diukur dengan presisi, sehingga memberikan informasi yang akurat untuk mendukung penelitian ini dan memberikan gambaran kondisi kualitas air Sungai Code pada tahun 2024. Data hasil pengujian Timbal (Pb) pada sampel Tahun 2024 dapat dilihat pada Tabel 4.9. dan Gambar 4.10.

Tabel 4.9 Data Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2024

Titik	Lokasi	Jarak	Elevasi	TIMBAL
		km	m	mg/L
1	Jembatan Pogung	7,03	131	0,072
2	Jembatan Sendowo	5,55	117	0,122
3	Jembatan Kewek	3,09	101	0,091
4	Bendungan Mergangsan	1,03	92	0,142
5	Jembatan Dewa Bronto	0	90	0,154



Gambar 4.10 Grafik Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2024

Hasil analisis menunjukkan bahwa, sama seperti data tahun 2018, konsentrasi timbal (Pb) pada tahun 2024 di kelima titik pengambilan sampel Sungai Code kembali melebihi baku mutu air untuk Kelas II sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, yaitu sebesar 0,03 mg/L. Konsentrasi timbal terendah tercatat pada titik pertama, yaitu Jembatan Pogung, dengan nilai 0,072 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi ditemukan pada titik kelima, yaitu Jembatan Tungkak, dengan nilai 0,154 mg/L. Data ini mengindikasikan bahwa pencemaran timbal di Sungai Code masih merupakan masalah serius yang memerlukan perhatian.

Kenaikan konsentrasi timbal antara tahun 2018 dan 2024 dapat disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang berbanding lurus dengan peningkatan volume limbah domestik yang masuk ke Sungai Code setiap tahunnya. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, terjadi peningkatan aktivitas domestik, termasuk penggunaan produk-produk yang berpotensi mengandung timbal, yang kemudian terbuang ke badan sungai tanpa pengolahan yang memadai. Kondisi ini mempertegas perlunya pengelolaan limbah domestik yang lebih baik serta penerapan kebijakan pengendalian pencemaran yang lebih efektif untuk menekan beban pencemar yang masuk ke sungai.

4.4 Sumber Pencemar Sungai Code

Setiap ruas sungai mempunyai air limbah yang masuk ke badan utama Sungai Code, yang berasal dari berbagai jenis sumber pencemaran seperti limbah domestik, limbah industri, limbah pertanian, dan saluran drainase. Setiap sumber pencemaran mempunyai karakteristik limbah yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini, sumber pencemaran dibagi menjadi dua yaitu *Point Source* dan *Diffuse Source*. Sumber titik (*Point Source*) adalah sumber pencemaran yang berasal dari saluran pembuangan yang berupa titik pembuangan, misalnya saluran pembuangan. Sedangkan *Diffuse Source* adalah sumber pencemaran yang tidak berasal dari satu sumber, yaitu kumpulan berbagai sumber pencemaran yang masuk langsung ke badan sungai. Kehadiran sumber titik dan sumber tersebar dapat mengubah kualitas badan air akibat polutan yang terbawa dalam air limbah. Data sumber pencemaran pada kedua Tahun 2018 dan Tahun 2024 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Sumber Pencemar Sungai Code

Segmen Sungai (km)	Sumber Pencemar		Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2018 (mg/L)		Sumber Pencemar		Konsentrasi Timbal (Pb) Tahun 2024 (mg/L)	
	Point Source	Diffuse Source	Point Source**	Diffuse Source**	Point Source	Diffuse Source	Point Source*	Diffuse Source**
7,03-5,69	-	Limbah Domestik	-	0,1	-	Limbah Domestik	-	0,1
5,69-3,06	Hotel X	Limbah Domestik	0,05	0,1	Hotel X	Limbah Domestik	0,347	0,01
	Drainase Kewek	Limbah Domestik	0,05	0,1	Drainase Kewek	Limbah Domestik	0,339	0,2
3,06-1,12	Drainase Jambu	-	0,30	-	Drainase Jambu		0,181	
1,12-0	Drainase Mergangsan	-	0,10	-	Drainase Mergangsan	-	0,414	-
	Drainase Tungkak	-	0,10	-	Drainase Tungkak	-	0,438	-

(*) Hasil Pengujian Laboratorium

(**) Hasil dari trial and error, pendekatan data, dan berbagai sumber

Berdasarkan data yang tercantum dalam Tabel 4.10, pengambilan sampel dari sumber pencemar hanya dilaksanakan pada point source. Sedangkan untuk sampel dari sumber pencemar yang termasuk dalam kategori diffuse source tidak dilakukan pengambilan, dan oleh karena itu, perhitungan konsentrasi aktual tidak dapat dilakukan. Hasil pengujian sampel dari sumber pencemar point source telah dilakukan di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII, sehingga menghasilkan konsentrasi yang akurat. Sementara itu, dalam kasus sumber pencemar jenis diffuse source, penentuan konsentrasi untuk parameter Timbal dilakukan dengan pendekatan berdasarkan nilai kisaran yang yang didapatkan dari metode kalibrasi pada *Software QUAL2K* dengan pendekatan *Trial and Error*.

Untuk data sumber pencemar pada Tahun 2018, konsentrasi sumber pencemar *Point Source* dan *Diffuse Source* secara keseluruhan didapatkan dari hasil metode kalibrasi pada *Software QUAL2K* dengan pendekatan *Trial and Error*. Hal ini dilakukan dengan mengubah nilai debit dan konsentrasi timbal pada *Worksheet Point Sorce* dan *Diffuse Source* hingga hasil model mendekati data kualitas air sungai yang didapatkan dari data sekunder penelitian terdahulu. Hasil yang didapatkan dengan metode ini adalah konsentrasi Timbal (Pb) dengan jangkauan data dari 0,05 mg/L hingga 0,3 mg/L.

Hal yang sama dilakukan dalam menentukan konsentrasi timbal dan nilai debit pada sumber pencemar Diffuse Source pada Tahun 2024. Tetapi untuk sumber pencemaran Point Source pada tahun ini dilakukan pengujian pada Laboratorium Kualitas Air FTSP UII, dengan hasil konsentrasi pencemaran tertinggi yaitu pada drainase Jembatan Tungkak dengan 0,438

mg/L, sedangkan konsentrasi pencemar paling rendah yaitu limbah dari drainase Jembatan Jambu dengan konsentrasi 0,181 mg/L.

Berdasarkan keseluruhan data Point Source dan Diffuse Source pada kedua tahun yaitu 2018 dan 2024, dapat disimpulkan bahwa seluruhnya sudah tidak memenuhi baku mutu menurut Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 untuk Kualitas Air Sungai Kelas II dengan Baku Mutu Logam Berat Timbal (Pb) senilai 0,03 mg/L.

4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Code dengan QUAL2K

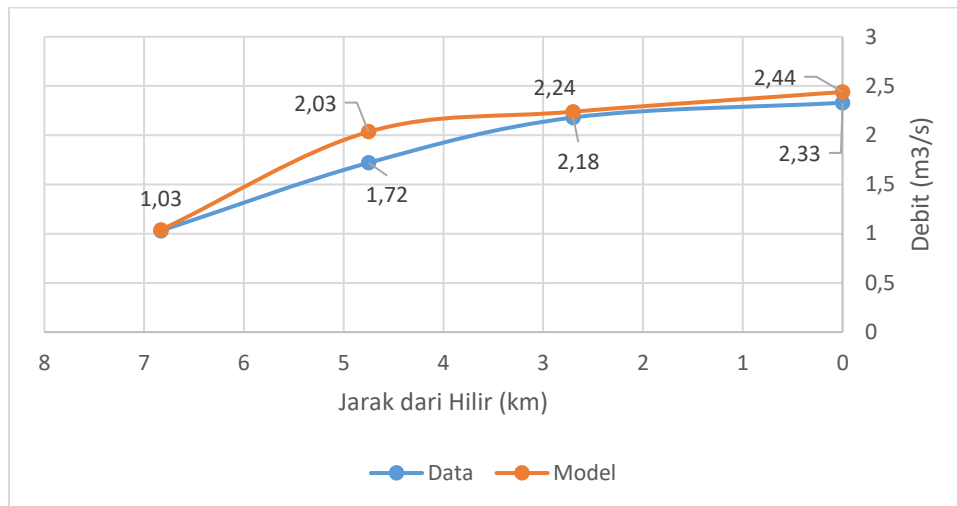
Proses analisis data dilakukan dengan memasukkan data-data primer maupun sekunder serta parameter logam berat Timbal (Pb) ke *software* QUAL2K versi 3. Hal pertama yang dilakukan adalah dengan menginput data-data yang didapat dari hasil pengambilan sampel di Sungai Code, seperti data kualitas air di hulu (*worksheet headwater*), data di setiap segmen (*worksheet reach*), serta data meteorology pendukung seperti *air temperature* dan *wind speed*. Kemudian menginput data pencemar berupa *point source* dan *diffuse source* pada masing-masing *worksheet* (*point source* dan *diffuse source worksheet*). Setelah itu dapat dilanjutkan dengan menginput data hidrolis sungai di *worksheet hydraulics data* dan *temperature data*. Kemudian memasukkan data kualitas air di *worksheet WQ data*, *WQ data min*, dan *WQ data max*.

4.5.1 Hasil Kalibrasi Model

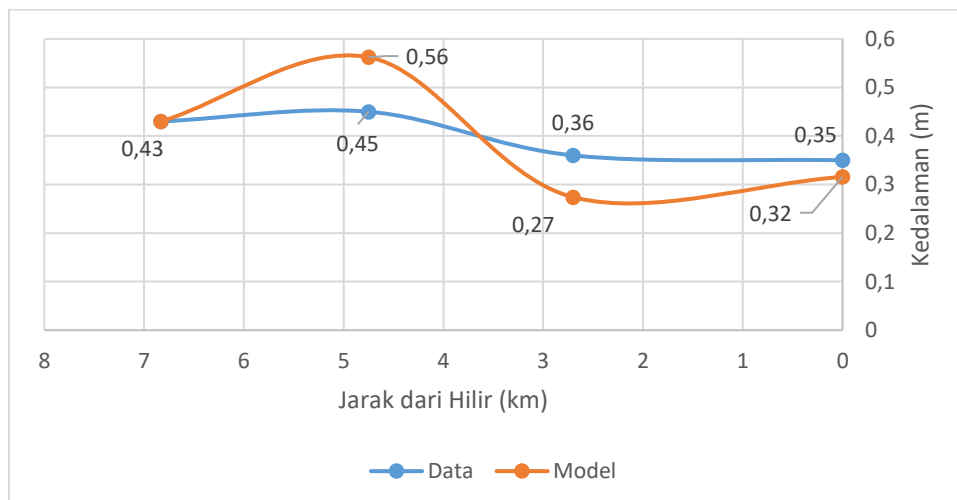
Kalibrasi model diperlukan agar hasil model mendekati data aktual. Kalibrasi model dilakukan dengan cara melakukan trial and error terhadap penyesuaian besaran *Settling velocity* pada *worksheet Rates* dan data hidrolis dan data kualitas air. Trial and error ini dilakukan terhadap data hidrolis, dan data kualitas air.

Pada data Tahun 2018 Kalibrasi model ini terbagi menjadi kalibrasi data hidrolis, dan kalibrasi data kualitas air. Data hidrolis yang dikalibrasi berupa debit, kedalaman, dan kecepatan aliran yang dilakukan dengan cara *trial and error* di *worksheet reach* dan *worksheet point source*. Metode *trial and error* yang dilakukan terhadap nilai debit sumber pencemar ini memiliki tujuan agar hasil model data hidrolis memiliki garis model (garis oranye) yang mendekati data aktual (garis biru). Kalibrasi data kualitas air ini dilakukan dengan cara melakukan *trial and error* terhadap nilai konsentrasi Timbal (Pb) pada sumber pencemar di *worksheet point source*. *Trial and error* ini memiliki tujuan yang sama dengan kalibrasi data hidrolis yaitu agar hasil

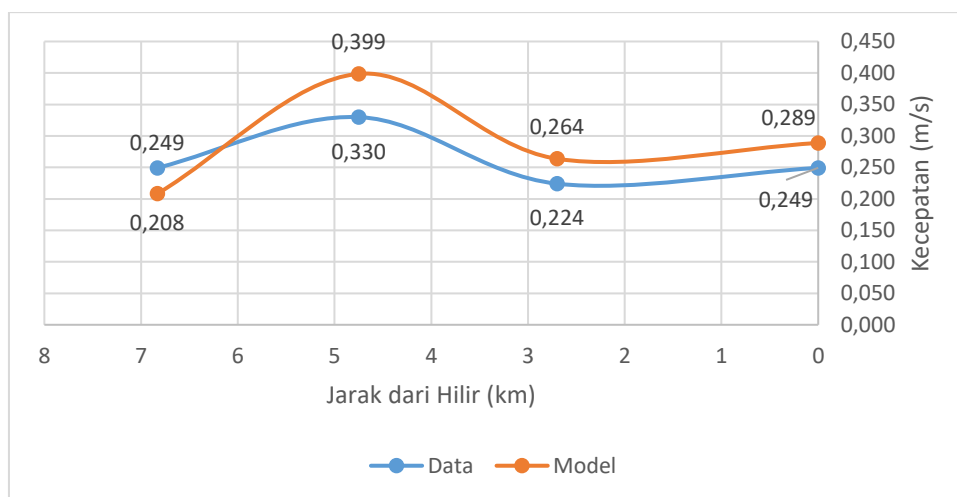
model data hidrolik memiliki garis model yang mendekati data aktual. Hasil kalibrasi data Tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.11., 4.12., 4.13. dan 4.14.



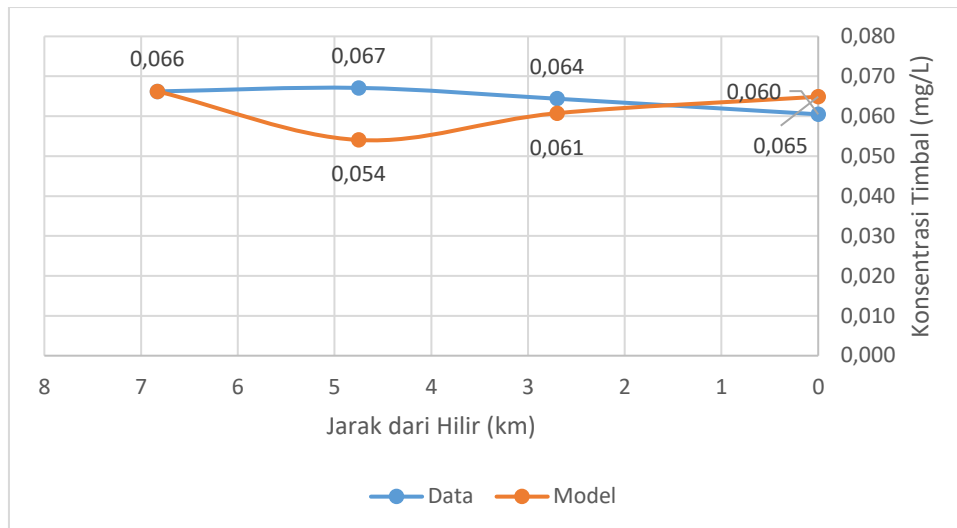
Gambar 4.11 Model Debit Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi



Gambar 4.12 Model Kedalaman Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi



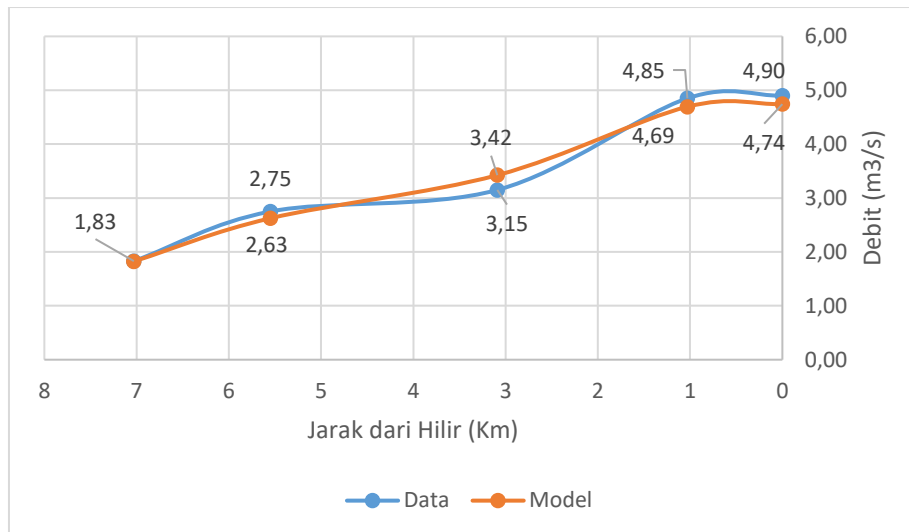
Gambar 4.13 Model Kecepatan Aliran Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi



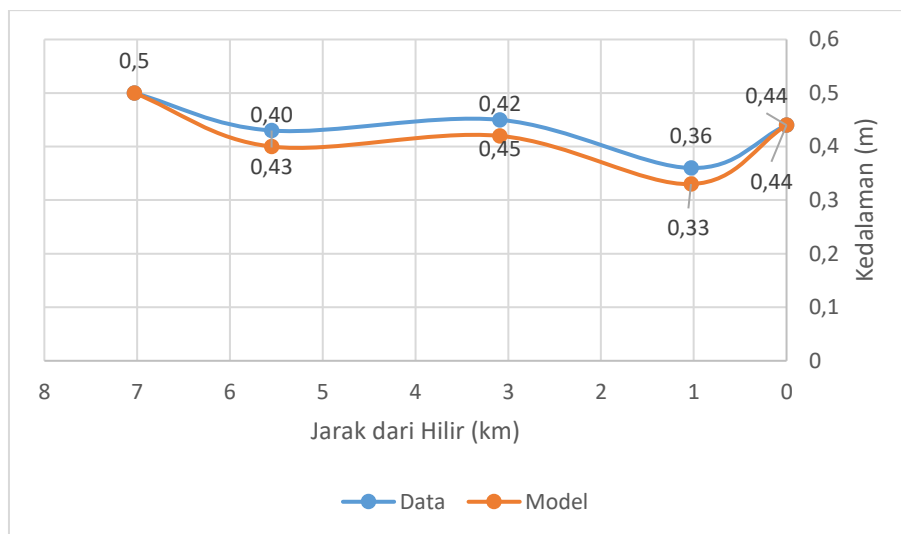
Gambar 4.14 Model Timbal (Pb) Sungai Code Tahun 2018 Setelah Kalibrasi

Pada tahun 2018, setelah dilakukan proses kalibrasi, grafik hasil model terlihat berbeda dibandingkan sebelum kalibrasi. Hal ini disebabkan oleh dimasukkannya data sumber pencemar ke dalam pemodelan, sehingga garis oranye yang mewakili hasil model QUAL2K menunjukkan fluktuasi. Fluktuasi tersebut terjadi karena model telah mempertimbangkan gabungan data antara kualitas air dari hulu dan pengaruh dari sumber pencemar. Setelah kalibrasi, hasil model QUAL2K menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan data aktual, yang ditunjukkan oleh kedekatan antara model (garis oranye) dengan data aktual (garis biru). Hal ini menandakan bahwa model sudah merepresentasikan kondisi sungai dengan lebih akurat.

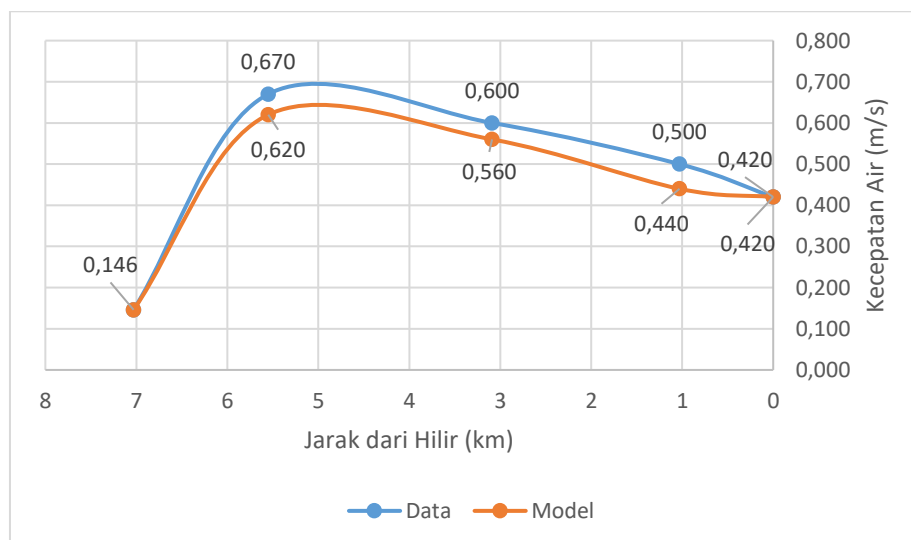
Sama seperti Tahun 2018 proses Kalibrasi untuk data Tahun 2024 tetap harus dilakukan meskipun grafik data hidrolik dan persebaran konsentrasi timbal sudah menunjukkan fluktuasi seperti sebelum dikalibrasi. Hal ini dikarenakan hasil model yang dibuat oleh hasil simulasi masih belum memenuhi standar untuk digunakan sebagai model meskipun sudah mendekati data aktual. Pada proses kalibrasi ini dilakukan dengan trial and error terhadap nilai debit konsentrasi Timbal (Pb) pada sumber pencemar di worksheet diffuse source. Untuk Hasil Kalibrasi Sungai Code di Tahun 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.15., 4.16., 4.17. dan 4.18.



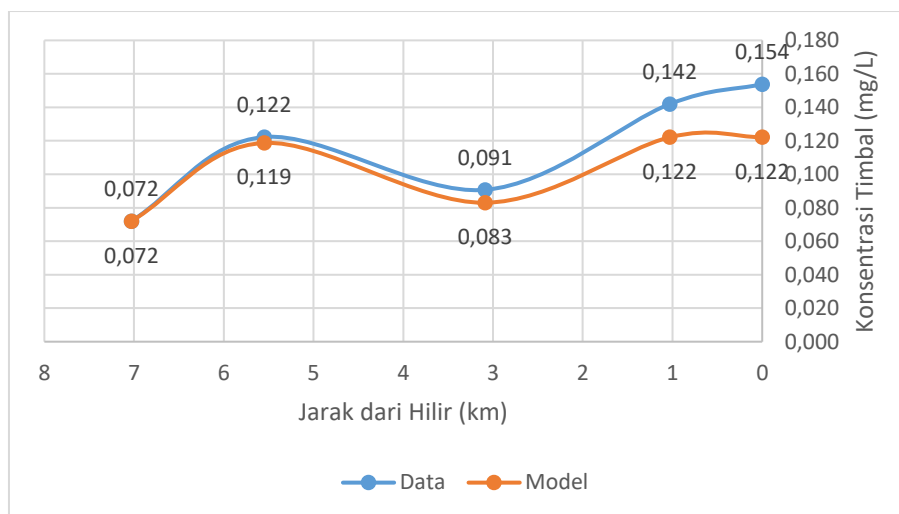
Gambar 4.15 Model Debit Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi



Gambar 4.16 Model Kedalaman Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi



Gambar 4.17 Model Kecepatan Aliran Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi



Gambar 4.18 Model Timbal (Pb) Sungai Code Tahun 2024 Setelah Kalibrasi

4.5.2 Hasil Evaluasi Model

Setelah kalibrasi dilakukan, langkah selanjutnya ada melakukan evaluasi data dengan cara melakukan perhitungan nilai error terhadap model. Validasi model ini dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat data model dengan data lapangan. Persamaan RPD (*Relative Percentage Difference*) atau galat relatif dapat digunakan untuk memvalidasi model pada program QUAL2K yang mengandung data berupa parameter air sungai. Rumus berikut digunakan dalam persamaan RPD:

$$RPD = \frac{C_{sim} - C_{obs}}{C_{obs}} \times 100\%$$

Dengan Keterangan sebagai berikut:

Cobs : Konsentrasi Observasi (mg/L)

Csim : Konsentrasi Simulasi (mg/L)

Jika nilai RPD yang didapatkan kurang dari 25% maka hasil model dapat diterima, sebaliknya apabila nilai RPD yang didapatkan lebih dari 25% maka hasil model ditolak (Ahmad Kamal et al., 2020).

Tabel 4.11 Hasil Validasi Model Debit Sungai Code Tahun 2018

Debit (m ³ /s)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	6,83	1,03	1,04	0,89
2	4,75	1,72	2,03	18,30
3	2,7	2,18	2,24	2,71
4	0	2,33	2,44	4,68

Tabel 4.12 Hasil Validasi Model Kedalaman Sungai Code Tahun 2018

Kedalaman (m)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	6,83	0,43	0,43	0,00
2	4,75	0,45	0,56	24,94
3	2,7	0,36	0,27	23,91
4	0	0,35	0,32	9,73

Tabel 4.13 Hasil Validasi Model Kecepatan Aliran Sungai Code 2018

Kecepatan Aliran (m/s)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	6,83	0,249	0,208	16,44
2	4,75	0,330	0,399	20,83
3	2,7	0,224	0,264	17,66
4	0	0,249	0,289	15,86

Tabel 4.14 Hasil Validasi Model Timbal (Pb) Sungai Code 2018

Timbal (Pb) (mg/L)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	6,83	0,066	0,066	0,00
2	4,75	0,067	0,054	19,45
3	2,7	0,064	0,061	5,64
4	0	0,060	0,065	7,30

Tabel 4.15 Hasil Validasi Model Debit Sungai Code 2024

Debit (m ³ /s)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	7,03	1,83	1,83	0,27
2	5,55	2,75	2,63	4,55
3	3,09	3,15	3,42	8,70
4	1,03	4,85	4,69	3,22
5	0	4,90	4,74	3,20

Tabel 4.16 Hasil Validasi Model Kedalaman Sungai Code 2024

Kedalaman (m)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	7,03	0,5	0,50	0,00
2	5,55	0,43	0,40	6,98
3	3,09	0,45	0,42	6,67
4	1,03	0,36	0,33	8,33
5	0	0,44	0,44	0,00

Tabel 4.17 Hasil Validasi Model Kecepatan Aliran Sungai Code 2024

Kecepatan Aliran (m/s)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	7,03	0,146	0,146	0,00
2	5,55	0,670	0,620	7,46
3	3,09	0,600	0,560	6,67
4	1,03	0,500	0,440	12,00
5	0	0,420	0,420	0,00

Tabel 4.18 Hasil Validasi Model Timbal (Pb) Sungai Code 2024

Timbal (Pb) (mg/L)				
Titik	Km	Data	Model	RPD (%)
1	7,03	0,072	0,072	0,00
2	5,55	0,122	0,119	2,88
3	3,09	0,091	0,083	8,50
4	1,03	0,142	0,122	13,98
5	0	0,154	0,122	20,60

Tabel 4.11. hingga Tabel 4.18 menunjukkan hasil dari validasi model debit, kedalaman air, kecepatan aliran, dan Timbal (Pb) pada kedua Tahun 2018 dan 2024 sangat bervariasi. Nilai RPD tertinggi berada pada data Kedalaman Sungai Tahun 2018 dengan nilai RPD sebesar 24,94%, sedangkan nilai terendah berada pada beberapa data terutama pada titik hulu, dengan nilai sebesar 0%. Hasil ini telah sesuai dengan syarat validasi model metode RPD yang menyatakan hasil validasi < 25% model dapat diterima.

4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar

Hasil simulasi yang telah dilakukan, digunakan untuk menghitung beban cemaran. *Sheet Source Summary* menunjukkan hasil simulasi, termasuk kondisi awal dan kondisi maksimum sungai. Data debit dan kadar pencemar untuk setiap segmen yang ditunjukkan dalam *Sheet Source Summary* akan digunakan untuk menghitung daya tampung.

4.6.1 Hasil Skenario Model

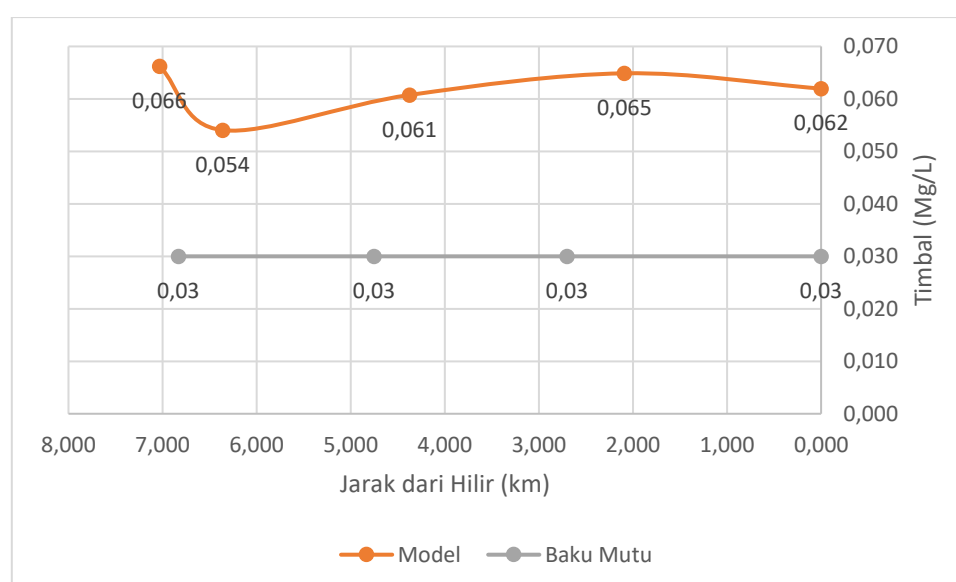
Setelah validasi model dilakukan dan hasil dari nilai validasi baik, maka dilakukan simulasi terhadap model dengan skenario yang direncanakan. Parameter kualitas air yang akan disimulasikan adalah konsentrasi Timbal (Pb) pada kedua tahun penelitian yaitu Tahun 2018 dan 2024. Terdapat 2 (dua) skenario yang akan dilakukan terhadap kualitas air, antara lain :

4.6.1.1 Skenario 1 (Kondisi Eksisting)

Tujuan skenario pertama adalah untuk menghitung jumlah beban pencemar saat ini yang masuk ke dalam Sungai Code. Skenario ini dilakukan dengan menggunakan metode trial and error untuk membuat model yang sesuai dengan data yang ada. Hasil dari simulasi satu parameter Timbal (Pb) pada Tahun 2018 dan 2024 berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20.

Tabel 4.19 Sumber Pencemar 2018 Skenario 1

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m ³ /s)		Konsentrasi Timbal (Pb) (Mg/L)	
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source
7,03-5,69	-	Limbah Domestik	0	0,01	0	0,1
5,69-3,06	Hotel X	Limbah Domestik	0,68	0,01	0,05	0,1
	Drainase Kewek	Limbah Pertanian	0,30	0,01	0,15	0,1
3,06-1,12	Drainase Jambu	-	0,20	0	0,25	0
1,12-0	Drainase Mergangsan	-	0,15	0	0,10	0
	Drainase Tungkak	-	0,05	0	0,10	0

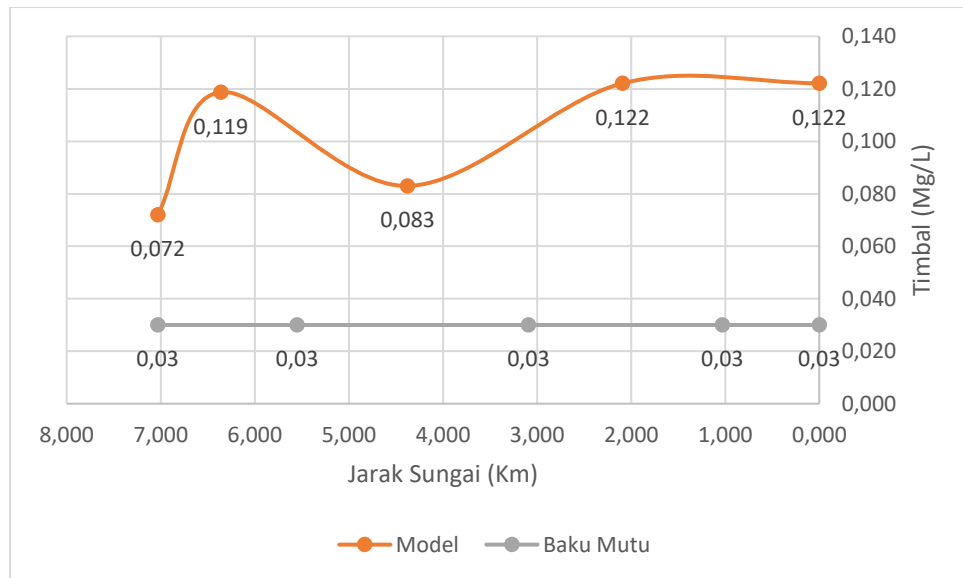


Gambar 4.19 Hasil Skenario1 Timbal (Pb) Tahun 2018

Berdasarkan Tabel 4.19. yang menunjukkan data sumber pencemar pada skenario ini, Gambar 4.19 menunjukkan hasil dari skenario 1 parameter Timbal pada Tahun 2018. Hasil ini menunjukkan bahwa garis model (garis oranye) telah mengikuti dan mendekati (garis biru) trend kondisi eksisting/lapangan dan menandakan bahwa model dapat diterima. Secara keseluruhan konsentrasi timbal terlihat mengalami peningkatan meskipun hanya sedikit. Bermula dengan 0,08 mg/L pada titik pertama dan berakhir dengan 0,09 mg/L. Pada titik kedua terjadi penurunan konsentrasi menjadi 0,07 mg/L, hal ini dikarenakan pada bagian tersebut sungai belum terkontaminasi dengan *point source*. Terdapat peningkatan konsentrasi Timbal pada titik 2 yaitu setelah adanya sumber pencemar dari Hotel X, hingga meningkatkan konsentrasi Timbal (Pb) menjadi 0,09 mg/L hingga hilir. Untuk kualitas air sungai setelah titik 3 berada pada kondisi stagnan karena mungkin dikarenakan pengendapan atau perubahan bentuk timbal setelah bereaksi dengan udara.

Tabel 4.20 Sumber Pencemar 2024 Skenario 1

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m ³ /s)		Konsentrasi Timbal (Pb) (Mg/L)	
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source
7,03-5,69	-	Limbah Domestik	0,000	0,8	0	0,14
5,69-3,06	Hotel X	Limbah Domestik	0,680	0,1	0,35	0,15
	Drainase Kewek	Limbah Pertanian	0,019	1,2	0,34	0,27
3,06-1,12	Drainase Jambu	-	0,070	0	0,18	0
1,12-0	Drainase Mergangsan	-	0,006	0	0,41	0
	Drainase Tungkak	-	0,043	0	0,44	0



Gambar 4.20 Hasil Skenario 1 Timbal (Pb) Tahun 2024

Berdasarkan Tabel 4.20. yang menunjukkan data sumber pencemar pada skenario ini, Gambar 4.20 menunjukkan hasil dari Skenario 1 parameter Timbal pada Tahun 2024. Hasil ini menunjukkan bahwa garis model (garis oranye) telah mengikuti dan mendekati (garis biru) trend kondisi eksisting/lapangan dan menandakan bahwa model dapat diterima meskipun tidak memiliki pola yang sama. Secara keseluruhan konsentrasi timbal terlihat mengalami peningkatan meskipun hanya sedikit. Bermula dengan 0,07 mg/L pada titik pertama dan berakhir dengan 0,132 mg/L. Pada titik kedua terjadi penurunan konsentrasi menjadi 0,072 mg/L, hal ini dikarenakan pada bagian tersebut terdapat pembuangan dari Hotel X.

4.6.1.2 Skenario 2 (Beban Pencemaran Maksimum)

Skenario 2 merupakan simulasi pembentukan model kualitas air yang memenuhi standar baku mutu Kelas II (PP Nomor 22 Tahun 2021), dengan konsentrasi Timbal (Pb) sebesar 0.03 mg/L. Data dari point source dan diffuse Source diperoleh melalui proses trial and error sehingga hasilnya sesuai dengan standar baku mutu Kelas II. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui berapa banyak beban pencemar yang diperbolehkan masuk ke dalam air. Hasil skenario 2 untuk parameter Timbal (Pb) pada Tahun 2018 dan 2024 berturut-turut ditampilkan pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

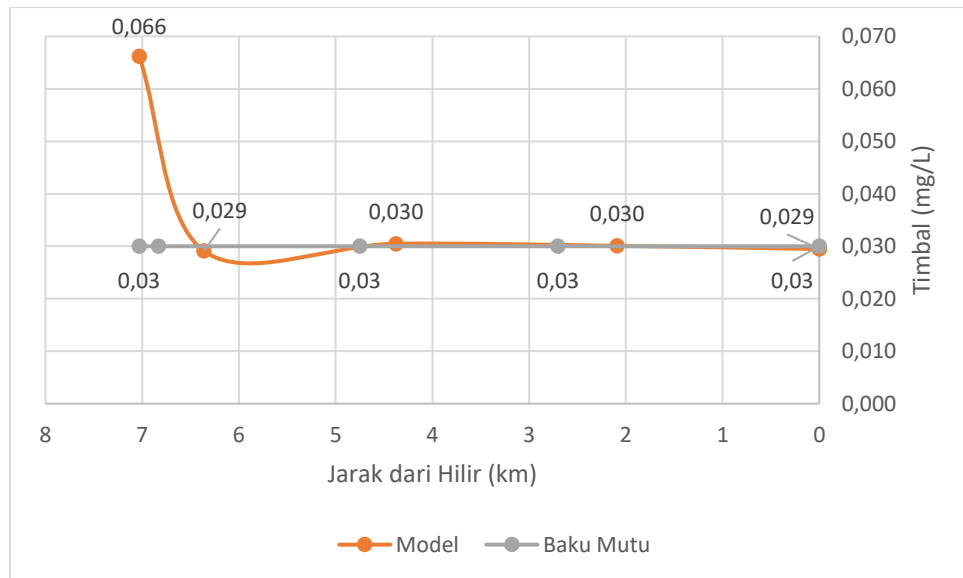
Tabel 4.21 Sumber Pencemar 2018 Skenario 2

Segmen Sungai (km)	Sumber Pencemar		Debit (m ³ /s)		Konsentrasi Timbal (Pb) (mg/L)	
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source
7,03-5,69	-	Limbah Domestik	0	2	0	0,01
5,69-3,06	Hotel X	Limbah Domestik	2,20	0,5	0,008	0,1
	Drainase Kewek	Limbah Domestik	1,60	0,5	0,030	0,1
3,06-1,12	Drainase Jambu	-	1,80	0	0,020	0
1,12-0	Drainase Mergangsan	-	1,50	0	0,025	0
	Drainase Tungkak	-	1,50	0	0,030	0

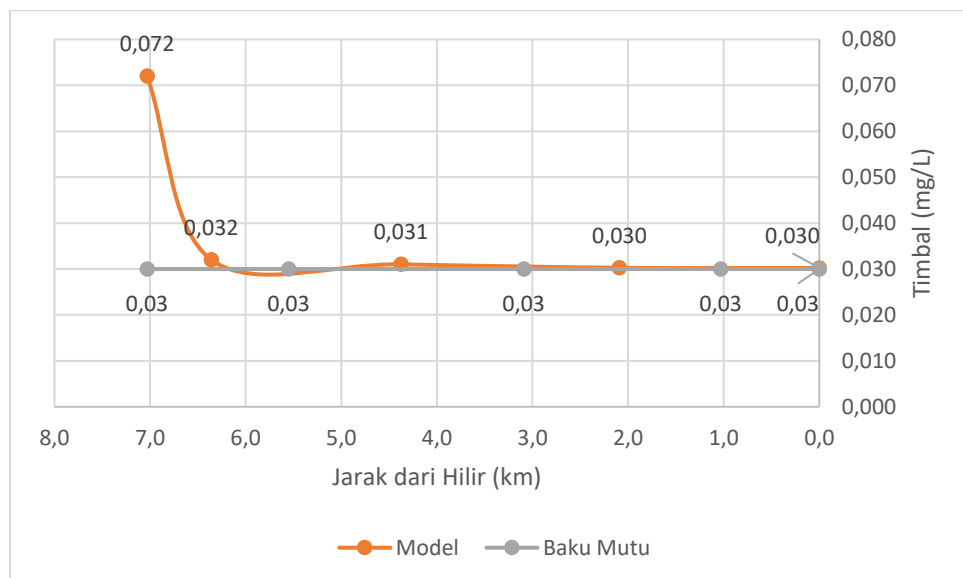
Tabel 4.22 Sumber Pencemar 2024 Skenario 2

Segmen Sungai (km)	Sumber Pencemar		Debit (m ³ /s)		Konsentrasi Timbal (Pb) (mg/L)	
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source
7,03-5,69	-	Limbah Domestik	0,000	2,7	0	0,005
5,69-3,06	Hotel X	Limbah Domestik	2,200	0,05	0,03	0,3
	Drainase Kewek	Limbah Domestik	1,700	0,05	0,02	0,3
3,06-1,12	Drainase Jambu	-	1,700	0	0,03	0
1,12-0	Drainase Mergangsan	-	1,500	0	0,03	0
	Drainase Tungkak	-	1,500	0	0,03	0

Tabel 4.21 dan 4.22 menyajikan data sumber pencemar dari *point source* dan *diffuse source* yang telah dianalisis menggunakan metode *trial and error* pada *software* QUAL2K. Debit dan konsentrasi dari masing-masing sumber pencemar telah diidentifikasi untuk menentukan beban pencemaran maksimum yang dapat ditanggung oleh Sungai Code. Hasil analisis ini divisualisasikan dalam grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.21 dan 4.22, yang menunjukkan pola distribusi pencemaran serta kesesuaiannya dengan kapasitas asimilasi sungai.



Gambar 4.21 Hasil Skenario 2 Timbal (Pb) Tahun 2018



Gambar 4.22 Hasil Skenario 2 Timbal (Pb) Tahun 2024

Gambar 4.21 dan 4.22 tersebut menunjukkan bahwa nilai WQ Output (Garis Oranye) parameter Timbal seluruhnya mendekati dan berada di bawah baku mutu air sungai kelas II menurut PP Nomor 22 Tahun 2021 yaitu 0,03 mg/L. Hasil dari skenario 2 ini nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai daya tampung beban pencemar air Sungai Code.

4.6.2 Beban Pencemar

Perhitungan beban pencemar dapat dilakukan dengan cara melakukan perkalian nilai besaran debit yang masuk ke aliran sungai (inflow) yang memiliki satuan m³/detik dengan konsentrasi pencemar yang masuk ke sungai (mg/L). Data konsentrasi pencemar yang masuk ke sungai ini diambil dari worksheet Source Summary di QUAL2K dari hasil simulasi menggunakan skenario 1 dan 2. Perhitungan beban pencemar ini dilakukan terhadap parameter Timbal (Pb) pada kedua tahun penelitian yaitu Tahun 2018 dan 2024. Persamaan hitungan beban pencemar sungai terlihat pada rumus di bawah ini.

$$BP = Q \times C$$

Keterangan :

BP : Beban Pencemar (Kg/hari)

Q : Inflow (m³/detik)

C : Konsentrasi Pencemar (mg/L)

Hasil perhitungan beban pencemaran Timbal (Pb) pada Sungai Code pada kedua tahun penelitian yaitu 2018 dan 2024 dapat dilihat pada Tabel 4.23, 4.24, 4.25 dan Tabel 4.25.

Tabel 4.23 Beban Pencemaran Tahun 2018 Skenario 1

Segmen	Jarak (Km)		Beban Pencemar Timbal (Kg/Hari)
	Upstream	Downstream	
1	7,03	5,69	0,0864
2	5,69	3,06	6,9984
3	3,06	1,12	4,32
4	1,12	0	1,728

Tabel 4.24 Beban Pencemaran Tahun 2024 Skenario 1

Segmen	Jarak (Km)		Beban Pencemar Timbal (Kg/Hari)
	Upstream	Downstream	
1	7,03	5,69	9,677
2	5,69	3,06	50,236
3	3,06	1,12	1,097
4	1,12	0	1,841

Perbedaan beban pencemaran pada Segmen 2 antara tahun 2018 dan 2024 disebabkan oleh metode perolehan data sumber pencemar point source pada tahun 2018 yang menggunakan pendekatan *trial and error*. Dalam proses ini, debit sumber pencemar (*point source* dan *diffuse source*) disesuaikan dengan tahun 2024 agar mendekati dengan hasil model, sementara yang dikalibrasi adalah konsentrasinya sehingga mendekati model konsentrasi timbal di sungai. Akibatnya, konsentrasi timbal pada sumber pencemaran point source dari Hotel X pada tahun 2018 jauh lebih rendah dibandingkan dengan tahun 2024, yang menyebabkan perbedaan beban pencemaran yang signifikan antara kedua tahun tersebut. Hal ini dapat lebih baik jika dimiliki data sumber pencemaran pada kedua tahun yang didapatkan dari hasil sampling langsung di lapangan.

Tabel 4.25 Beban Pencemaran Tahun 2018 Skenario 2

Segmen	Jarak (km)		Beban Pencemar Timbal (Kg/Hari)
	Upstream	Downstream	
1	7,03	5,69	1,728
2	5,69	3,06	14,30784
3	3,06	1,12	3,1104
4	1,12	0	7,128

Tabel 4.26 Beban Pencemaran Tahun 2024 Skenario 2

Segmen	Jarak (km)		Beban Pencemar Timbal (Kg/Hari)
	Upstream	Downstream	
1	7,03	5,69	1,1664
2	5,69	3,06	11,232
3	3,06	1,12	3,672
4	1,12	0	7,128

4.6.3 Daya Tampung Beban Pencemar

Perhitungan daya tampung beban pencemar sendiri dilakukan dengan menggunakan data hasil simulasi pada skenario yang direncanakan. Rumus perhitungan DTBP dilakukan dengan menggunakan persamaan, beban pencemar maksimum (skenario 2) dikurangi dengan beban pencemar sesuai kondisi eksisting (skenario 1).

$$DTBP = \text{Skenario 2} - \text{Skenario 1}$$

Untuk perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Timbal (Pb) pada Sungai Code pada kedua Tahun Penelitian yaitu Tahun 2018 dan 2024 dapat dilihat pada Tabel 4.27 dan Tabel 4.28.

Tabel 4.27 Hasil Perhitungan DTBP Timbal (Pb) Tahun 2018

Segmen	Jarak (km)		Skenario 1 (Eksisting) (kg/hari)	Skenario 2 (Beban Maksimal) (kg/hari)	DTBP Timbal (kg/hari)
	Upstream	Downstream			
1	7,03	5,69	0,0864	1,728	1,6416
2	5,69	3,06	6,9984	14,30784	7,30944
3	3,06	1,12	4,32	3,1104	-1,2096
4	1,12	0	1,728	7,128	5,4

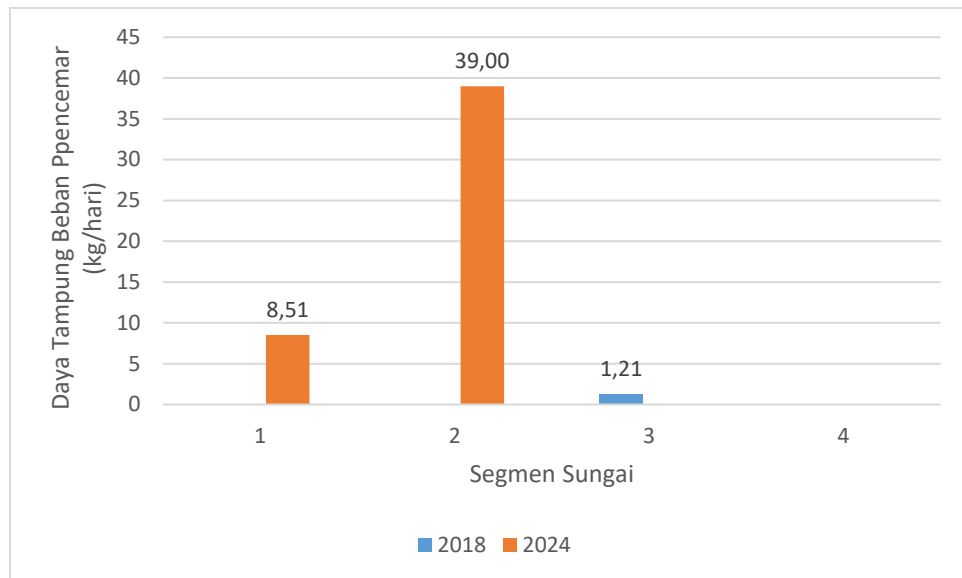
Berdasarkan Tabel 4.27, daya tampung beban pencemar Timbal (Pb) pada Tahun 2018 pada setiap segmen Sungai Code tidak ada yang melampaui daya tampung terhadap pencemaran kecuali segmen 3 yang harus diturunkan beban pencemaran Timbal (Pb) sebesar 1,21 kilogram per hari. Sedangkan daya tampung beban pencemar pada segmen 1, 2, dan 4 masih belum melampaui dengan sisa daya tampung sebesar 1,64 kg/hari untuk segmen 1, 7,31 kg/hari untuk segmen 2, dan 5,4 kg/hari untuk segmen 4 pada Sungai Code di Tahun 2018.

Tabel 4.28 Hasil Perhitungan DTBP Timbal (Pb) Tahun 2024

SEGMENT	Jarak (km)		Skenario 1 (Eksisting) (Kg/hari)	Skenario 2 (Beban Maksimal) (Kg/hari)	DTBP Timbal (Kg/hari)
	Upstream	Downstream			
1	7,03	5,69	9,677	1,1664	-8,510
2	5,69	3,06	50,236	11,232	-39,004
3	3,06	1,12	1,097	3,672	2,575
4	1,12	0	1,841	7,128	5,287

Berbeda dengan Tahun 2018 berdasarkan Tabel 4.28, daya tampung beban pencemar Timbal (Pb) pada segmen 1 dan 2 pada Tahun 2024 telah melampaui nilai daya tampung beban pencemar dan harus dilakukan penurunan nilai beban pencemaran Timbal (Pb) sebesar 8,51 kilogram perhari pada segmen satu dan 39 kilogram per hari pada segmen 2. Sedangkan pada segmen 3 dan 4 sungai belum melampaui daya tampung terhadap pencemaran. Segmen tersebut masih memiliki sisa kapasitas daya tampung beban pencemaran timbal sebesar 2,58 kg/hari untuk segmen 3, dan 5,29

kg/hari untuk segmen 4. Berdasarkan data perhitungan daya tampung beban pencemaran Timbal (Pb) pada Tabel 4.27 dan 4.28 dapat disimpulkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Beban Pencemaran Timbal yang melebihi daya tampung

Perbedaan hasil antar tahun bisa disebabkan oleh beberapa faktor. Perbedaan curah hujan adalah salah satunya, meskipun kedua penelitian dilakukan pada musim hujan, variasi intensitas curah hujan dapat memengaruhi distribusi dan konsentrasi timbal di sungai. Intensitas curah hujan yang bervariasi antara tahun 2018 dan 2024, meskipun berada dalam musim yang sama, dapat berdampak langsung pada debit air sungai. Debit yang lebih tinggi pada tahun 2024, akibat curah hujan yang lebih besar, dapat menyebabkan pengenceran konsentrasi timbal di beberapa segmen, seperti segmen 2 yang tidak lagi melampaui daya tampung. Namun, debit tinggi juga dapat meningkatkan erosi tanah dan transportasi sedimen kaya timbal dari hulu ke hilir, sehingga segmen tertentu, seperti segmen 3, menerima beban pencemaran yang lebih besar.

Selain itu, limpasan permukaan yang lebih besar akibat hujan deras dapat membawa lebih banyak timbal dari aktivitas manusia ke sungai. Perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun musimnya sama, variasi curah hujan, debit sungai, dan pola limpasan permukaan dapat memengaruhi distribusi dan konsentrasi pencemar. Oleh karena itu, analisis data curah hujan, debit sungai, dan pola hidrologi menjadi

penting untuk memahami perbedaan segmen yang melampaui daya tampung beban pencemaran timbal antara kedua waktu penelitian. Pengumpulan data primer yang lebih rinci dan pengukuran debit aktual juga diperlukan untuk meningkatkan akurasi hasil pemodelan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan analisis beban pencemar serta daya tampung beban pencemar Timbal (Pb) di Sungai Code maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai beban pencemaran Timbal (Pb) pada kondisi eksisting menunjukkan peningkatan yang signifikan dari tahun 2018 ke tahun 2024 di beberapa segmen pengamatan. Pada tahun 2018, beban pencemaran timbal pada segmen 1 hingga 4 secara berurutan tercatat sebesar 0,086 kg/hari, 6,99 kg/hari, 4,32 kg/hari, dan 1,728 kg/hari. Namun, pada tahun 2024, nilai beban pencemaran Timbal (Pb) mengalami perubahan pada segmen 1 hingga 4 secara berurutan menjadi 9,68 kg/hari, 50,24 kg/hari, 1,09 kg/hari, dan 1,84 kg/hari. Data ini mengindikasikan adanya variasi tingkat pencemaran pada masing-masing segmen, dengan beberapa lokasi mengalami peningkatan signifikan, sedangkan yang lain justru menunjukkan penurunan beban pencemaran.
2. Daya tampung beban pencemaran timbal (Pb) pada Air Sungai Code mengalami perubahan dari tahun 2018 ke tahun 2024 pada setiap segmen. Pada tahun 2018, nilai daya tampung beban pencemaran di segmen 1 hingga 4 masing-masing adalah 1,64 kg/hari, 7,3 kg/hari, -1,2 kg/hari, dan 5,4 kg/hari. Namun, pada tahun 2024, daya tampung beban pencemaran ini berubah menjadi -8,51 kg/hari, -39 kg/hari, 2,58 kg/hari, dan 5,29 kg/hari. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa segmen 3 pada Tahun 2018 serta segmen 1 dan 2 Tahun 2024 memiliki daya tampung yang bernilai negatif, yang berarti beban pencemaran di segmen tersebut telah melebihi kapasitas lingkungan alaminya. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengurangan beban pencemaran Timbal (Pb) sebesar 1,2 kg/hari pada segmen 3 pada Tahun 2018, 8,51 kg/hari pada segmen 1 Tahun 2024, dan 39 kg/hari di segmen 2 pada Tahun 2024 untuk mencapai kondisi daya tampung yang ideal.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan analisis beban pencemar serta daya tampung beban pencemar Timbal (Pb) di Sungai Code ada beberapa saran yang perlu dipertimbangan untuk penelitian selanjutnya terutama di bidang daya tampung beban pencemar logam berat yaitu sebagai berikut:

1. Diperlukannya pemantauan kualitas Air Sungai Code terutama untuk diteliti beban pencemar dan daya tampungnya secara berkala baik setiap bulan, setiap 3 bulan, 6 bulan, atau penelitian tahunan.
2. Pada penelitian penelitian berikutnya diharapkan dapat mengikuti prosedur pelaksanaan sampling atau pengujian laboratorium berdasarkan acuan yang berlaku, salah satunya adalah Dokumen SNI.
3. Pada penelitian berikutnya yang menguji parameter konservatif seperti logam berat, pada proses kalibrasi dapat menitikberatkan pada parameter *Settling Velocity* dan tidak terlalu fokus dengan parameter *First order reaction rate* karena parameter konservatif tidak dapat terurai dan proses ini akan kurang efektif.
4. Diperlukan adanya *website* / laman yang menyediakan data kualitas Air Sungai Code pada setiap titik pantauan yang telah dilakukan pada setiap tahunnya. Data melingkupi data hidrolik, data pencemaran fisika, data pencemaran kimia, dan juga data sumber pencemar baik itu *point source* maupun *diffuse source* pada setiap titik atau segmen nya.

DAFTAR PUSTAKA

- Assi, M. A., Hezmee, M. N. M., Haron, A. W., Sabri, M. Y., & Rajion, M. A. (2016). The detrimental effects of lead on human and animal health. *Veterinary World*, 9(6), 660-671.
- Anjani, M. D. (2018). Analisis water quality index kandungan logam berat di sepanjang Sungai Code, Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Asdak, C. (2023). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press Anggota IKAPI dan APPTI.
- Azyyati Zhafirah. (2024). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Code di Musim Hujan Menggunakan QUAL2Kw. Universitas Islam Indonesia
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Air dan air limbah – Bagian 84 : Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala (SNI 6989-84:2019). Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). Metode pengambilan contoh uji air untuk pengujian fisika dan kimia (SNI 8995:2021). Jakarta.
- Biaggi, M.B. (2022). PENGARUH HUJAN TERHADAP KONSENTRASI LOGAM DALAM SEDIMEN SUNGAI CODE. Universitas Islam Indonesia.
- Bramantyo, Y., & Purnama, I. L. S. (2013). Kualitas airtanah Sub DAS Code Kota Yogyakarta pasca erupsi Merapi tahun 2010. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(1).
- Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2012). QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality (Version 2.12). Tufts University, Medford, MA.
- Clark, J. Chemistry of Aqueous Lead(II) Ions. Truro School in Cornwall. LibreTexts Chemistry.
- Damari, S. F. (2023). Analisis daya tampung beban pencemar amonia dan fosfat di Sungai Gajahwong dengan pemodelan QUAL2KW. Universitas Islam Indonesia.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungan Toksikologi dengan Senyawa Logam. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia)
- Ghaisani, N. S. (2024). Analisis kandungan mikroplastik pada sumber pencemar titik (Point Sources) di air Sungai Code. Universitas Islam Indonesia.
- Hutagalung, H. P. dan Setiapermana, D. 1994. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Oseanologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.

- Irsanda, P. G. R., Karnaningroem, N., & Bambang, D. 2014. Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo dengan Metode QUAL2Kw. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(1), 2337 – 3539.
- Kahirun, et al. (2017). Karakteristik morfometri menentukan kondisi hidrologi DAS Roraya. *Ecogreen*, 3(2).
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air.
- Moriyama, K., Mori, T., Arayashiki, H., Saitot, H., & Chino, M. (2018). The amount of heavy metals derived from domestic wastewater. Japan.
- Muhammad Afif Falah Salsabil. (2024). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Code Menggunakan QUAL2K di Musim Kering. Universitas Islam Indonesia.
- Oktavianus, & Salami, I. (2005). Uptake dan depurasi logam timbal (Pb) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Kimia Lingkungan*, 6(2), 75-81.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VI Baku Mutu Air Nasional.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011. Tentang Sungai.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007 Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Prabowo, A., Ratdomopurbo, A., Sulistyowati, A., & Kurnia, A. (2020). Antara Nglanggeran dan Wediombo. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Widyasari, T. (2009). Beban pencemaran sumber limbah di Sungai Code. Dosen Tetap, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra.
- Widowati, Sustiono, Jusuf. 2008. Efek Toksik Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Yogyakarta: Andi Offset

LAMPIRAN

Lampiran 1. Lampiran 6 Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021



PRESIDEN
REPUBLIK INDONESIA

LAMPIRAN VI
PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 22 TAHUN 2021
TENTANG
PENYELENGGARAAN PERLINDUNGAN DAN
PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

BAKU MUTU AIR NASIONAL

I. BAKU MUTU AIR SUNGAI DAN SEJENISNYA

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

7. Kebutuhan . . .

SK No 097089 A



**PRESIDEN
REPUBLIK INDONESIA**

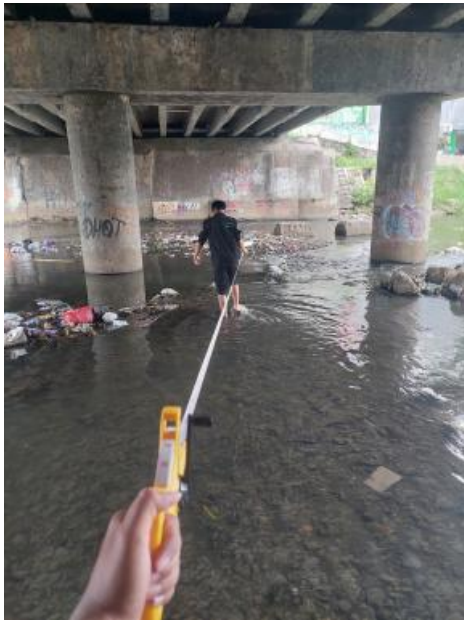
- 3 -

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

II. BAKU . . .

SK No 065357 A

Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan Sampling



Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan Laboratorium



Lampiran 4. Worksheet QUAL2Kw

1. Worksheet Headwater

Number of Headwaters		1													
Headwater 0 (Mainstem)															
Headwater label	Reach No	Flow	Elevation	Bot Width	Side	Side	Weir	Weir				Rating Curves			
		Rate					Height	Width	adam	bdam	Velocity	Exponent	Coefficient	Depth	
		(m ³ /s)	(m)	m	Slope	Slope	Type	(m)	(m)			Coefficient	Exponent	Coefficient	Exponent
Mainstem headwater	1	1,825	131,000	25,00	0,00	0,00		0,0000	0,0000	1,2500	0,9000	0,1460	0,000	0,5000	0,000
Water Quality Constituents	Units	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM
Temperature	C	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Conductivity	umhos	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00	368,00

2. Worksheet Reach

Reach for diel plot		4									
Element for diel plot		1	Reach	Headwater	Reach				Location		Element
Reach	Downstream		Number	Reach	length	Downstream		Slope	Upstream	Downstream	Number
Label	end of reach label				(km)	Latitude	Longitude	(m/m)	(km)	(km)	>=1
Segmen 1	B		1	Yes	1,34	7,77	-110,37	0,0067164	7,030	5,690	1
Segmen 2	C		2		2,63	7,79	-110,38	0,0083650	5,690	3,060	1
Segmen 3	D		3		1,94	7,81	-110,37	0,0046392	3,060	1,120	1
Segmen 4	E		4		1,12	7,82	-110,37	0,0008929	1,120	0,000	1

Elevation		Downstream									
Upstream	Downstream	Latitude			Longitude			Bot Width	Side	Side	
(m)	(m)	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds	m	Slope	Slope	
131,000	122,000	7,00	46	14	110,00	22	9	9,75	0,0000	0,0000	
122,000	100,000	7,00	47	26	110,00	22	50	12,70	0,0000	0,0000	
100,000	91,000	7,00	48	22	110,00	22	27	41,90	0,0000	0,0000	
91,000	90,000	7,00	48	57	110,00	22	29	25,10	0,0000	0,0000	

3. Worksheet Diffuse Source

Name	Tributary No.*	Headwater Label	Location		Diffuse Abstraction	Diffuse Inflow
			Up km	Down km	m3/s	m3/s
Domestic Waste	0	Mainstem headwater	7,00	6,90	0,0000	0,5000
Domestic Waste	0	Mainstem headwater	5,00	4,50	0,0000	0,5000
Domestic Waste	0	Mainstem headwater	3,40	2,00	0,0000	0,5000

Const
i
0,05
0,05
0,02

4. Worksheet Point Source

Name	Tributary No.	Headwater Label	Location km	Point	
				Abstraction m3/s	Inflow m3/s
Hotel X	0	Mainstem headwater	5,18	0,0000	0,6800
Drainase Jembatan Kewek	0	Mainstem headwater	3,24	0,0000	0,0190
Drainase Jembatan Jambu	0	Mainstem headwater	2,73	0,0000	0,0700
Drainase Bendungan Mergangsan	0	Mainstem headwater	1,08	0,0000	0,0060
Drainase Jembatan Tungkak	0	Mainstem headwater	0,05	0,0000	0,0430

Const i		
mean mg/L	range/2	time of max
0,35	0,00	12:00 AM
0,34	0,00	1:00 AM
0,18	0,00	2:00 AM
0,41	0,00	3:00 AM
0,44	0,00	4:00 AM

5. *Worksheet Hydraulics Data*

Tributary	Distance	Q data	H data	U data	Travel time data
No.	x(km)	m³/s	m	m/s	d
0	7,030	1,830	0,500	0,146	
0	5,550	2,750	0,430	0,670	
0	3,090	3,150	0,450	0,600	
0	1,030	4,850	0,360	0,500	
0	0,000	4,900	0,440	0,420	

6. *Worksheet WQ Data*

Tributary	Distance	Const i
No.	km	data
0	7,03	0,07
0	5,55	0,12
0	3,09	0,09
0	1,03	0,14
0	0,00	0,15

RIWAYAT HIDUP

Sang penulis yang bernama Rafi, terlahir pada tanggal 24 April 2003 di Kota Denpasar, Provinsi Bali. Rafi merupakan anak kedua dari dua bersaudara, dengan Bapak bernama Ramzi Amir, S.E., dan Ibu bernama Dina Mansur Abdat, S.Si., M.Si. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Muhammadiyah 3 Denpasar (2010-2011) dan Sekolah Dasar Muhammadiyah Condongcatur (2011-2015), lalu Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Depok (2015-2018) dilanjut dengan Sekolah Menengah Atas Negeri 4 Yogyakarta (2018-2021). Kemudian melanjutkan studinya pada jenjang S1 di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia (2021-2025).

Selama menjadi mahasiswa, penulis melibatkan diri pada beberapa kegiatan di lingkungan jurusan atau fakultas. Kegiatan yang diikuti pada tingkat jurusan adalah menjadi asisten praktikum untuk Mata Praktikum Kimia Lingkungan, Kimia Dasar, dan Praktikum Teknik Lingkungan 1. Serta pada lingkup fakultas, penulis juga berpengalaman sebagai anggota hubungan masyarakat pada Kegiatan Penerimaan Mahasiswa Baru Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.