

TUGAS AKHIR
ANALISIS DAYA TAMPUNG BEBAN CEMARAN TSS
DAN FOSFAT DI BAGIAN TENGAH SUNGAI
WINONGO DENGAN METODE QUAL2KW

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



Dhilla'ul Haq

17513038

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2021

TUGAS AKHIR
ANALISIS DAYA TAMPUNG BEBAN CEMARAN TSS DAN FOSFAT DI
BAGIAN TENGAH SUNGAI WINONGO DENGAN METODE QUAL2KW

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



DHILLA'UL HAQ

17513038

Disetujui,

Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Nelly Marlina, S.T., M.T

NIK. 125130401

Tanggal : 31 Agustus 2021

Pembimbing II

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T

NIK. 195130102

Tanggal : 23 Agustus 2021

Mengetahui,

Kepala Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

NIK. 025100406

Tanggal : 31 Agustus 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS DAYA TAMPUNG BEBAN CEMARAN TSS
DAN FOSFAT DI BAGIAN TENGAH SUNGAI
WINONGO DENGAN METODE QUAL2KW**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa

Tanggal : 31 Agustus 2021

Disusun Oleh:

DHILLA'UL HAQ

17513038

Tim Penguji :

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

()

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

()

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M. Eng.

()

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 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 dikemudian 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 yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 31 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



Dhilla'ul Haq

NIM: 17513038

PRAKATA

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Daya Tampung Beban Cemaran TSS dan Fosfat Sungai Winongo dengan Metode Qual2kw** dapat selesai dalam waktu yang tepat. Tugas akhir ini dibuat guna memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Sebagai bentuk rasa syukur dan apresiasi terhadap pihak – pihak yang banyak membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII
3. Ibu Nelly Marlina, S.T., M.T dan Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing pertama dan kedua dengan ikhlas meluangkan waktu, serta tenaga dalam mendukung proses penelitian tugas akhir ini.
4. Seluruh staf Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII yang memberi bantuan kepada penulis.
5. Keluarga penulis, Ayah, Ibu, dan Kakak tersayang selaku orang terdekat yang tiada henti mendoakan dan mendukung penulis.
6. Teman – teman seperjuangan TA Winongo Rama, Wity, Diah, Citra, Khairul, Inez, Dava, Dhaifan, Deczy, dan Qori yang telah membuat momen sampling menjadi seru sehingga penulis bersemangat dalam menyelesaikan sampling tersebut.
7. Terimakasih kepada teman – teman pemodelan Deczy dan Qori yang telah setia mendengarkan keluh kesah penulis, bersedia membagi waktu dan pikirannya untuk belajar bersama dan memberi semangat kepada penulis.

Akhir kata penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan tentunya penulis menerima kritik dan saran dikarenakan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna.

Yogyakarta, 15 April 2021

Penulis,

Dhilla'ul Haq



DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Ruang Lingkup	2
1.5. Asumsi Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pengertian Sungai	4
2.2. Sungai Winongo	5
2.3. Pencemaran Air	5
2.3.1. Sumber Pencemar Air Sungai	6
2.3.2. Jenis Kegiatan yang Menimbulkan Pencemaran	8
2.4. Daya Tampung Beban Pencemar	9
2.5. Baku Mutu Air	10
2.6. Parameter Sumber Pencemar dalam Air Sungai	10
2.6.1. Fosfat	10
2.6.2. Padatan Tersuspensi (TSS)	11
2.7. Pemodelan Lingkungan	12
2.8. Qual2KW	12
2.8.1. Kelebihan Qual2KW	13
2.8.2. Kekurangan Qual2KW	14
2.8.3. Aplikasi Pemodelan Kualitas Air Selain Qual2kw	14
2.9. Penelitian Sebelumnya	15

BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Alur Penelitian	19
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	20
3.3. Jenis dan Variabel Penelitian.....	24
3.3.1. Jenis Penelitian.....	24
3.3.2. Variabel Penelitian.....	24
3.4. Metode Pengumpulan Data.....	24
3.4.1. Data Primer	24
3.4.2. Data Sekunder	25
3.5. Metode Analisa Data.....	25
3.5.1. Input Data.....	25
3.5.2. Kalibrasi Data	26
3.5.3. Validasi Data	26
3.5.4. Simulasi Model.....	26
3.5.5. Perhitungan beban pencemar	28
3.5.6. Daya Tampung.....	28
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Gambaran Umum Lokasi dan Waktu Penelitian	29
4.1.1. Profil Titik Penelitian	30
4.2. Karakteristik Hidrolika Sungai Winongo	39
4.3. Hasil Penelitian.....	39
4.3.1. Debit	39
4.3.2. Kualitas Air Sungai.....	41
4.4. Pemodelan Kualitas Air dengan Software Qual2kw	48
4.4.1. Kalibrasi dan Validasi Model	48
4.4.2. Simulasi Model.....	54
4.5. Analisis Daya Tampung Sungai Terhadap Beban Pencemar	61
4.5.1. Beban Pencemar.....	61
4.5.2. Perhitungan Daya Tampung Beban Cemar.....	62
4.6. Presentase Penurunan Beban Pencemar	63
4.7. Alternatif Pengelolaan	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
1.1. Kesimpulan.....	66

1.2. Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN.....	74



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Faktor Pencemar Pertanian	7
Tabel 2. 2. Faktor Pencemar Domestik	7
Tabel 2. 3. Faktor Pencemar Ternak	8
Tabel 2. 4. Rincian Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3. 1. Titik Sampling Sungai Winongo.....	20
Tabel 3. 2. Data Primer dan Alat yang Digunakan	24
Tabel 3. 3. Simulasi Model	27
Tabel 4. 1. Lokasi Titik Pengambilan Sampel Air Sungai Winongo.....	29
Tabel 4. 2. Karakteristik Hidrolika Sungai Winongo.....	39
Tabel 4. 3. Debit Air Sungai Winongo	39
Tabel 4. 4. Temperature Air Sungai Winongo.....	41
Tabel 4. 5. pH Air Sungai Winongo	43
Tabel 4. 6. Kadar Fosfat Air Sungai Winongo.....	45
Tabel 4. 7. Kadar TSS Air Sungai Winongo.....	47
Tabel 4. 8. Perhitungan Nilai Chi Square pada Debit	52
Tabel 4. 9. Perhitungan Nilai Chi Square pada Kecepatan	52
Tabel 4. 10. Perhitungan Nilai Chi Square pada Kedalaman.....	53
Tabel 4. 11. Perhitungan Model Uji Chi Square Parameter TSS.....	53
Tabel 4. 12. Perhitungan Model Uji Chi Square Parameter Fosfat.....	54
Tabel 4. 13. Sumber Pencemar Tahun 2021 dan 2026 Parameter Fosfat	58
Tabel 4. 14. Sumber Pencemar Tahun 2021 dan 2026 Parameter TSS	58
Tabel 4. 15. Beban Cemar Maksimum (Skenario 4).....	62
Tabel 4. 16. Beban Cemar Kondisi Awal (Skenario 3).....	62
Tabel 4. 17. Daya Tampung Beban Cemar	63
Tabel 4. 18. Penurunan Konsentrasi Beban Pencemar	64
Tabel 4. 19. Presentase Penurunan Beban Pencemar TSS dan Fosfat	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3. 2. Peta Titik Lokasi Sampling	22
Gambar 3. 3. Pembagian Segmen Sungai Winongo	23
Gambar 4. 1. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 1	31
Gambar 4. 2. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 3	32
Gambar 4. 3. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 5	33
Gambar 4. 4. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 6	33
Gambar 4. 5. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 7	34
Gambar 4. 6. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 8	35
Gambar 4. 7. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 9	36
Gambar 4. 8. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 10	37
Gambar 4. 9. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 11	38
Gambar 4. 10. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 12	38
Gambar 4. 11. Grafik Nilai Debit Sungai Winongo.....	40
Gambar 4. 12. Grafik Nilai Temperatur Sungai Winongo.....	42
Gambar 4. 13. Grafik Nilai pH Sungai Winongo.....	44
Gambar 4. 14. Grafik Nilai Fosfat Sungai Winongo	46
Gambar 4. 15. Grafik Nilai TSS Sungai Winongo	47
Gambar 4. 16. Grafik Model Debit Sungai Winongo	49
Gambar 4. 17. Grafik Model Kecepatan Sungai Winongo	50
Gambar 4. 18. Grafik Model Kedalaman Sungai Winongo.....	50
Gambar 4. 19. Grafik Model Fosfat Sungai Winongo.....	51
Gambar 4. 20. Grafik Model TSS Sungai Winongo	51
Gambar 4. 21. Grafik Simulasi 1 Parameter Fosfat	55
Gambar 4. 22. Grafik Simulasi 1 Parameter TSS	55
Gambar 4. 23. Grafik Simulasi 2 Parameter Fosfat	57
Gambar 4. 24. Grafik Simulasi 2 Parameter TSS	57
Gambar 4. 25. Grafik Simulasi 3 Parameter Fosfat	59
Gambar 4. 26. Grafik Simulasi 3 Parameter TSS	59

Gambar 4. 27. Grafik Simulasi 4 Parameter Fosfat 60

Gambar 4. 28. Grafik Simulasi 4 Parameter TSS 61



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peraturan Gubernur DIY No 20 Tahun 2008	74
Lampiran 2. Bar Chart Parameter Fosfat dan TSS hasil Ketiga Sampling	77
Lampiran 3. Perhitungan Data Hidrolika Sungai Winongo	78
Lampiran 4. Perhitungan Nilai Rata –rata Kualitas Air Sungai Winongo	79



ABSTRAK

Sungai Winongo terletak di Provinsi D.I. Yogyakarta yang melintasi wilayah administrasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul yang memiliki keterkaitan dengan aktivitas penduduk, industri, kegiatan pertanian dan berpengaruh terhadap beban pencemar dalam air sungai dengan daerah penelitian sepanjang $\pm 10,57$ km. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap daya tampung beban pencemar untuk parameter TSS dan Fosfat dengan metode Qual2kw. Metode Qual2kw merupakan metode untuk menganalisis data kualitas air dan mempermudah melakukan simulasi adanya perubahan yang terdapat di bagian hulu hingga hilir sungai. Titik penelitian dibagi kedalam sembilan segmen guna mengambil sampel air. Penelitian dilakukan menggunakan 4 simulasi skenario menurut kondisi eksisting, estimasi kualitas air sungai tahun 2026, kondisi awal sesuai baku mutu, dan trial & error dengan beban pencemar maksimum. Nilai daya tampung ditetapkan berdasarkan perhitungan selisih beban pencemar pada skenario 4 dan skenario 3. Hasilnya Sungai Winongo tergolong sungai tercemar dengan persentase beban pencemar yang harus diturunkan diatas 50%. Daya tampung yang bernilai negatif (-) menandakan perlu dilakukan pengelolaan untuk menurunkan beban pencemar.

Kata Kunci : Sungai Winongo, Daya Tampung, TSS, Fosfat, Qual2kw

ABSTRACT

Winongo river is located in Special Region of Yogyakarta. That crosses the administrative areas of Sleman Regency, Yogyakarta City, and Bantul regency. which has relation with population activities, industry, agricultural activities and affects the pollutant load capacity with a study area along ± 10.57 km. The purpose of this study was to analyze the pollutant load capacity for TSS and Phosphate parameters using Qual2kw method. The Qual2kw method is a method for analyzing water quality data and making it easier to simulate changes of the river from upstream to downstream. The study area is divided into 9 segments for water sampling. The research was conducted using 4 scenario simulations based on existing conditions, estimated river water quality in 2026, initial conditions according to quality standards, and trial error with maximum pollutant load. The value of river capacity is determined based on the difference pollutant load in scenario 4 and scenario 3. The result show that the Winongo River is classified as a polluted river with the percentage of pollutant load that must be lowered above 50%. A negative capacity indicates that management is needed to reduce pollutant loads.

Keyword : Winongo River, Water Capacity, TSS, Fosfat, Qual2kw



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai Winongo terletak di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan panjang total sebesar 43,45 km dilengkapi dengan luas daerah aliran sebesar 118 km² mengalir dari Kabupaten Sleman dilanjutkan ke wilayah Kota Yogyakarta, dan berakhir di Kabupaten Bantul. Sungai Winongo memiliki mata air di Lereng Gunung Merapi dan muara di Sungai Opak.

Sungai adalah tempat pengaliran air yang letaknya paling rendah pada permukaan bumi. Keberadaan sungai memiliki keterkaitan identik dengan daerah alirannya. Daerah Aliran Sungai (DAS) sering disebut sebagai area tangkapan air berupa daratan yang berfungsi untuk menyimpan air hujan yang akan dialirkan ke laut. Pemanfaatan lahan yang telah berubah menjadi pertanian, pemukiman, serta industri tentunya memberikan dampak terhadap kualitas hidrologis pada daerah aliran sungai. Oleh karena itu, kuantitas air yang dapat dimanfaatkan oleh manusia menjadi terbatas dikarenakan terjadinya pencemaran.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Yogafanny, 2015) seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk maka terjadi pula peningkatan kebutuhan lahan pemukiman warga. Namun ketersediaan lahan tidak memenuhi, sehingga warga terpaksa tinggal di pinggir Sungai Winongo dengan berbagai aktivitas yang dilakukan seperti kegiatan domestik, pertanian dan industri yang dapat memberi masukan bahan pencemar seperti fosfat dan *total suspended solid*. Tingginya kadar fosfat dan TSS dapat menghalangi penetrasi cahaya oleh sinar matahari untuk masuk kedalam perairan yang menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut yang dapat mempengaruhi kehidupan biota air (Green, 2018). Hal ini sesuai dengan hasil pemantauan yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup tahun 2019 yang menunjukkan bahwa kualitas air di Sungai Winongo telah melebihi baku mutu Pergub DIY No 20 Tahun 2008 dengan kandungan fosfat tertinggi bernilai 0,54 mg/L, dan kadar TSS tertinggi bernilai 72.1 mg/L.

Secara alami sungai memiliki kemampuan dalam memurnikan dirinya dari bahan pencemar, namun apabila limbah dibuang secara kumulatif dari waktu ke waktu tanpa melewati proses pengolahan dikhawatirkan akan melampaui daya tampung sungai. Hal

ini tentu memerlukan adanya pengelolaan untuk mengurangi tingkat pencemaran Sungai Winongo sehingga kualitas air dapat terjaga dengan cara menghitung daya tampung beban pencemar menggunakan pemodelan Qual2KW yang merupakan adaptasi dari model sebelumnya yaitu Qual2K (Pelletier, 2008) mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 tahun 2010. Metode ini berfungsi untuk menentukan sejauh mana besaran limbah yang diperbolehkan masuk ke dalam sungai tanpa menyebabkan terjadinya pencemaran, sehingga diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menambahkan pengetahuan terkait pencemaran air serta dapat dijadikan acuan oleh pemerintah dalam pelaksanaan pengelolaan air permukaan khususnya di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat masalah yang hendak dipecahkan yakni :

1. Berapa banyak bahan pencemar TSS dan Fosfat yang terkandung dalam air Sungai Winongo?
2. Berapa besar daya tampung Sungai Winongo yang diakibatkan oleh bahan pencemar TSS dan Fosfat?
3. Bagaimana solusi alternatif yang dapat diterapkan apabila daya tampung melampaui kapasitasnya?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan antara lain :

1. Menghitung daya tampung Sungai Winongo terhadap beban pencemar fosfat dan TSS menggunakan *software* Qual2KW.
2. Memberikan solusi alternatif yang bisa dilakukan apabila daya tampung sungai melampaui kapasitasnya.

1.4. Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut :

1. Wilayah penelitian dibagi kedalam 9 segmen yang terletak di bagian tengah Sungai Winongo, Yogyakarta.

2. Waktu penelitian terhitung selama 5 bulan dari Bulan Oktober 2020 hingga Februari 2021.
3. Mengidentifikasi beban cemaran fosfat dan TSS pada air Sungai Winongo
4. Perhitungan daya tampung Sungai Winongo dengan menggunakan software Qual2kw.

1.5. Asumsi Penelitian

Analisis dilakukan untuk menentukan besaran daya tampung sungai terhadap beban pencemar yang masuk sebagai upaya serta strategi dalam mengelola kualitas air sungai menggunakan software Qual2KW berdasarkan kondisi eksisting.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat antara lain :

1. Meningkatkan pengetahuan dan pemahaman terhadap analisis kualitas air sungai.
2. Dapat memberikan informasi kepada masyarakat terkait sumber pencemar sungai yang berasal dari kegiatan domestik.
3. Sebagai referensi bagi pemerintah daerah dalam mengatasi pencemaran air sungai khususnya di provinsi D I Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Sungai

Peraturan Pemerintah RI No 38 Tahun 2011 mendefinisikan sungai sebagai wadah pengaliran air dari hulu hingga muara beserta air di dalamnya dan dibatasi oleh garis sempadan di sisi kanan dan kiri nya. Daerah aliran sungai (DAS) terdiri atas sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan oleh manusia sehingga membentuk kesatuan ekosistem (Asdak, 2010). Penyebab kerusakan DAS umumnya ditandai dengan perubahan perilaku hidrologi akibat terjadinya banjir, peningkatan erosi dan sedimentasi sungai, dan penurunan kualitas air. Hal ini dapat dilakukan upaya penanganan dalam pengelolaan DAS melalui rehabilitasi hutan, pencegahan alih fungsi lahan, pengelolaan lingkungan hidup serta menerapkan kebijakan yang tegas (Muwardi, 2010).

Peraturan Pemerintah RI No 37 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan DAS menjelaskan fungsi sungai yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam kesehariannya antara lain untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dikarenakan air sungai tersedia dalam 24 jam per hari. Selain itu sungai dapat dijadikan sebagai pembangkit tenaga listrik. Fungsi sungai lainnya adalah sungai dapat berperan dalam memperbaiki kualitas air dari pencemar, penyalur banjir, dan tempat tinggal untuk berbagai jenis makhluk hidup di bumi.

Secara alami sungai memiliki kemampuan *self purification* yakni mampu untuk memperbaiki dirinya dari pencemaran, namun perlu diperhatikan bahwa *self* purifikasi sungai memiliki keterbatasan dalam menerima zat pencemar dikarenakan jumlah pencemar maksimum dapat menurunkan kinerja pemurnian diri sungai sehingga proses pemulihan tidak lagi berjalan secara efektif. Kemampuan inilah yang membatasi kuantitas bahan pencemar masuk agar tidak melebihi daya tampung sungai (Tian et all, 2011). Kemampuan *self purification* yang dimiliki oleh sungai dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. Debit air sungai
2. Suhu air
3. Turbulensi aliran sungai
4. Debit limbah

5. Jenis pencemar yang masuk
6. Konsentrasi bahan pencemar

2.2. Sungai Winongo

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai Winongo merupakan anak Sungai Opak dengan panjang sebesar 43,45 km mengalir melewati 3 wilayah administratif yakni Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Daerah aliran saluran pada Kabupaten Sleman terdiri dari Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, dan Kecamatan Mlati. Daerah aliran saluran Kota Yogyakarta terdiri dari Kecamatan Tegaltrejo, Kecamatan Gedongtengen, Kecamatan Mantirejon, Kecamatan Wirobrajan dan keraton. Daerah aliran saluran Kabupaten Bantul terdiri dari Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis, dan Kecamatan Kretek.

Kondisi DAS sepanjang Sungai Winongo berhubungan langsung dengan aktivitas masyarakat, industri, pertanian, dan kegiatan lainnya yang dapat menghasilkan limbah berbahaya bagi lingkungan Sungai Winongo. Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Yogafanny (2015) kualitas air Sungai Winongo untuk parameter fisik seperti padatan tersuspensi dan TDS tergolong dibawah baku mutu kelas II Pergub DIY No 20 Tahun 2008. Lain hal dengan kualitas air parameter kimia seperti COD memiliki nilai 32,9 mg/L, BOD memiliki nilai 5,6 mg/L, dan nitrat memiliki nilai 10,64 mg/l yang termasuk kedalam kategori melebihi baku mutu.

2.3. Pencemaran Air

Sungai seringkali mendapatkan masukan effluent yang biasa disebut limbah dari berbagai kegiatan di sekitarnya dikarenakan sungai merupakan perairan terbuka sehingga banyak oknum yang memanfaatkan sungai sebagai tempat pembuangan limbah. Limbah yang masuk ke dalam sungai akan mengakibatkan terjadinya perubahan faktor fisika, kimia, dan biologi di dalam badan air tersebut (Kusuma, 2014).

Faktor utama terjadinya pencemaran air adalah jumlah penduduk yang semakin meningkat diiringi dengan peningkatan kegiatan domestik, industri, peternakan, pertanian, dan lainnya. Hal ini selaras dengan produksi limbah yang harus di tampung oleh lingkungan. Mayoritas kebiasaan penduduk Indonesia adalah membuang sampah

kedalam sungai yang dilakukan dari dulu hingga saat ini, sehingga dampak yang ditimbulkan dari kebiasaan tersebut adalah pencemaran serta terjadinya penurunan kualitas air sungai (Agustiningsih et al, 2012).

2.3.1. Sumber Pencemar Air Sungai

Berikut klasifikasi sumber pencemar menurut Kementerian Lingkungan Hidup :

1. Sumber Pencemar Tertentu (*Point Source*)

Merupakan sumber pencemar yang dapat diketahui lokasinya secara pasti. Kegiatan yang tergolong kedalam point source antara lain industri, IPAL, dan anak sungai. Perhitungan besaran pencemar point source biasanya didapatkan melalui pengukuran lapangan yang tergolong kedalam data primer serta pengukuran yang dilakukan oleh instansi berwenang yang tergolong kedalam data sekunder. Berikut persamaan yang digunakan dalam menghitung beban pencemar industri :

$$I_i = C_i \times V \times OpHrs / 1000.000$$

Dimana :

I_i : Beban pencemar (kg/tahun)

C_i : Konsentrasi pencemar di air limbah (mg/L)

v : Debit air limbah (L/jam)

$OpHrs$: Total jam operasional (jam/tahun)

!000.000 : faktor konversi (mg/kg) (*SEMAC, 2009*)

2. Sumber Pencemar Tak Tentu (*Diffuse Source*)

Diffuse source bisa berasal dari proses akumulasi limbah yang berada di area sungai sehingga tidak dapat diketahui lokasinya secara pasti. Dengan proses akumulasi tersebut tentunya akan menyebabkan penumpukan limbah yang kemudian dapat mencemari lingkungan disekitarnya. Kegiatan yang termasuk kedalam sumber pencemar tak tentu antara lain industri menengah/kecil (UKM), kegiatan domestik, pertanian, dan peternakan. Penentuan besaran pencemar *diffuse source* dapat dilakukan dalam beberapa metode sebagai berikut :

a. Pertanian

Tingkat pencemaran lahan pertanian dapat diperkirakan dengan persamaan

:

$$PBP \text{ pertanian (kg/hari)} = \text{Faktor pencemar} \times \text{Luas lahan} \times \text{Musim Tanam} \times 10\%$$

Sumber : Puslitbang Sumber Daya Air, 2004

Tabel 2. 1. Faktor Pencemar Pertanian

Jenis Tanaman	BOD (kg/ha/musim tanam)	TSS (kg/ha/musim tanam)	Fosfat (kg/ha/musim tanam)
Padi	225	0,04	10
Palawija	125	2,4	5
Perkebunan Lain	32,5	1,6	1,5

Sumber : Iskandar, 2007

b. Domestik

Tingkat pencemaran kegiatan domestik dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$PBP = \text{jumlah penduduk} \times \text{faktor pencemar} \times \text{rasio ek} \times \text{alpha}$$

Keterangan :

PBP = besaran beban pencemar (kg/hari)

Faktor Pencemar = faktor pencemar limbah domestik (tanpa pengelolaan)

Tabel 2. 2. Faktor Pencemar Domestik

BOD (gr/jiwa/hari)	COD (gr/jiwa/hari)	TSS (gr/jiwa/hari)	Fosfat (gr/jiwa/hari)
40	55	38	3,8

Sumber : Balai Lingkungan Keairan Puslitbang SDA, Kementerian PU, 2004

Rasio ek = kota = 1; pinggiran kota = 0,8125; pedalaman = 0,625

Alpha = (jarak sumber ke sungai sebesar 0 – 100 m = Nilai 1)
 (jarak sumber ke sungai sebesar 100 – 500 m = Nilai 0,85)
 (jarak sumber ke sungai >500 m = Nilai 0,3)

c. Peternakan

Tingkat pencemaran kegiatan peternakan dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$PBP = \text{Faktor pencemar (gr/ekor hari)} \times \text{Jumlah Ternak}$$

Tabel 2. 3. Faktor Pencemar Ternak

Jenis Ternak	BOD (gr/ekor.hari)	COD (gr/ekor.hari)
Sapi	292	717
Domba	55,7	136
Ayam	2,36	5,59
Bebek	0,88	2,22
Kambing	34,1	92,9

Sumber : Balai Lingkungan Keairan Puslitbang SDA, Kementerian PU, 2004

2.3.2. Jenis Kegiatan yang Menimbulkan Pencemaran

Berikut merupakan jenis kegiatan yang mayoritas menimbulkan pencemaran sungai yaitu :

1. Kegiatan Industri

Industri umumnya mengeluarkan limbah dalam bentuk cair maupun padat. Pembuangan limbah cair ke dalam sungai tentunya akan mempengaruhi kondisi fisik, kimia, dan biologi badan air tersebut. Mayoritas polutan yang di keluarkan oleh industri berupa logam berat seperti timbal, seng, dan tembaga dengan temperatur yang tinggi. Air yang memiliki suhu tinggi akan sulit menyerap oksigen dan akan berakibat terhadap berlangsungnya kehidupan biota air. Air limbah industri memiliki kualitas dan kuantitas yang bervariasi. Hal ini tergantung pada besar kecilnya industri, teknologi pengolahan yang digunakan serta banyaknya air yang digunakan pada saar proses produksi (Effendi, 2003).

2. Kegiatan Domestik

Menurut PermenLHK No 68 Tahun 2016 menyatakan bahwa limbah domestik berasal dari jumlah air yang digunakan dalam aktivitas keseharian baik oleh manusia maupun makhluk hidup lainnya. Air limbah domestik skala rumah tangga dapat di golongkan menjadi 2 jenis yakni *grey water* yang terdiri dari limbah air mandi, limbah dapur dan air cucian serta *black water* yang terdiri dari tinja dan urin (Said, 2017). Limbah domestik umumnya berupa pencemar organik, logam, dan garam (deterjen) yang bersifat patogen.

3. Kegiatan Pertanian

Pupuk dan pestisida yang sering digunakan oleh para petani dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air. Walaupun pestisida memiliki manfaat untuk mengendalikan hama dan meningkatkan produktivitas pertanian, namun limbah pestisida memiliki resiko terjadinya translokasi berawal dari proses masuknya pestisida yang berpotensi menyebabkan terjadinya bioakumulasi pada rantai makanan dalam ekosistem perairan (Atiam, 2010). Selain itu limbah pupuk yang mengandung fosfat dapat menyebabkan terjadinya *eutrofikasi* yang ditandai dengan pertumbuhan alga secara pesat.

2.4. Daya Tampung Beban Pencemar

Kemampuan daya tampung sungai terhadap beban pencemar merupakan nilai yang ditetapkan apabila suatu badan air menerima beban pencemar dari berbagai sumber tanpa menyebabkan terjadinya pencemaran. Hasil yang di dapatkan dari perhitungan daya tampung tersebut nantinya akan digunakan oleh pemerintah dalam membuat keputusan dan kebijakan untuk seluruh provinsi di wilayah Indonesia dimulai dari izin membuka usaha, izin pembuangan limbah, perencanaan tata ruang daerah, serta langkah pengendalian pencemaran air.

Perhitungan beban pencemar menurut (Irsanda, 2014) adalah sebagai berikut :

$$\text{Daya tampung} = \text{Beban Pencemar Penuh} - \text{Beban Kondisi Awal}$$

Dimana :

Beban pencemar penuh : beban pencemar maksimum yang diperbolehkan

Beban Kondisi Awal : hanya ada pencemar alami.

2.5. Baku Mutu Air

Berikut klasifikasi kualitas air yang ditetapkan oleh pemerintah melalui regulasi PP No 82 tahun 2001 yang ditinjau dari tiga parameter yakni fisika, kimia, dan biologi antara lain :

- a. Kelas I, yakni peruntukan air sebagai bahan baku air minum.
- b. Kelas II, yakni peruntukan air yang digunakan sebagai sarana rekreasi, peternakan, perkebunan, dan budidaya ikan tawar.
- c. Kelas III, yakni peruntukan air yang digunakan dalam peternakan, perkebunan, dan budidaya ikan tawar.
- d. Kelas IV, yakni peruntukan air yang digunakan dalam perkebunan dan atau peruntukan lainnya.

Klasifikasi Sungai Winongo masuk kedalam baku mutu kelas II menurut penelitian yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup DIY tahun 2019 sesuai peruntukannya. Adapun sungai yang termasuk kedalam baku mutu kelas II bisa dijadikan sumber baku air minum dengan cara mengoptimalkan *treatment* dalam pengolahan serta peningkatan pengawasan terhadap badan air agar kualitas air sungai tersebut tetap terjaga, sehingga masyarakat mendapatkan pelayanan yang maksimal dalam memenuhi kebutuhan air (Sulistiyorini dkk, 2016).

2.6. Parameter Sumber Pencemar dalam Air Sungai

Parameter yang dijadikan acuan dalam proses monitoring Sungai Winongo pada penelitian ini adalah Fosfat (PO_4) dan Padatan Tersuspensi (TSS).

2.6.1. Fosfat

Fosfor di alam berasal dari proses pelapukan batuan yang mengalami erosi dan melarutkan mineral pembawa fosfor sehingga fosfor dapat dilepaskan ke lingkungan (tanah dan air). Fosfor ditemukan dalam bentuk ortofosfat dan polifosfat yang merupakan senyawa anorganik yang mudah terlarut dalam air. Fosfat merupakan zat unsur hara yang penting bagi pertumbuhan dan metabolisme fitoplankton dikarenakan fitoplankton merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kualitas dan tingkat kesuburan perairan (Patty dan Akbar, 2019). Kandungan fosfat yang tinggi dalam perairan bisa disebabkan

oleh limbah industri, penggunaan deterjen serta air limbah yang dihasilkan dari penggunaan pupuk oleh para petani (Sari, 2014).

Kandungan fosfat pada perairan di wilayah metropolitan umumnya berasal dari kegiatan industri dan domestik. Sedangkan kandungan fosfat pada perairan di pedesaan di dominasi oleh penggunaan pupuk dalam jumlah besar dalam kegiatan pertanian. Proses masuknya sisa pupuk kedalam perairan umumnya melalui saluran drainase yang akan melarutkan tanah dari lahan pertanian sehingga tanah yang mengandung unsur hara tersebut terbawa oleh air (Wetzel, 1988).

Keberadaan fosfat yang berlebihan dalam air akan berdampak pada pertumbuhan alga dalam jumlah yang besar (*eutrofikasi*). Peristiwa suburnya tanaman ini akan meminimalisir masuknya sinar matahari dan menghambat proses fotosintesis tumbuhan air dan fitoplankton (Green, 2018). Menurut Effendi (2003) fotosintesis hanya akan berlangsung selama adanya sinar matahari yang cukup. Fotosintesis merupakan penghasil oksigen terbesar dalam perairan. Apabila proses fotosintesis terhambat maka kebutuhan oksigen akan meningkat dikarenakan terjadinya proses respirasi oleh biota air khususnya fitoplankton. Persediaan jumlah oksigen yang menipis inilah yang dapat menyebabkan kematian pada biota air.

2.6.2. Padatan Tersuspensi (TSS)

Padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*) umumnya terdiri dari fitoplankton, zooplankton, lumpur, pasir halus, dan limbah industri. Padatan tersuspensi memiliki diameter kurang dari 1 μm dan dapat tertahan pada saringan yang memiliki diameter pori sebesar 0.45 μm . Tingginya konsentrasi TSS berbanding lurus dengan nilai kekeruhan dalam air, akibatnya cahaya matahari sulit masuk dan menyebabkan terganggunya proses fotosintesis dalam perairan (Jiyah et al, 2017).

Hujan merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan nilai kekeruhan pada badan air baik di danau maupun sungai. Penyebab kekeruhan pada air danau biasanya berasal dari partikel halus yang membentuk koloid, sedangkan penyebab kekeruhan pada air sungai berasal dari partikel besar pada lapisan permukaan tanah yang terbawa pada saat banjir terjadi (Effendi, 2003)..

2.7. Pemodelan Lingkungan

Pemodelan lingkungan dapat diartikan sebagai representasi nyata dari suatu sistem lingkungan berbentuk gambar maupun persamaan matematik. Persamaan matematik biasa dikembangkan dalam aplikasi guna mempermudah penyelesaian masalah secara analitik bagi penggunanya. Baven (2009) menyatakan bahwa pemodelan memiliki tujuan untuk memprediksi karakteristik sistem lingkungan dengan acuan untuk keperluan praktis. Model lingkungan terdiri dari dua macam yakni model konvensional dan model terintegrasi menurut Lanika et al (2013). Model konvensional memiliki tujuan terkait pendekatan satu disiplin dengan bentuk implementasi aspek mental, verbal, grafik, matematika, logika, dan fisika. Sedangkan model terintegrasi merupakan himpunan dari komponen yang saling independen dan membentuk model sesuai dengan kondisi nyata.

Berikut merupakan jenis model menurut Purwanto dan Pujiwinarko (2021) antara lain :

1. *Pictorial Model* : digunakan untuk menggambarkan interaksi antar komponen pada suatu sistem
2. *Procedural Model* : merupakan gambaran urutan prosedur yang sering digunakan untuk perencanaan suatu proyek seperti prosedur pengelolaan limbah, dan pengoperasian unit.
3. *Reliability Model* : model yang menggunakan teori peluang (probabilitas) dalam mengevaluasi kecakapan suatu sistem.
4. *Mathematical Model* : model yang dikembangkan secara teoritik dan digunakan untuk menggambarkan kinerja sistem secara kuantitatif

2.8. Qual2KW

Pemodelan merupakan salah satu cara dalam sintesis data lapangan yang berguna untuk menganalisis suatu data secara kuantitatif. Pemodelan kualitas air dapat berupa perhitungan daya tampung beban pencemar pada badan air seperti sungai, danau, waduk, dan muara. Contohnya adalah *streams model* yang dapat memodelkan perubahan serta persebaran zat pencemar dari aspek fisik, kimia, serta biologi (Baherem, 2014).

Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan terkait daya tampung Sungai Winongo terhadap beban pencemar dilihat dari parameter Fosfat dan TSS menggunakan *software* Qual2kw. Metode numerik terkomputerisasi Qual2kw dinilai dapat mensimulasikan 15

jenis pencemar antara lain suhu, pH, DO, nitrogen organik, nitrogen amonia, nitrit dan nitrat nitrogen, nitrogen total, fosfor organik, fosfor anorganik, total fosfor, fitoplankton, *bottom algae*, permintaan biokimia karbon, dan permintaan sedimen oksigen. Salah satu kelebihan penggunaan Qual2kw adalah memudahkan dalam mensimulasikan kualitas air sungai apabila telah melampaui daya tampungnya dengan data lapangan, sehingga simulasi ini diharapkan dapat mempermudah pengelolaan air sungai agar beban pencemar yang masuk sesuai baku mutu yang diperbolehkan. Software Qual2kw ini juga mempresentasikan sebuah sungai berdasarkan sumber limbah *point source* dan *non point source* (Pelletier, 2008).

Qual2kw merupakan metode pemodelan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic for Application (VBA) dan produk terbaru dari Qual2K yang dikembangkan oleh Pelletier dan Chapra pada tahun 2003 untuk menganalisis daya tampung sungai terhadap beban pencemar dan dijalankan dengan program Microsoft Excel. Dalam penelitian ini digunakan software Qual2kw versi 5.1 yang dapat diunduh secara gratis di <https://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html>. Terdapat beberapa worksheet dalam Microsoft Excel digunakan untuk memasukkan parameter yang dibutuhkan untuk menghasilkan model yang siap untuk di *running* serta di validasi. Worksheet ini ditandai dengan warna biru muda. (Syafi'I et al, 2011).

2.8.1. Kelebihan Qual2KW

Berikut kelebihan model Qual2kw diantaranya :

1. Model Qual2kw mensimulasikan perubahan sejumlah komponen kualitas air seperti pH, suhu, COD, BOD, Do, *Phytoplankton*, dan berbagai bentuk nutrien seperti fosfor dan nitrogen.
2. Aplikasi Qual2kw dapat mensimulasikan komponen yang tidak bisa dilakukan *software* lain seperti pH, alkalinitas, *suspended solid*, bakteri patogen, dan alga.
3. Qual2kw dapat mensimulasikan pengaruh konsentrasi polutan terhadap kualitas air sungai.
4. Adanya fitur kalibrasi otomatis yang bertujuan untuk memudahkan pemodel dalam kalibrasi dengan metode *trial and error* manual yang memerlukan waktu yang lama.

2.8.2. Kekurangan Qual2KW

Berikut kekurangan model Qual2kw diantaranya :

1. Qual2kw tidak dapat mensimulasikan konsentrasi logam di air.
2. Perhitungan *software* Qual2kw tidak didampingi perhitungan neraca massa otomatis untuk menguji keakuratan beban pencemar pada air permukaan.

2.8.3. Aplikasi Pemodelan Kualitas Air Selain Qual2kw

a. WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)

WASP merupakan salah satu software pemodelan kualitas air permukaan yang dikembangkan oleh US EPA. Model ini digunakan untuk mensimulasikan dan memprediksi setiap perubahan kualitas air yang terjadi dengan cara menambahkan atau mengurangi debit limbah. Pengembangan simulasi dapat dimanfaatkan untuk menghitung daya tampung beban pencemar dengan kriteria mutu air yang telah ditetapkan. Data yang dibutuhkan antara lain data hidrolika, beban polutan, debit sungai, data kualitas air per segmen (Saily dkk, 2019).

b. HAWQS (Hydrologic and Water Quality System)

HAWQS merupakan pengembangan model SWAT berbasis web yang digunakan untuk daerah aliran sungai. HAWQS ini tentunya bisa digunakan dalam pemodelan kualitas air dengan beberapa parameter seperti patogen, COD, BOD, nutrien, dan sedimen dengan data yang dibutuhkan seperti data pupuk, lokasi DAS, data iklim dan sumber pencemar. Adapun tahap pemodelan menggunakan HAWQS ini antara lain dimulai dengan memilih skala DAS dalam bentuk kode (HUC) yang dilanjutkan dengan menginput data dan memasukkan skenario simulasi, kemudian model di running sehingga dapat dilakukan analisis hasil (Yen, 2015).

2.9. Penelitian Sebelumnya

Penggunaan software Qual2KW maupun analisis daya tampung sungai terhadap beban pencemar sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dari Indonesia maupun mancanegara. Berikut rincian penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada tabel 2.4 :

Tabel 2. 4. Rincian Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1.	Hendrasarie, N dan I. D. A Swandika	2020	<i>Resistance of Loading Loads in Surabaya River and its Branch With Qual2KW Model</i>	Menganalisis jumlah pencemar yang masuk kedalam sungai Surabaya sebesar 75,48 ton limbah cair per hari dari industri dan limbah domestik. Hasil dari studi tersebut menjelaskan bahwa konsentrasi COD berada pada kisaran 10,02 - 14,01 mg/L dengan standar kualitas 10 mg/L. Konsentrasi BOD berada pada kisaran 3,02 - 6,17 mg/L dengan standar kualitas 2 mg/L. Dan konsentrasi fosfor berada pada kisaran 1,36 - 2,95 mg/L, dengan standar kualitas 0,6 mg / L.
2.	Mustika, A dan Sofyan, A	2016	<i>Kajian beban pencemaran harian di Sungai Citarum menggunakan pemodelan : Qual2kw studi kasus Sungai Citarum Segmen Kota Karawang</i>	Menganalisis beban BOD Sungai Citarum menggunakan software Qual2kw. Hasil penelitian menjelaskan bahwa Total beban pencemar berdasarkan skenario kondisi eksisting, debit minimum, dan debit maksimum masing – masing sebesar 4416,6 kg/hari; 545,3 kg/hari; 3867,7 kg/hari. Dari hasil

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
				tersebut diketahui bahwa debit yang besar akan menghasilkan beban pencemar yang besar.
3.	Bismark Dwumfour Asare et all	2020	<i>Domestic greywater flows and pollutant loads: A neighbourhood study within a university campus in Ghana</i>	Menghitung beban pencemar domestik di Ghana. Hasil penelitian menjelaskan bahwa nilai kekeruhan sebesar 270 NTU, TSS sebesar 180 - 190 mg/L, BOD ₅ sebesar 320 - 350 mg/L, COD sebesar 690 - 740 mg/L, TP sebesar 3 mg/L, NH ₃ - N sebesar 6 - 12 mg/L, dan Hg & Pb sebesar 0,3 - 0,8 mg/L. Konsentrasi dari semua parameter diketahui melebihi baku mutu sehingga perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air
4.	Norashikin Ahmad Kamal, dkk	2020	<i>Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS</i>	Menganalisis tingkat pencemaran air permukaan Sungai Skudai, Malaysia dengan parameter ammonia menggunakan software Qual2K dan GIS. Analisis air dilakukan melalui 3 skenario yakni air dengan beban pencemar sebesar 10%, 50%, dan 70%. Hasil menunjukkan bahwa Sungai Skudai telah terkontaminasi banyak ammonia sehingga sulit untuk diolah menjadi air bersih.
5.	Allam, A et all	2016	<i>Simulation-based optimization framework for reuse of</i>	Simulasi dalam pengoptimalan air irigasi yang digunakan kembali (reuse) menggunakan teknik genetic algorithms serta software Qual2KW untuk menganalisis kualitas dan kuantitas

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
			<i>agricultural drainage water in irrigation</i>	air di Delta Nil, Mesir dengan data pada musim panas dan musim dingin tahun 2012. Hasil menunjukkan bahwa nilai parameter BOD5, COD, TDS, TN, dan TP dapat meningkat di point source.
6.	Lin, et all	2009	<i>Applying Water Quality Modeling to Regulation Land Development in a Watershed to case Study on the Kao-Ping Watershed, Taiwan</i>	Program pengelolaan DAS di Kao-Ping watershed, Taiwan yang bertujuan agar sumber air menjadi berkelanjutan dari segi kualitas maupun kuantitasnya menggunakan software Qual2E dengan metode Generalized Watershed Loading Function (GWLF) dan diperoleh zona lindung yang optimal untuk memperkirakan jumlah biaya melalui 3 mekanisme yakni : <i>land banking, conservation easement, dan transferable development right</i>
7.	Rosida Chasna	2016	<i>Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Menggunakan Software Qual2kw (studi kasus : Sungai Code, Yogyakarta)</i>	Perhitngan daya tampung di Sungai Code Yogyakarta yang dibagi kedalam 6 segmen dan 4 skenario simulasi. Hasil peelitian menunjukkan bahwa beban pencemar yang ada di Sungai Code telah melebihi daya tampung yakni kandungan amonia pada segmen Ngentak, Gondolayu, dan ngoto masing – masing sebesar -52,20 kg/hari; -37,24 kg/hari; -4,14 kg/hari.

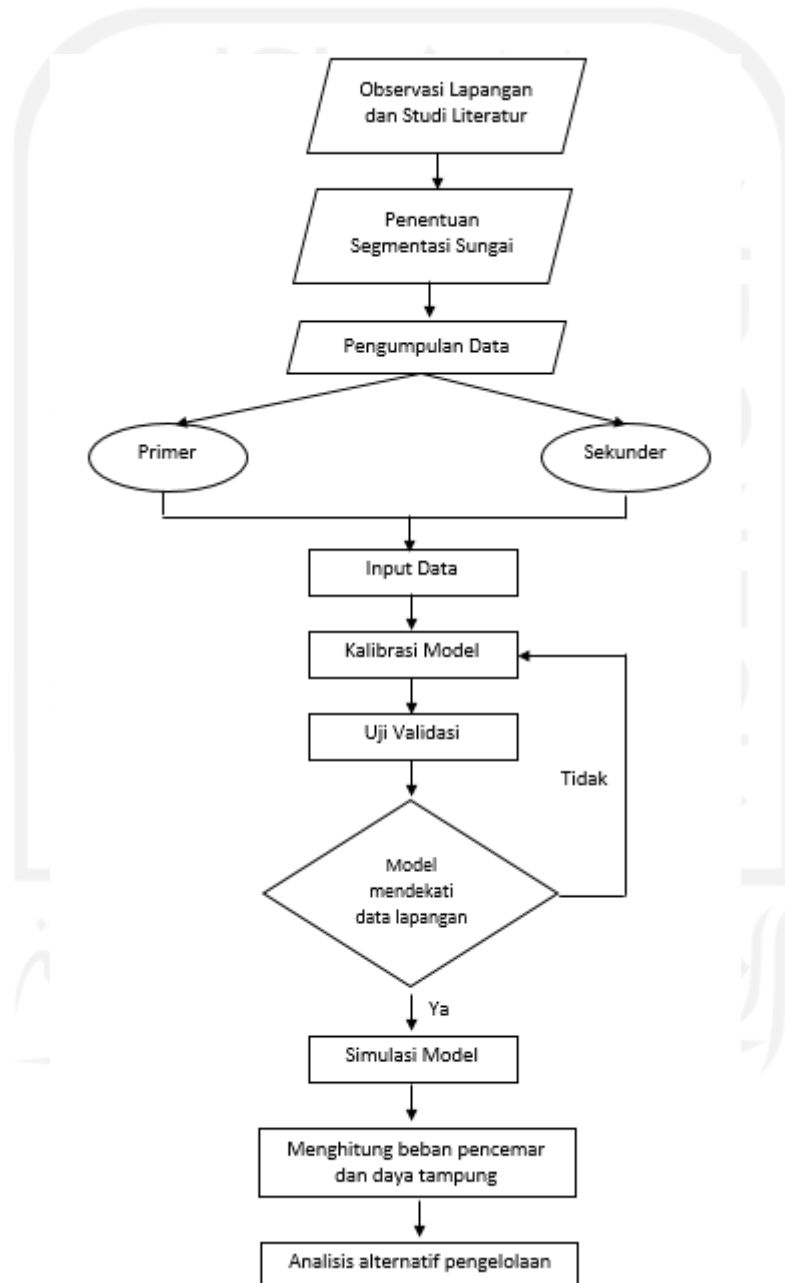
No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
				Kandungan fosfat sebesar -2,91 kg/hari. Dan kandungan TSS untuk semua segmen telah melebihi batas maksimum.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Alur Penelitian

Penelitian ini dijalankan melalui beberapa tahapan mulai dari persiapan, pelaksanaan, hingga penyelesaian yang secara ringkas dapat dilihat pada gambar 3.1 :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

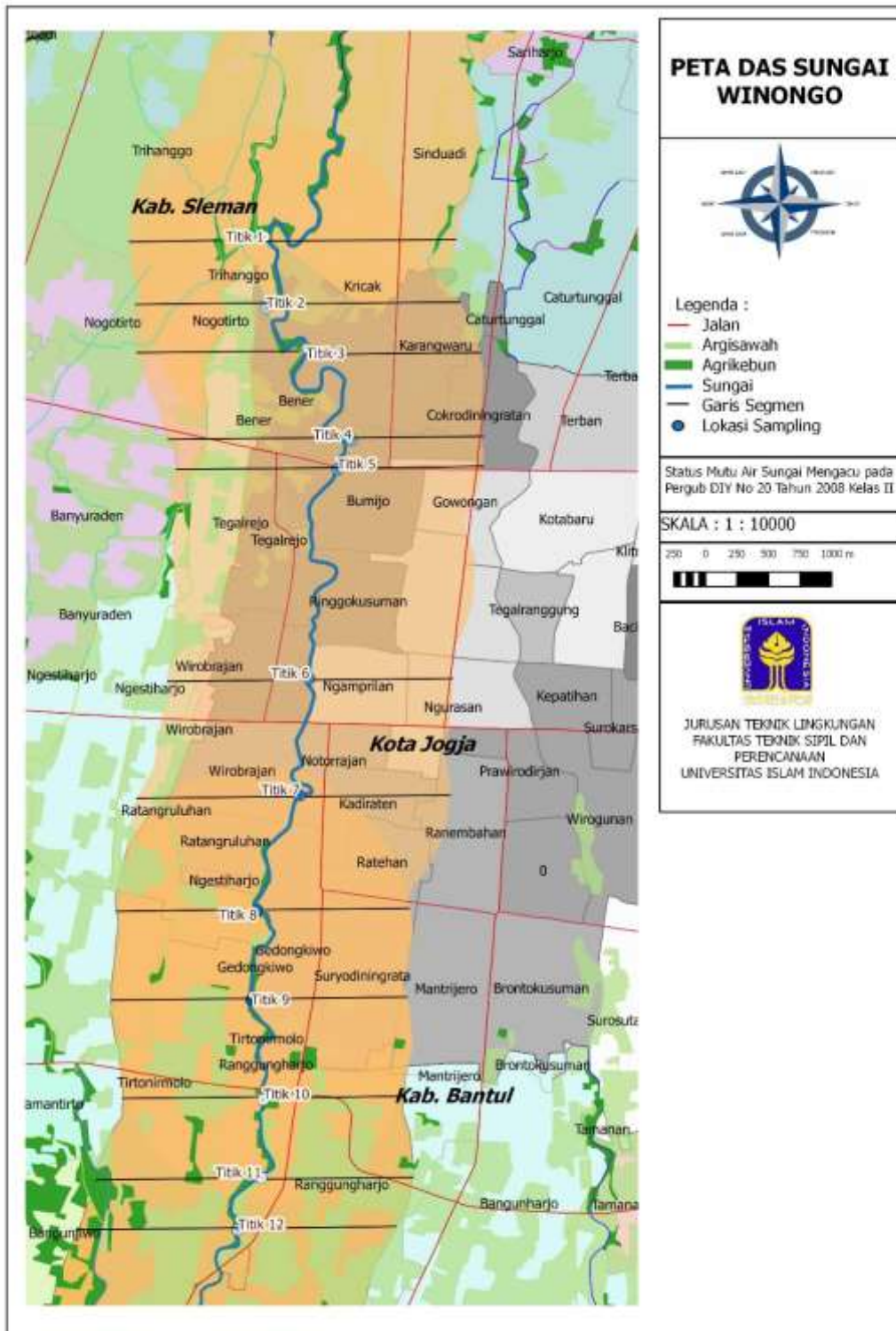
Lokasi sampling terletak di bagian tengah Sungai Winongo yang mencakup Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta hingga kabupaten Bantul di Kecamatan Kasihan yang dilaksanakan mulai dari Bulan Oktober 2020 hingga Bulan Februari 2021. Pemilihan lokasi ini dikarenakan bagian tengah sungai merupakan area padat penduduk, industri, pertanian, pasar yang memanfaatkan sungai untuk membuang limbah yang dihasilkan. Selain itu penggunaan lahan di bagian hulu sungai bersifat lebih sederhana dan bagian hilir sungai nantinya akan dijadikan tempat akumulasi dari proses pembuangan limbah yang dimulai di hulu sungai (Agustine dkk, 2018).

Penelitian dilakukan di 12 titik dengan 9 segmen sebanyak 3 kali sampling. Segmentasi sungai bertujuan untuk mempermudah peneliti dalam memetakan sumber pencemar berupa *point source* yang terdiri dari limbah domestik dan anak sungai serta *non point source* yang terdiri dari limbah kegiatan pertanian. Jenis penelitian yang dilakukan bersifat observasional deskriptif menggunakan metode *purposive sampling*, yakni menentukan titik pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan peneliti dengan melihat kemudahan akses, biaya maupun waktu sehingga mewakili keseluruhan kondisi Sungai Winongo. Titik lokasi pengambilan sampel air dipilih berdasarkan area yang berpotensi tertapar cemaran akibat kegiatan domestik, maupun pertanian. Berikut penentuan segmentasi sungai serta peta titik pengambilan sampel yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, Gambar 3.2, dan Gambar 3.3 :

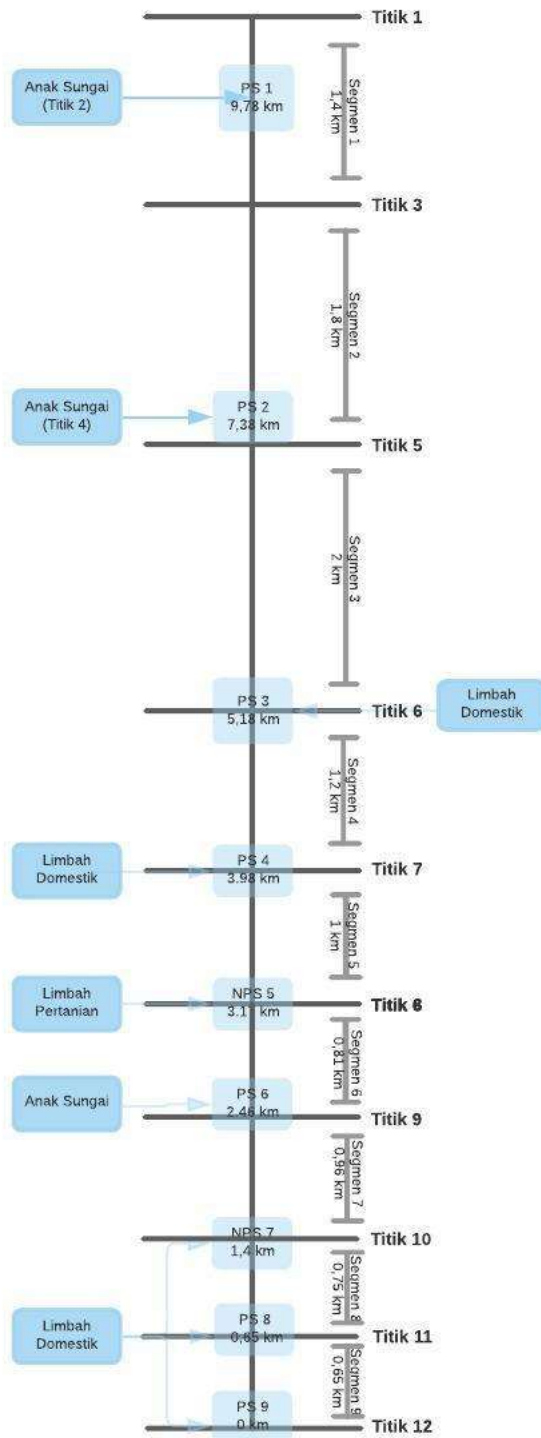
Tabel 3. 1. Titik Sampling Sungai Winongo

Titik Sampling	Lokasi	Koordinat	Waktu dan Kondisi Sampling	
			Waktu	Cuaca
1	Jembatan Jambon	7°45'58.11"S 110°21'6.50"E	1 : 7 Desember 2020 2 : 19 Januari 2021 3 : 8 Februari 2021	1 : cerah 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
2	Panggungan (Anak Sungai)	7°46'16.61"S 110°21'7.06"E	1 : 7 Desember 2020 2 : 19 Januari 2021 3 : 8 Februari 2021	1 : cerah 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
3	Jembatan Jatimulyo	7°46'27.02"S 110°21'17.41"E	1 : 7 Desember 2020 2 : 19 Januari 2021 3 : 8 Februari 2021	1 : cerah 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
4	Bumijo (Anak Sungai)	7°46'50.80"S 110°21'29.14"E	1 : 7 Desember 2020 2 : 19 Januari 2021 3 : 8 Februari 2021	1 : cerah 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
5	Kyai Mojo	7°46'48.03"S	1 : 7 Desember 2020	1 : cerah

Titik Sampling	Lokasi	Koordinat	Waktu dan Kondisi Sampling	
			Waktu	Cuaca
		110°21'21.5"E	2 : 19 Januari 2021 3 : 8 Februari 2021	2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
6	Jembatan Merah	7°47'52.53"S 110°21'18.20"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
7	Ngampilan	7°48'22.67"S 110°21'15.67"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
8	Mantrijeron	7°48'52.33"S 110°21'4.70"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
9	Mantrijeron	7°49'15.54"S 110°21'3.17"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
10	Jembatan Winongo	7°49'41.41"S 110°21'6.26"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
11	Jogonalan Kidul	7°50'1.67"S 110°21'5.84"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)
12	Tirtonirmolo	7°50'15.07"S 110°20'59.72"E	1 : 8 Desember 2020 2 : 20 Januari 2021 3 : 9 Februari 2021	1 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 2 : cerah (hujan di hari sebelumnya) 3 : cerah (hujan di hari sebelumnya)



Gambar 3. 2. Peta Titik Lokasi Sampling
Sumber : Ina Geoportal



Total Panjang sungai :
10,57 km

Ket :
PS = Point Source
NPS = Non Point Source

Gambar 3. 3. Pembagian Segmen Sungai Winongo

3.3. Jenis dan Variabel Penelitian

3.3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif melalui pengambilan sampel air Sungai Winongo, uji laboratorium, dan analisis data menggunakan software Qual2KW

3.3.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini mengkaji variabel yang akan diamati berupa TSS dan fosfat pada setiap segmen sungai dan dianalisis menggunakan software Qual2kw.

3.4. Metode Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder

3.4.1. Data Primer

Data primer berasal dari observasi berupa hasil pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan untuk air sungai dan air limbah yang berasal dari *point source* dan *diffuse source* sesuai dengan SNI 6989-57-2008, serta pengukuran laboratorium berdasarkan SNI 06-6989-03-2004 untuk parameter TSS dan SNI 06-6989-31-2005 untuk parameter fosfat. Berikut rincian data primer serta alat yang digunakan yang dapat dilihat pada tabel 3.2 :

Tabel 3. 2. Data Primer dan Alat yang Digunakan

No	Parameter	Satuan	Alat	Regulasi	Metode
1	DO	mg/L	DO meter	SNI 06-6989 14-2004	Portable
2	pH	-	PH meter	SNI 06-6989 27-2005	Portable
3	Kekeruhan	NTU	Turbidimeter	SNI 06-6989 25-2005	Portable
4	suhu	°C	Thermometer	SNI 03-6989 23-2005	Portable
5	ORP	mV	ORP Meter	-	Portable
6	debit	m ³ /s	1 set alat pengukur debit	-	Portable
7	Kecepatan Angin	m/s	Anemometer	-	Portable
8	Fosfat	mg/L	Spektrofotometer	SNI 6989 31 2005	Spektrofotometer
9	TSS	mg/L	Kertas Saring	SNI 06-6989 27-2005	Gravimetri

3.4.2. Data Sekunder

Perolehan data sekunder berasal dari web resmi pemerintah atau instansi maupun literatur lain terkait penelitian, seperti :

- a. Data klimatologi berupa temperature titik embun, kecepatan angin, tutupan awan, dan persen radiasi matahari dari BMKG Yogyakarta melalui *website* resmi Badan Klimatologi dan Geofisika dan BBWS.
- b. Peta administrasi, peta topografi, dan peta penggunaan lahan.

3.5. Metode Analisa Data

Proses analisis data dilakukan dengan menggunakan software Qual2kw versi 5.1 dengan parameter fosfat dan TSS.

Berikut terdapat beberapa tahapan analisa data menggunakan software qual2kw :

3.5.1. Input Data

Data yang diinput kedalam *worksheet* microsoft excel antara lain :

a. *Worksheet Qual2k*

Data yang dimasukkan berupa nama sungai, tanggal simulasi, nama file, waktu matahari terbit, dan waktu matahari terbenam.

b. *Worksheet Headwater*

Data yang di input berupa debit serta kualitas air di hulu sungai.

c. *Worksheet Reach*

Data yang di input berupa pembagian segmen, panjang segmen, koordinat segmen, elevasi, terjunan kecepatan, kedalaman, n manning.

d. *Worksheet Data Klimatologi*

Data yang di input berupa data klimatologi seperti temperatur udara, titik embun, kecepatan angin, tutupan awan, dan persentase radiasi matahari untuk setiap segmennya.

e. *Worksheet Point Source*

Data yang di input berupa konsentrasi pencemar dan debit *point source*

f. *Worksheet Diffuse Source*

Data yang di input berupa konsentrasi pencemar dan debit *non point source*

g. *Worksheet Temperature Data*

Berisi data temperatur air pada masing – masing titik pengambilan sampel

h. *Worksheet Hydraulic Data*

Berisi data hidrolik seperti debit, kecepatan, dan kedalaman sungai pada masing – masing titik pengambilan sampel air.

i. *Worksheet WQ Data*

Berisi data kualitas air harian untuk masing – masing titik pengambilan sampel air.

3.5.2. Kalibrasi Data

Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan hasil model agar mendekati data yang ada di lapangan dengan cara *trial and error* serta running program secara berulang hingga hasil model mendekati kondisi sebenarnya.

3.5.3. Validasi Data

Validasi model dilakukan dengan tujuan untuk melihat nilai error yang ada pada nilai model serta mengetahui keakuratan antara data model dengan data lapangan. Validasi model pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode chi square dengan persamaan sebagai berikut :

$$x^2 = \sum_{r=0}^n \frac{(\text{nilai observasi} - \text{nilai model})^2}{\text{nilai model}}$$

Keterangan :

X^2 : Nilai Uji statistik

n : jumlah sampel

r : sampel ke-n

Jika x^2 hasil perhitungan dengan $(\alpha= 0,95) >$ dari x^2 tabel, maka model ditolak. Namun bila x^2 hasil perhitungan $<$ dari x^2 tabel, maka model diterima (Lusiana, 2020).

3.5.4. Simulasi Model

Setelah model terkalibrasi dan tervalidasi, simulasi dilakukan menggunakan beberapa skenario untuk melihat kondisi sungai dan sumber pencemar dalam berbagai kondisi. Berikut empat skenario simulasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3. Simulasi Model

Skenario	Kondisi Hulu	Sumber Pencemar	Kondisi Air Sungai
1	Eksisting	Eksisting	Model
2	Eksisting	Estimasi tahun 2026	Model
3	BMA II	Kondisi Awal	Model
4	BMA II	Trial and Error	BMA II

Keterangan : BMA = Baku Mutu Air berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No 20 Tahun 2008

1. Skenario 1 merupakan simulasi dengan membentuk model sesuai data eksisting dengan cara *trial and error*. Simulasi menggunakan skenario 1 bertujuan untuk mengetahui besaran beban pencemar eksisting yang masuk kedalam Sungai Winongo.
2. Skenario 2 merupakan simulasi pembentukan model sesuai data eksisting dengan estimasi sumber pencemar tahun 2026 dengan cara memproyeksikan jumlah penduduk untuk limbah domestik, perhitungan debit serta konsentrasi beban pencemar dalam satu tahun untuk limbah industri, serta perhitungan luas lahan dengan faktor pencemar pada limbah pertanian yang nantinya akan terlihat apakah kualitas air Sungai Winongo pada tahun tersebut masih sesuai baku mutu kelas II atau tidak.
3. Skenario 3 merupakan simulasi dengan membentuk model sesuai baku mutu kelas II Pergub DIY No 20 Tahun 2008 di titik hulu dengan kondisi sungai yang mendapatkan masukan beban pencemar hanya dari anak sungai dan dibuat agar tidak melebihi baku mutu. Skenario ini dilakukan untuk mengetahui proses pemurnian diri apabila hanya pencemar alami yang masuk kedalam sungai.
4. Skenario 4 merupakan simulasi membentuk model kualitas air sesuai baku mutu kelas II Pergub No 20 Tahun 2008 yang mana data *point source* dan *diffuse source* didapatkan setelah melewati proses *running trial and error* hingga hasilnya sesuai dengan baku mutu kelas II. Skenario ini dilakukan untuk mengetahui besaran beban pencemar yang diperbolehkan masuk kedalam Sungai Winongo tanpa menyebabkan sungai tersebut tercemar sehingga sungai dapat digunakan sesuai peruntukannya.

3.5.5. Perhitungan beban pencemar

Dalam menghitung beban pencemar, dapat menggunakan persamaan :

$$BP = C \times Q$$

Dimana :

BP : beban pencemar sungai (kg/hari)

C : Konsentrasi Pencemar (kg/L)

Q : debit air (m³/hari)

3.5.6. Daya Tampung

Daya tampung merupakan nilai yang menggambarkan kemampuan badan air untuk menerima masukan beban pencemar tanpa mengakibatkan terjadinya pencemaran. Perhitungan daya tampung ini merupakan salah satu upaya dalam mengendalikan pencemaran dengan memperhatikan komponen penting dalam sungai serta baku mutu air (Fatmawati dkk, 2012). Dalam penelitian ini besaran daya tampung dihitung berdasarkan kondisi awal sungai dimana hanya terdapat sumber pencemar alami (skenario 3) dibandingkan dengan kondisi sungai dengan beban pencemar maksimum (skenario 4). Perhitungan beban pencemar menurut (Irsanda, 2014) adalah sebagai berikut :

$$\text{Daya tampung} = \text{Beban Pencemar Penuh} - \text{Beban Kondisi Awal}$$

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Lokasi dan Waktu Penelitian

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai yang terletak di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang mengalir melewati Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. DAS Sungai Winongo tentunya menjadi daerah padat penduduk dimana terdapat banyak kegiatan yang dapat dilakukan seperti industri, pertanian, dan kegiatan domestik penduduk sehari – hari yang dapat menyebabkan peningkatan limbah baik limbah padat maupun limbah cair.

Pengambilan sampel air dilakukan sebanyak tiga kali. Sampling pertama dilakukan pada tanggal 7 – 8 Desember 2020. Sampling kedua dilakukan pada tanggal 19 – 20 Januari 2021. Sampling ketiga dilakukan pada tanggal 8 – 9 Februari 2021. Ketiga sampling dilakukan selama dua hari yang disebabkan oleh hujan yang terjadi pada saat itu. Hujan biasa terjadi pada tengah hari hingga sore hari di hari pertama sampling yang menyebabkan pengambilan sampel dihentikan dan dilanjutkan di hari berikutnya dengan pertimbangan medan area sungai yang terlalu berisiko bagi peneliti.

Lokasi pengambilan sampel air yang dilakukan pada penelitian ini dibagi kedalam 9 segmen dengan 10 titik *stream source* dimana Jembatan Jambon yang terletak pada Kecamatan Gamping ditetapkan sebagai segmen hulu dan Kecamatan Tirtomalan ditetapkan sebagai segmen hilir. Total panjang Sungai Winongo dalam penelitian kali ini sebesar 10,57 km dengan sumber pencemar yang masuk kedalam badan Sungai Winongo berupa 6 titik *point source* dan 2 titik *diffuse source*. Berikut merupakan titik lokasi pengambilan sampel air dalam penelitian Sungai Winongo yang dapat dilihat pada tabel 4.1. :

Tabel 4. 1. Lokasi Titik Pengambilan Sampel Air Sungai Winongo

Lokasi	Lokasi Titik Sampling	Jarak	Elevasi		Keterangan
			Upstream	Downstream	
Titik 1	Jembatan Jambon, Kecamatan Gamping (7°45'58.11"S 110°21'6.50"E)	0	-	100	Hulu Sungai
Titik 3	Jembatan Jatimulyo, Kecamatan	1,4	100	96,5	<i>Point source</i> : Anak Sungai

Lokasi	Lokasi Titik Sampling	Jarak	Elevasi		Keterangan
			Upstream	Downstream	
	Tegalrejo (7°46'27.02"S 110°21'17.41"E)				
Titik 5	Jalan Kyai Mojo, Kelurahan Bener, kecamatan Tegalrejo. (7°46'48.3"S 110°21'21.5"E)	1,8	96,5	91	<i>Point source</i> : Anak Sungai
Titik 6	Desa Ngampilan, Kecamatan Ngampilan. (7°47'52.53"S 110°21'18.20"E)	2	91	87,5	<i>Point source</i> : Limbah Industri kayu
Titik 7	Kecamatan Ngampilan (7°48'22.67"S 110°21'15.67"E)	1,2	87,5	81,25	<i>Point source</i> : Limbah domestik
Titik 8	Mantrijeron (7°48'52.33"S 110°21'4.70"E)	1	81,25	75	<i>Diffuse source</i> : Limbah pertanian
Titik 9	Gumuk Indah, Ngestiharjo, Kab Bantul (7°49'15.54"S 110°21'3.17"E)	0,81	75	62,5	<i>Point source</i> : Anak Sungai
Titik 10	Jogonalan Lor, Kelurahan Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan (7°49'41.41"S 110°21'6.26"E)	0,96	62,5	61,5	<i>Diffuse source</i> : Limbah domestik
Titik 11.	Dusun Jagonalan Kidul, Desa Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan. (7°50'1.67"S 110°21'5.84"E)	0,75	61,5	60,5	<i>Point source</i> : Limbah domestik
Titik 12	Jembatan Winongo, Desa Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan (7°50'15.07"S 110°20'59.72"E)	0,65	60,5	60	Hilir Sungai

4.1.1. Profil Titik Penelitian

Pangamatan pada titik penelitian merupakan cara untuk mengetahui kualitas dan kuantitas air Sungai Winongo dengan kondisi eksisting yang nantinya data tersebut dapat diolah pada saat tahap pemodelan.

1. Titik 1

Titik ini berada di Jembatan Jambon, Kecamatan Gamping yang merupakan titik hulu pengambilan sampel air Sungai Winongo. Pada lokasi ini jumlah

vegetasi cukup banyak dan merupakan area padat penduduk. Arus sungai pada titik ini cukup deras dikarenakan kondisi musim hujan yang menyebabkan debit air meningkat. Sungai pada titik ini memiliki lebar sebesar 13,2 m dan kedalaman sebesar 1 m. Terdapat aktivitas memancing yang dilakukan oleh warga setempat.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 1. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 1

2. Titik 3

Lokasi ini merupakan sungai utama yang berada di Jembatan Jatimulyo, Kecamatan Tegalrejo dengan kondisi lingkungan berupa vegetasi dan pemukiman warga. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 0,93 m serta lebar sebesar 12 m dengan kondisi air sungai cukup keruh dan memiliki sumber pencemar berupa anak sungai yang biasa dijadikan tempat pembuangan limbah domestik oleh warga sekitar.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 2. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 3

3. Titik 5

Lokasi ini berada di Kyai Mojo, Kecamatan Tegalrejo. Penggunaan lahan di sekitar lokasi berupa vegetasi dan pemukiman warga. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 1,12 m serta lebar sebesar 5,78 m dengan kondisi air sungai cukup keruh akibat dari sampah yang dibuang di area sungai tersebut dan memiliki sumber pencemar limbah domestik melalui aliran anak sungai terlebih dahulu.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 3. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 5

4. Titik 6

Lokasi ini terletak di Kecamatan Ngampilan, Kota Yogyakarta yang merupakan area padat penduduk yang sebagian besar wilayahnya telah mengalami pembaharuan infrastruktur. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 91 cm serta lebar sebesar 13 m. Pada titik ini terdapat sumber pencemar berupa air limbah industri kayu skala kecil.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 4. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 6

5. Titik 7

Lokasi ini terletak di Kecamatan Ngampilan, Kota Yogyakarta. Titik sampling ini berada pada pemukiman warga, selain itu terdapat vegetasi yang tumbuh di area ini. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 67 cm serta lebar sebesar 10 m. Pada titik ini terdapat sumber pencemar berupa air limbah domestik yang berasal dari limbah cucian maupun perilaku masyarakat setempat yang tidak jarang melakukan kegiatan buang air besar langsung di sungai.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 5. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 7

6. Titik 8

Lokasi ini terletak di Mantrijeron, Kota Yogyakarta dengan kondisi sungai terdapat materi dasar berupa pasir, dan kerikil dan sering dijadikan tempat penambangan pasir. Wilayah ini berada di tengah kota yang didominasi oleh pemukiman penduduk serta pertanian yang limbahnya mengalir langsung kedalam sungai. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 64 cm serta lebar sebesar 7 m.



Dokumentasi : 20 Januari 2021

Gambar 4. 6. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 8

7. Titik 9

Lokasi ini terletak di Gumuk Indah, Ngestiharjo, Kabupaten bantul dengan area yang didominasi oleh vegetasi dan pemukiman warga. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 64 cm serta lebar sebesar 7 m. Terdapat aktivitas penambangan pasir yang dilakukan oleh warga setempat serta sumber pencemar berupa anak sungai yang bermuara di sungai utama.





Dokumentasi : 9 Februari 2021

Gambar 4. 7. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 9

8. Titik 10

Lokasi ini terletak di Dusun Jogonalan Lor, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul dengan penggunaan lahan di dominasi oleh pemukiman penduduk. Air sungai pada titik ini cukup deras dan jernih serta terdapat terjunan. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 57 cm serta lebar sebesar 11,67 m. Pada titik ini terdapat sumber pencemar berupa limbah domestik.





Dokumentasi : 9 Februari 2021

Gambar 4. 8. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 10

9. Titik 11

Lokasi ini terletak di Dusun Jogonslan Kidul, Kabupaten Bantul yang termasuk kedalam area padat penduduk. Pada lokasi ini terdapat banyak vegetasi dan kondisi sungai yang tidak bertalud, sehingga kondisi sungai masih tergolong alami. Sungai ini memiliki kedalaman sebesar 70 cm serta lebar sebesar 12,7 m. Pada titik ini terdapat sumber pencemar berupa limbah domestik dengan kondisi air yang lebih keruh dibandingkan dengan titik sebelumnya dikarenakan pinggiran sungai yang dijadikan tempat pembuangan sampah oleh warga sekitar.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 9. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 11

10. Jembatan Winongo, (Segmen 9).

Lokasi ini terletak di Kelurahan Tirtonirmolo, Kabupaten yang termasuk kedalam titik hilir pengambilan sampel air Sungai Winongo. Kondisi lingkungan sekitar di dominasi oleh pemukiman dan vegetasi. Pada titik ini tidak ditemukan pipa pembuangan limbah domestik. Sungai pada titik ini memiliki lebar sebesar 12,75 m dan kedalaman sebesar 67 cm.



Dokumentasi : 7 Desember 2020

Gambar 4. 10. Kondisi Pengambilan Sampel pada Titik 12

4.2. Karakteristik Hidrolika Sungai Winongo

Berikut merupakan data hidrolika Sungai Winongo yang diperoleh berdasarkan perhitungan dan pengukuran langsung di lapangan yang terdiri dari debit, kecepatan, dan kedalaman. Data hidrolika ini tergolong kedalam data penting yang harus di input pada saat proses pemodelan berlangsung menggunakan software Qual2kw. Data hidrolika Sungai Winongo disajikan dalam tabel 4.2 :

Tabel 4. 2. Karakteristik Hdrolika Sungai Winongo

Titik Lokasi	Debit (m ³ /s)	Kecepatan Aliran (m/s)	Kedalaman (m)
Titik 1	10,37	0,78	1
Titik 3	8,650	0.764	0.93
Titik 5	5,05	0.760	1,12
Titik 6	7,62	0.650	0.91
Titik 7	3,48	0.520	0,67
Titik 8	2,47	0.550	0,64
Titik 9	2,60	0.570	0,643
Titik 10	6,48	0.980	0,58
Titik 11	7,08	0.820	0,67
Titik 12	6,06	0.760	0,62

Sumber : Hasil Pengukuran Lapangan, 2021

4.3. Hasil Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada Bulan Desember 2020 hingga Bulan Februari 2021 menghasilkan beberapa data penting seperti debit air sungai dan data kualitas air Sungai Winongo.

4.3.1. Debit

Data debit diperoleh melalui hasil perhitungan dari data lapangan yang dilakukan sebanyak 3 kali. Berikut hasil pengukuran debit dari ketiga sampling yang terdiri dari debit rata – rata, debit maksimum, dan debit minimum yang dapat dilihat pada tabel 4.3. dan gambar 4.11.

Tabel 4. 3. Debit Air Sungai Winongo

No	Lokasi	Debit Rata - rata (m ³ /s)	Debit Maksimum (m ³ /s)	Debit Minimum (m ³ /s)
1	T1	10.37	17.49	6.55
2	T3	8.65	10.80	4.53
3	T5	5.05	7.32	2.94

No	Lokasi	Debit Rata - rata (m ³ /s)	Debit Maksimum (m ³ /s)	Debit Minimum (m ³ /s)
4	T6	7.62	8.90	6.40
5	T7	3.48	3.98	3.02
6	T8	2.47	3.52	1.86
7	T9	2.60	3.46	1.65
8	T10	6.48	12.02	3.60
9	T11	7.08	9.22	4.64
10	T12	6.06	6.43	6.55



Gambar 4. 11. Grafik Nilai Debit Sungai Winongo

Berdasarkan hasil grafik pada gambar 4.11. debit terkecil terdapat pada titik 8 sebesar 2,47 m³/s. Hal ini disebabkan oleh kondisi air yang cenderung tenang serta pengaruh dari kondisi fisik sungai serta topografi. Menurut Staddal et al (2016) bentuk sungai yang memanjang dan sempit serta lahan yang landai memiliki laju aliran yang lebih kecil dibandingkan bentuk sungai yang lebar dan memiliki kemiringan yang curam karena dapat meningkatkan kekuatan aliran sehingga menghasilkan debit yang besar seperti debit yang terdapat pada titik 1 berupa hulu sungai sebesar 10,37 m³/s. Tingginya debit juga disebabkan oleh oleh hujan yang terjadi di hari sebelumnya karena hujan merupakan faktor penting yang mempengaruhi debit air (Sutrisno et al, 2019).

Besaran beban pencemar yang berada pada sungai juga dipengaruhi oleh debit. Debit yang besar akan menurunkan konsentrasi beban pencemar yang

disebabkan oleh proses pengenceran, sebaliknya debit yang kecil cenderung akan meningkatkan konsentrasi pencemar (Agustiningsih et al, 2012). Debit, volume limbah, dan waktu pengambilan sampel termasuk kedalam faktor – faktor yang mempengaruhi kondisi kualitas air sungai yang didapatkan (Sutari, 2015).

4.3.2. Kualitas Air Sungai

Aktivitas pengembangan dan pengelolaan sumber daya air sangat mementingkan detail komponen yang termasuk kedalam kualitas air. Kualitas air diketahui nilainya melalui pengukuran kondisi fisik, kimia, dan biologi guna memenuhi standar mutu air sesuai regulasi (Asdak, 2010). Pengujian sampel kualitas air untuk parameter TSS dan Fosfat dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengukuran akan dibandingkan dengan Peraturan Gubernur DIY Nomor 20 Tahun 2008.

4.3.2.1. Temperature

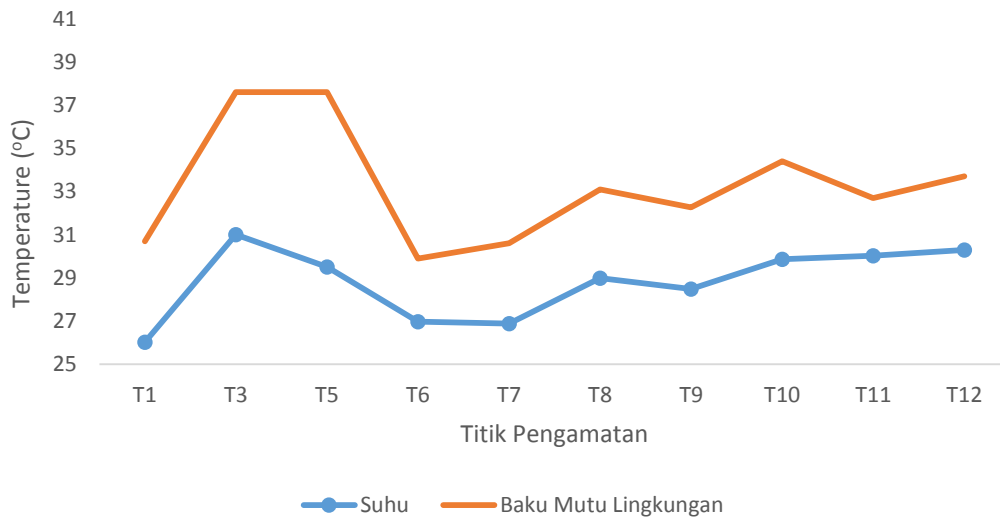
Temperature merupakan parameter fisik yang dapat mempengaruhi komponen penting di bumi seperti makhluk hidup dan komponen pendukungnya yang bersifat mati (abiotik) khususnya dalam ekosistem perairan. temperatur dapat mempengaruhi besaran oksigen terlarut yang ada di dalam air (Singh dan Shrivastava, 2015). Hasil pengamatan dan pengukuran temperature air Sungai Winongo diperoleh melalui data lapangan yang dilakukan sebanyak 3 kali. Nilai temperatur rata – rata, maksimum, dan minimum hasil ketiga sampling Sungai Winongo dapat dilihat pada tabel 4.4. dan gambar 4.12.

Tabel 4. 4. Temperature Air Sungai Winongo

No	Lokasi	Temperature (°C) Rata - rata	Temperature (°C) Maksimum	Temperature (°C) Minimum	Baku Mutu (°C)
1	T1	26.02	28.48	22.64	30.7
2	T3	31.01	31.46	30.12	37.6
3	T5	29.51	30.61	28.93	37.6
4	T6	26.97	28	26.37	29.9
5	T7	26.88	27.71	26.14	30.6
6	T8	28.99	30.78	27.74	33.1
7	T9	28.48	29.12	27.41	32.27
8	T10	29.87	30.69	29.28	34.4
9	T11	30.03	30.38	29.46	32.7

No	Lokasi	Temperature (°C) Rata - rata	Temperature (°C) Maksimum	Temperature (°C) Minimum	Baku Mutu (°C)
10	T12	30.30	30.53	30.18	33.7

Hasil Analisa Data, 2021



Gambar 4. 12. Grafik Nilai Temperatur Sungai Winongo

Hasil pengukuran temperature air dari titik 1 sampai titik 12 mengalami fluktuasi dengan kisaran sebesar 26°C – 31°C. Suhu terendah terdapat pada *headwater* dikarenakan pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari dimana air sungai belum terpapar sinar matahari. Suhu tertinggi terdapat pada titik 3 karena pengambilan sampel dilakukan pada siang hari. Temperatur yang didapatkan dari titik 1 hingga titik 12 Sungai Winongo dinilai masih sesuai dengan baku mutu kelas II Pergub DIY No 20 Tahun 2008 yang menganjurkan temperatur sebaiknya memiliki perbedaan $\pm 3^\circ$ dari temperatur udara pada masing – masing titik lokasi sampling. Sastrawijaya (2009) menyatakan bahwa besarnya intensitas matahari akan membuat temperatur air meningkat. Tentunya hal ini memiliki keterkaitan dengan faktor yang dapat mempengaruhi intensitas matahari seperti musim, cuaca, durasi penyinaran, serta tutupan awan.

Menurut Simanjuntak (2009) temperatur akan menurun secara teratur mengikuti kedalaman sungai. Dengan bertambahnya kedalaman sungai dapat mengurangi kuantitas plankton dalam perairan. Lain hal dengan peningkatan temperatur yang dapat menyebabkan oksigen terlarut dalam air menurun

dikarenakan biota air menggunakan oksigen dalam jumlah besar ketika terjadi kenaikan temperatur (Effendi, 2003).

Peningkatan suhu air dapat menimbulkan akibat antara lain jumlah oksigen terlarut dalam air menurun yang akan mengganggu kehidupan biota air karena kekurangan oksigen, kecepatan reaksi kimia meningkat, serta dapat mematikan ikan dan hewan air apabila suhu air telah melampaui batas normal (Fardiaz, 1992).

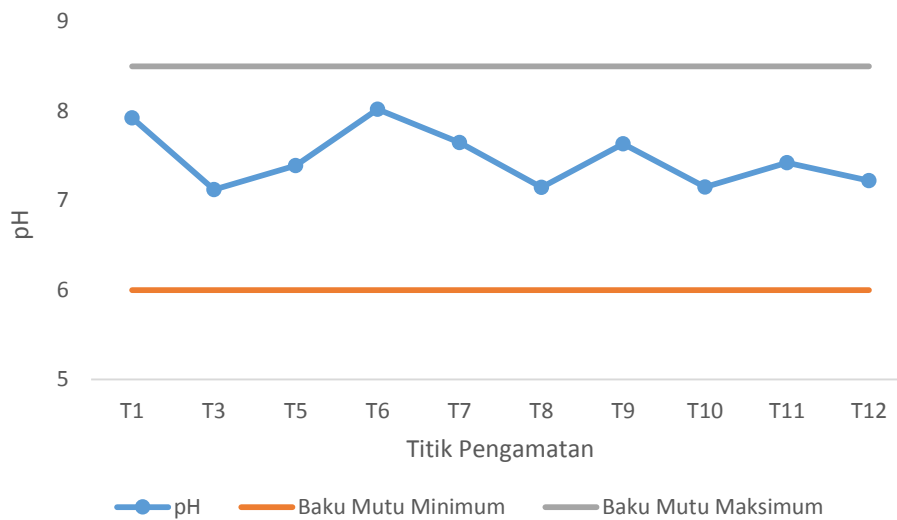
4.3.2.2. pH

pH merupakan pengukuran untuk menunjukkan keasaman atau alkalinitas dalam suatu perairan. Nilai 7 pada pH merupakan kondisi netral pada skala nilai 0 – 14. Nilai diatas 7 menunjukkan kondisi basa, sedangkan nilai dibawah 7 menunjukkan kondisi asam (Singh dan Shrivastava, 2015). Hasil pengamatan dan pengukuran pH air Sungai Winongo diperoleh melalui data lapangan yang dilakukan sebanyak 3 kali. Nilai pH rata – rata, maksimum, dan minimum hasil ketiga sampling Sungai Winongo dapat dilihat pada tabel 4.5. dan gambar 4.13.

Tabel 4. 5. pH Air Sungai Winongo

No	Lokasi	Ph Rata - rata	Ph Maksimum	Ph Minimum	Baku Mutu
1	T1	7.92	8.63	6.74	6 – 8,5
2	T3	7.12	7.52	6.73	6 – 8,5
3	T5	7.39	7.69	6.92	6 – 8,5
4	T6	8.02	8.19	7.87	6 – 8,5
5	T7	7.65	8.43	7.09	6 – 8,5
6	T8	7.15	7.33	6.94	6 – 8,5
7	T9	7.63	8.15	6.65	6 – 8,5
8	T10	7.15	7.7	6.62	6 – 8,5
9	T11	7.42	7.81	7.13	6 – 8,5
10	T12	7.22	7.86	6.78	6 – 8,5

Hasil Analisa Data, 2021



Gambar 4. 13. Grafik Nilai pH Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan nilai pH air Sungai Winongo berada pada kisaran 7 – 8. Nilai derajat keasaman air Sungai Winongo masih dikategorikan aman sesuai baku mutu Pergub DIY Nomor 20 Tahun 2008 yang memperbolehkan nilai pH berada pada kisaran 6 – 8,5. Nilai pH menjadi penting dikarenakan pH dapat menggambarkan kondisi perairan yang tergolong asam atau basa. Nilai pH sangat berpengaruh terhadap proses biokimiawi perairan, toksisitas senyawa kimia, serta proses metabolisme biota air (Effendi, 2003).

Pada umumnya, peningkatan konsentrasi pH disebabkan oleh konsumsi CO₂ pada aktivitas fotosintesis dalam perairan (Gandaseca et al, 2011). Kadar pH yang sangat tinggi (lebih dari 9,5) atau nilai pH yang sangat rendah (lebih rendah dari 4,5) tidak cocok untuk sebagian besar organisme akuatik. Kondisi perairan dengan pH dibawah 5 merupakan kondisi perairan yang kritis karena pada umumnya biota air akan mati pada kondisi tersebut. Tingkat pH yang tinggi (9-14) dapat membahayakan ikan karena pada kadar pH tersebut kadar amonia akan berubah menjadi amonia beracun pada pH tinggi (Kumar dan Puri, 2012)

4.3.2.3. Fosfat

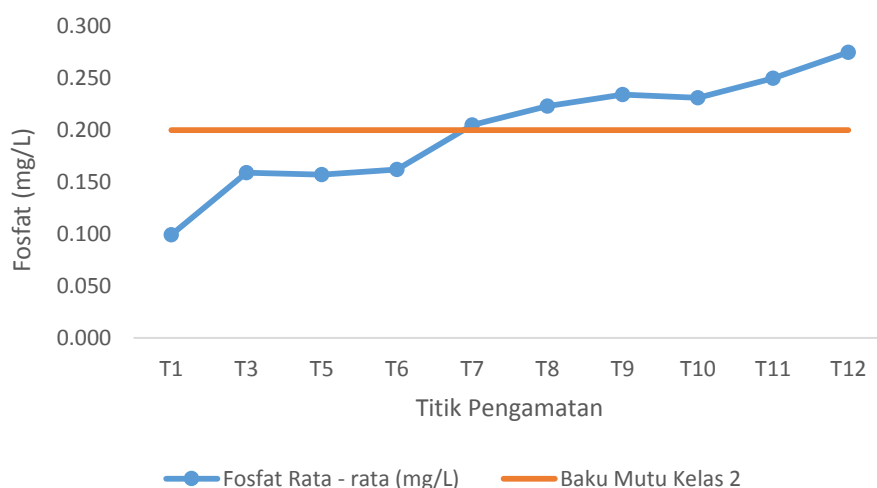
Fosfat merupakan salah satu parameter kimia yang dapat menurunkan kualitas air apabila dalam jumlah yang lebih. Fosfat ditemukan dalam bentuk ortofosfat (PO₄) yang menjadi simbol terjadinya kesuburan perairan (Mustofa,

2015). Fosfat biasa ditemukan pada air bekas cucian dalam rumah tangga serta pupuk. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan tersebut mengandung bahan kimia yang dapat mengalir ke badan air seperti sungai, danau, maupun air tanah. Masuknya bahan kimia dapat merukan komponen penting khususnya makanan bagi biota air diikuti dengan penurunan kualitas air (Bowden el al, 2015). Hasil pengamatan dan pengukuran parameter fosfat diperoleh melalui uji laboratorium yang dilakukan sebanyak 3 kali. Nilai konsentrasi fosfat rata – rata, maksimum, dan minimum dari hasil ketiga sampling Sungai Winongo dapat dilihat pada tabel 4.6. dan gambar 4.14.

Tabel 4. 6.Kadar Fosfat Air Sungai Winongo

Lokasi	Fosfat (mg/L)			Rata - rata (mg/L)	Max (mg/L)	Min (mg/L)	Baku Mutu Kelas II (mg/L)
	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3				
T1	0.142	0.065	0.089	0.099	0.142	0.065	0.2
T3	0.160	0.080	0.237	0.159	0.237	0.080	0.2
T5	0.157	0.164	0.151	0.157	0.164	0.151	0.2
T6	0.090	0.157	0.239	0.162	0.239	0.090	0.2
T7	0.170	0.220	0.225	0.205	0.225	0.170	0.2
T8	0.244	0.221	0.203	0.223	0.244	0.203	0.2
T9	0.252	0.230	0.219	0.234	0.252	0.219	0.2
T10	0.248	0.232	0.214	0.231	0.248	0.214	0.2
T11	0.261	0.221	0.268	0.250	0.268	0.221	0.2
T12	0.303	0.236	0.286	0.275	0.303	0.236	0.2

Hasil Analisa Data, 2021



Gambar 4. 14. Grafik Nilai Fosfat Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengukuran uji laboratorium untuk kadar fosfat berada pada kisaran nilai 0,099 – 0,275 mg/L. Nilai fosfat pada titik 1 hingga titik 6 tergolong dibawah baku mutu Pergub DIY Nomor 20 tahun 2008 yakni sebesar 0,2 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada titik 1 hingga titik 6 memiliki debit sungai yang tinggi yang menyebabkan kandungan pencemar pada sungai menurun (Agustiningih et al, 2012). Sedangkan nilai fosfat pada titik 7 hingga titik 12 tergolong melebihi baku mutu. Hal ini disebabkan oleh kegiatan mck yang masih berlangsung pada titik 7, kegiatan pertanian yang berada pada titik 8, serta limbah domestik yang langsung masuk kedalam badan sungai. Penggunaan deterjen pada rumah tangga merupakan penyumbang fosfat terbesar dalam perairan (Green, 2018).

Sumber alami fosfor pada perairan berasal dari pelapukan batuan mineral ketika bahan organik mengalami penguraian yang disebabkan oleh peningkatan buangan limbah deterjen (Effendi, 2003). Secara alami fosfor sangat dibutuhkan oleh biota air dalam keberlangsungan hidupnya. Namun, dalam jumlah yang besar kandungan fosfor dapat menyebabkan suatu perairan menjadi subur yang ditandai dengan pertumbuhan alga secara berlebihan. Alga blooming dapat menghambat penetrasi oksigen dan cahaya matahari kedalam perairan serta dapat menurunkan kadar oksigen dalam air (Green, 2018).

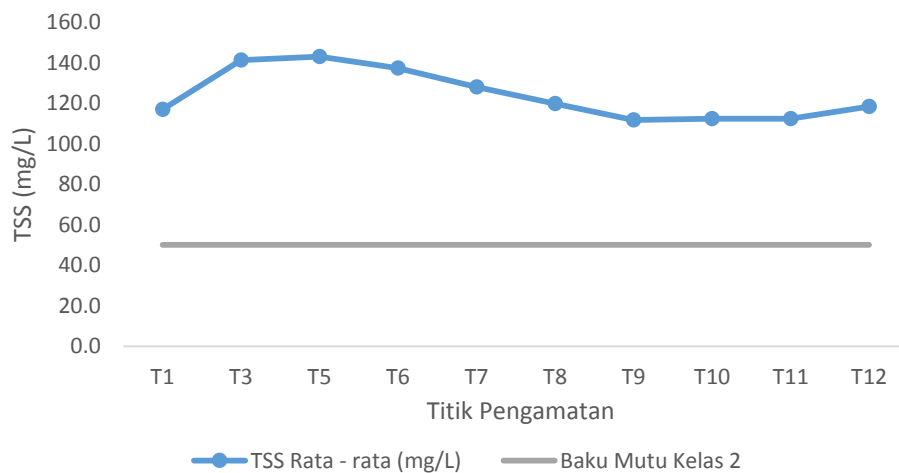
4.3.2.4. Total Suspended Solid (TSS)

TSS merupakan parameter fisik berbentuk padatan seperti lumpur, dan pasir halus yang terbawa ke suatu kawasan perairan sehingga menyebabkan kekeruhan (Effendi, 2003). Hasil pengamatan dan pengukuran parameter TSS diperoleh melalui uji laboratorium yang dilakukan sebanyak 3 kali. Nilai rata – rata parameter TSS dari hasil ketiga sampling Sungai Winongo dapat dilihat pada tabel 4.7. dan gambar 4.15.

Tabel 4. 7.Kadar TSS Air Sungai Winongo

Lokasi	TSS (mg/L)			Rata - rata (mg/L)	Max (mg/L)	Min (mg/L)	Baku Mutu Kelas II (mg/L)
	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3				
T1	201.3	44.3	105.0	116.9	201.3	44.3	50
T3	136.6	112.7	174.5	141.3	174.5	112.7	50
T5	254.7	72.7	101.7	143.0	254.7	72.7	50
T6	156.9	114.3	140.7	137.3	156.9	114.3	50
T7	149.7	97.7	136.6	128.0	149.7	97.7	50
T8	143.8	92.7	122.6	119.7	143.8	92.7	50
T9	134.3	65.7	135.0	111.7	135.0	65.7	50
T10	164.7	46.7	125.5	112.3	164.7	46.7	50
T11	157.3	89.7	90.3	112.4	157.3	89.7	50
T12	138.3	93.0	123.6	118.3	138.3	93.0	50

Hasil Analisa Data, 2021



Gambar 4. 15. Grafik Nilai TSS Sungai Winongo

Berdasarkan hasil pengukuran uji laboratorium untuk kadar TSS berada pada kisaran nilai 116 – 143 mg/L. Kadar TSS yang terkandung dalam air di titik 1

hingga titik 12 telah melebihi nilai baku mutu kelas 2 Peraturan Gubernur DIY Nomor 20 tahun 2008 yakni 50 mg/L. Tingginya kandungan TSS dalam air Sungai Winongo disebabkan oleh kikisan tanah yang membawa endapan lumpur serta pasir halus ke badan air (Effendi, 2003). Kadar TSS yang tinggi juga disebabkan oleh peningkatan debit air serta kecepatan aliran sungai akibat hujan seperti yang terjadi pada titik 3 dimana debit sungai pada titik tersebut cukup besar dibandingkan dengan titik lainnya. Peningkatan debit dan kecepatan aliran yang cukup tinggi menyebabkan sedimen pada dasar perairan akan teraduk sehingga padatan tersuspensi mengalami peningkatan. Selain itu, pada titik 5 terdapat penumpukan sampah yang berpengaruh terhadap kenaikan konsentrasi TSS pada air sungai (Andara et al, 2014).

Padatan tersuspensi merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap penurunan kualitas air sungai dikarenakan besaran konsentrasi TSS berbanding lurus dengan peningkatan kekeruhan dalam air. Air yang keruh akan menghambat cahaya serta oksigen yang masuk sehingga proses fotosintesis fitoplankton dan tumbuhan air akan terganggu. Penurunan kadar oksigen menyebabkan organisme aerob terancam mengalami kematian (Bilotta and Brazier, 2008).

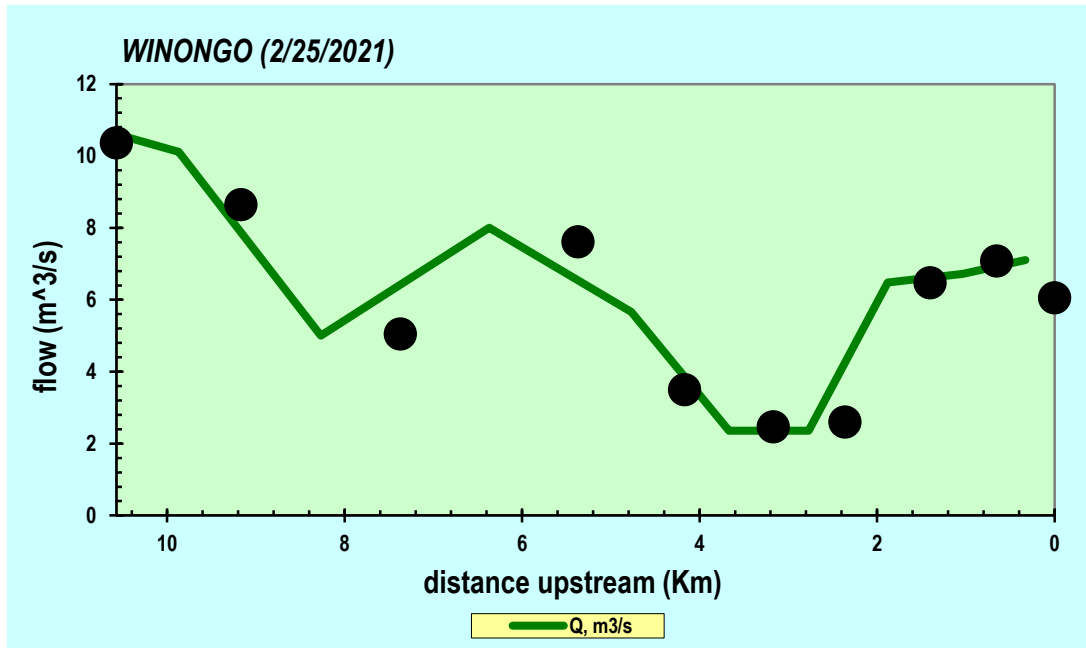
4.4. Pemodelan Kualitas Air dengan Software Qual2kw

Salah satu cara menyederhanakan kondisi riil sungai ialah melalui pemodelan. *Software* yang digunakan pada penelitian ini adalah Qual2kw dengan hasil akhir berupa grafik profil cemaran sungai yang tentunya cara ini memiliki kelebihan yakni mudah dan murah dibandingkan uji coba laboratorium (Kurniawan, 2010). Data yang akan di *input* kedalam *software* berupa data hidrolis, data kualitas air, data sumber pencemar per segmen, serta data pendukung lainnya yang dilanjutkan dengan kalibrasi hingga data model bisa mendekati data yang sebenarnya.

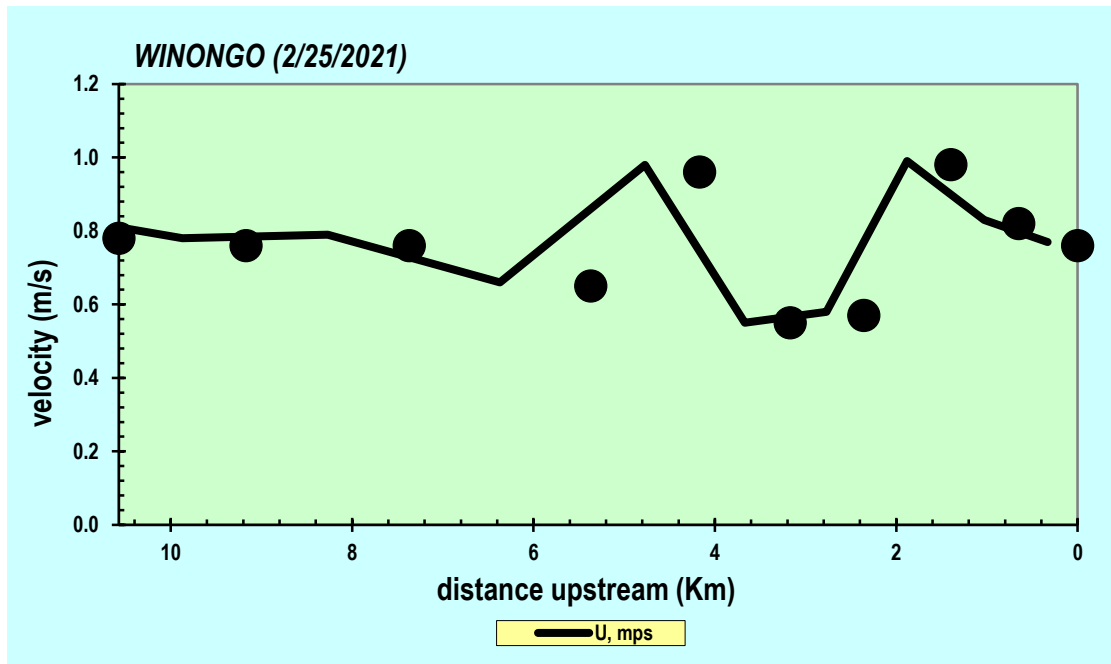
4.4.1. Kalibrasi dan Validasi Model

Setelah proses input data dilaksanakan maka langkah selanjutnya adalah kalibrasi data. Kalibrasi merupakan metode yang dilakukan untuk membuat model mendekati data yang sebenarnya dengan cara *trial and error* untuk menghindari ketidakstabilan dalam model (Kannel et al, 2007). Proses *trial and*

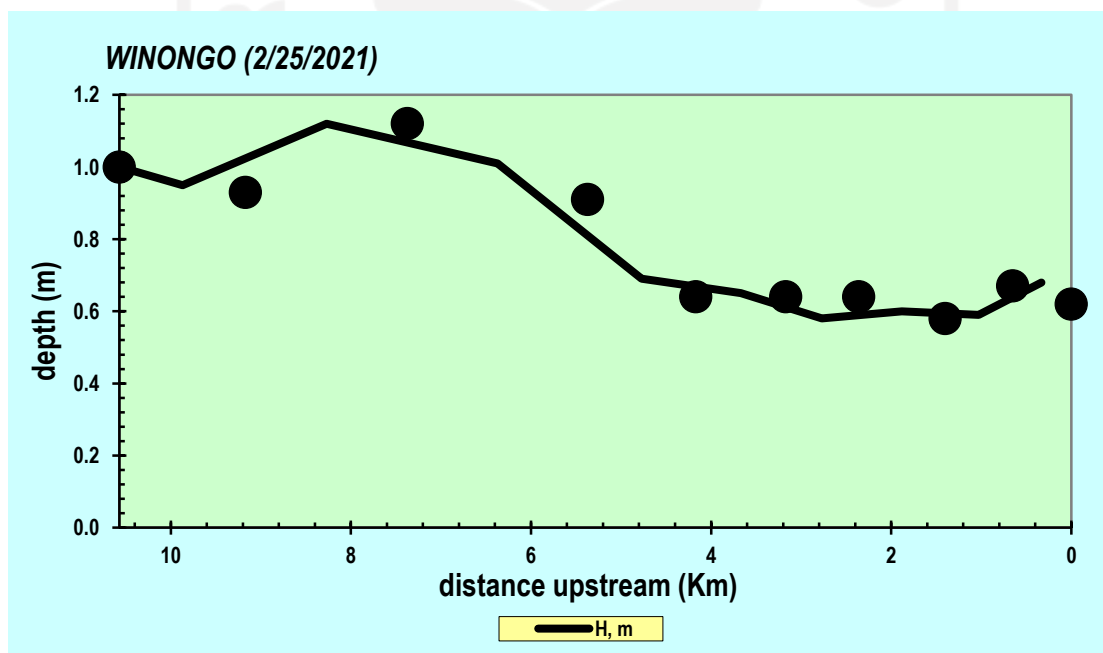
error untuk parameter TSS dan Fosfat dilakukan dengan cara merubah nilai konsentrasi pencemar serta debit pada *point source* dan *diffuse source*. Selain itu kalibrasi juga dapat dilakukan dengan cara *trial and error* pada lembar kerja *reach rates* (Irsanda, 2014). Hasil kalibrasi debit, kecepatan, dan kedalaman serta parameter inti yang telah dilakukan menggunakan metode *trial and error* dapat dilihat pada gambar 4.16 hingga 4.20 :



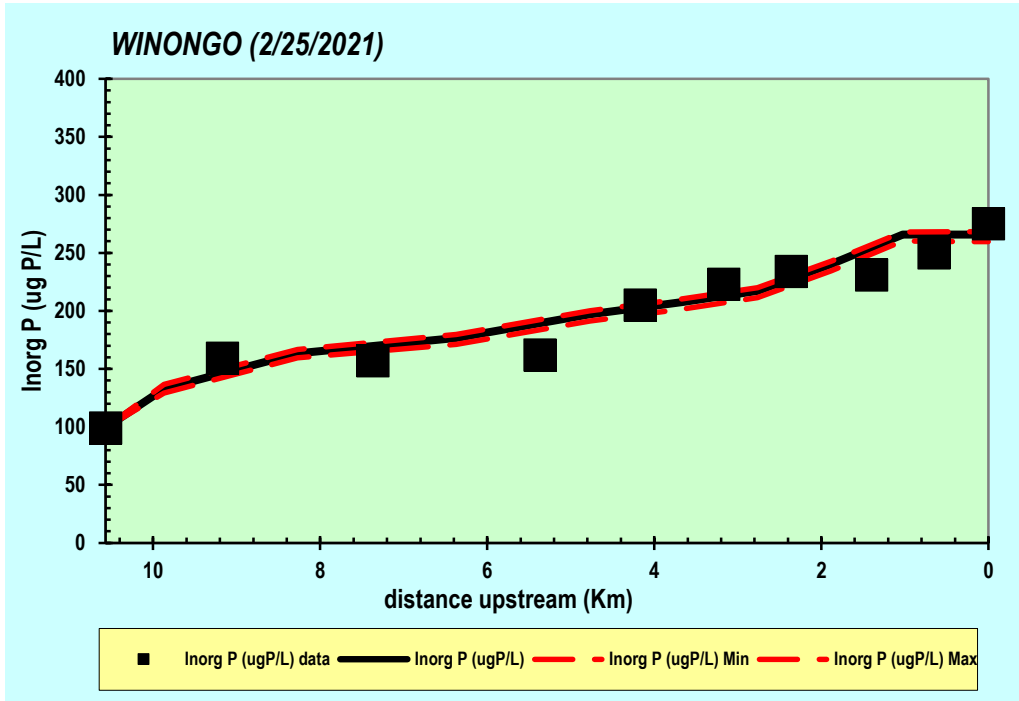
Gambar 4. 16. Grafik Model Debit Sungai Winongo



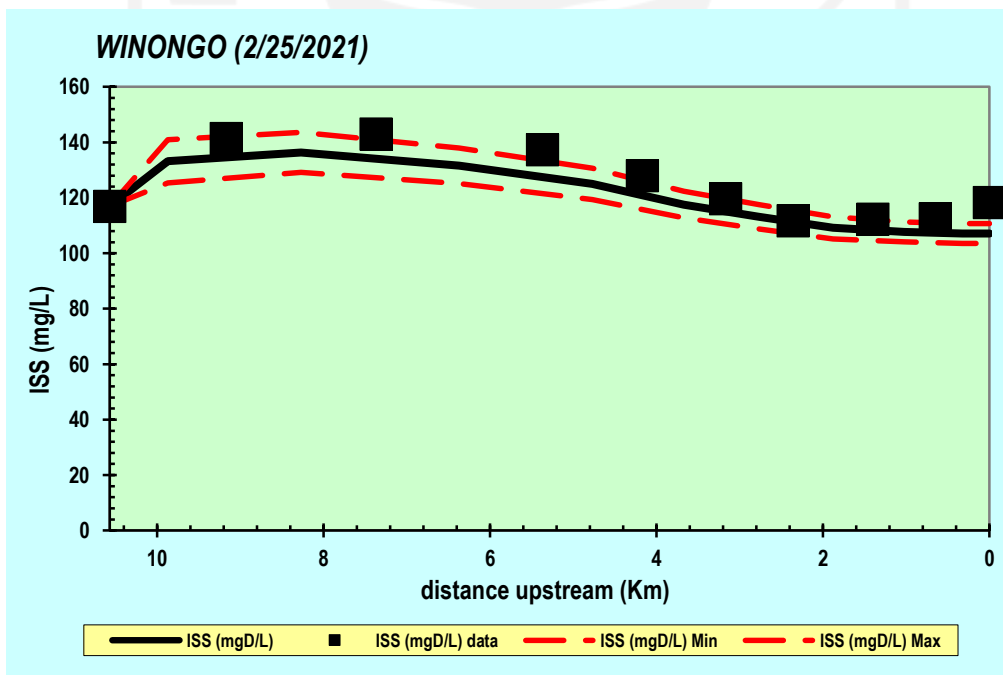
Gambar 4. 17. Grafik Model Kecepatan Sungai Winongo



Gambar 4. 18. Grafik Model Kedalaman Sungai Winongo



Gambar 4. 19. Grafik Model Fosfat Sungai Winongo



Gambar 4. 20. Grafik Model TSS Sungai Winongo

Setelah proses kalibrasi dilakukan maka dapat dilanjutkan ke tahap validasi. Validasi model dikerjakan menggunakan metode chi square yang bertujuan untuk melihat nilai error yang ada pada nilai model serta mengetahui keakuratan antara data model dengan data lapangan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung chi square adalah sebagai berikut :

$$x^2 = \sum_{r=0}^n \frac{(\text{nilai observasi} - \text{nilai model})^2}{\text{nilai model}}$$

Keterangan :

x^2 : Nilai uji statistik

n : jumlah sampel

r : sampel ke-n

Adapun hasil perhitungan model uji chi square untuk parameter debit, kecepatan, kedalaman, TSS dan Fosfat dapat dilihat pada tabel 4.8 hingga tabel 4.12 :

Tabel 4. 8. Perhitungan Nilai Chi Square pada Debit

Segmen	Eksisting	Model	(Eksisting - Model) ²	(Eksisting - Model) ² / Model
Hulu	10.37	10.60	0.053	0.005
Segmen 1	8.65	10.11	2.132	0.211
Segmen 2	5.05	5.00	0.002	0.000
Segmen 3	7.62	8.00	0.144	0.018
Segmen 4	6.36	5.66	0.490	0.087
Segmen 5	2.47	2.36	0.012	0.005
Segmen 6	2.6	2.36	0.058	0.024
Segmen 7	6.48	6.48	0.000	0.000
Segmen 8	7.08	6.72	0.130	0.01929
Segmen 9	6.06	7.10	1.082	0.152
X ² Value of Chi Square				0.52211

Tabel 4. 9. Perhitungan Nilai Chi Square pada Kecepatan

Segmen	Eksisting	Model	(Eksisting - Model) ²	(Eksisting - Model) ² / Model
Hulu	0.78	0.81	0.001	0.001
Segmen 1	0.76	0.78	0.000	0.001
Segmen 2	0.76	0.79	0.001	0.001
Segmen 3	0.65	0.66	0.000	0.000

Segmen	Eksisting	Model	(Eksisting - Model) ²	(Eksisting - Model) ² / Model
Segmen 4	0.96	0.98	0.000	0.000
Segmen 5	0.55	0.55	0.000	0.000
Segmen 6	0.57	0.58	0.000	0.000
Segmen 7	0.98	0.99	0.000	0.000
Segmen 8	0.82	0.83	0.000	0.00012
Segmen 9	0.76	0.77	0.000	0.000
Nilai x ² perhitungan				0.00385

Tabel 4. 10. Perhitungan Nilai Chi Square pada Kedalaman

Segmen	Eksisting	Model	(Eksisting - Model) ²	(Eksisting - Model) ² / Model
Hulu	1	1.00	0.000	0.000
Segmen 1	0.93	0.95	0.000	0.000
Segmen 2	1.12	1.12	0.000	0.000
Segmen 3	0.91	1.01	0.010	0.010
Segmen 4	0.64	0.69	0.002	0.004
Segmen 5	0.64	0.65	0.000	0.000
Segmen 6	0.64	0.58	0.004	0.006
Segmen 7	0.58	0.60	0.000	0.001
Segmen 8	0.67	0.59	0.006	0.01085
Segmen 9	0.62	0.68	0.004	0.005
X ² Value of Chi Square				0.03711

Tabel 4. 11. Perhitungan Model Uji Chi Square Parameter TSS

Segmen	Eksisting	Konsentrasi Model	(Eksisting - Model) ²	(Eksisting - Model) ² /Model
Headwater	116.9	116.90	0.000	0.000
Segmen 1	141.3	133.17	66.107	0.496
Segmen 2	143	136.37	43.905	0.322
Segmen 3	137.3	131.56	32.923	0.250
Segmen 4	128.00	125.00	9.001	0.072
Segmen 5	119.7	117.53	4.710	0.040
Segmen 6	111.7	113.08	1.906	0.017
Segmen 7	112.3	109.14	9.996	0.092
Segmen 8	112.4	107.68	22.302	0.20712
Segmen 9	118.3	107.12	125.067	1.168
Nilai x ² perhitungan				2.66383

Sumber : Hasil Analisa Data 2021

Tabel 4. 12. Perhitungan Model Uji Chi Square Parameter Fosfat

Segmen	Eksisting	Konsentrasi Model	(Eksisting - Model) ²	(Eksisting - Model) ² /Model
Headwater	0.099	0.099	0.00000	0.00000
Segmen 1	0.159	0.133	0.00068	0.00514
Segmen 2	0.157	0.163	0.00004	0.00026
Segmen 3	0.162	0.177	0.00021	0.00119
Segmen 4	0.205	0.197	0.00006	0.00032
Segmen 5	0.223	0.207	0.00024	0.00116
Segmen 6	0.234	0.217	0.00028	0.00130
Segmen 7	0.231	0.240	0.00009	0.00037
Segmen 8	0.250	0.266	0.00025	0.00094
Segmen 9	0.275	0.266	0.00008	0.00032
Nilai χ^2 perhitungan				0.01099

Sumber : Hasil Analisa Data 2021

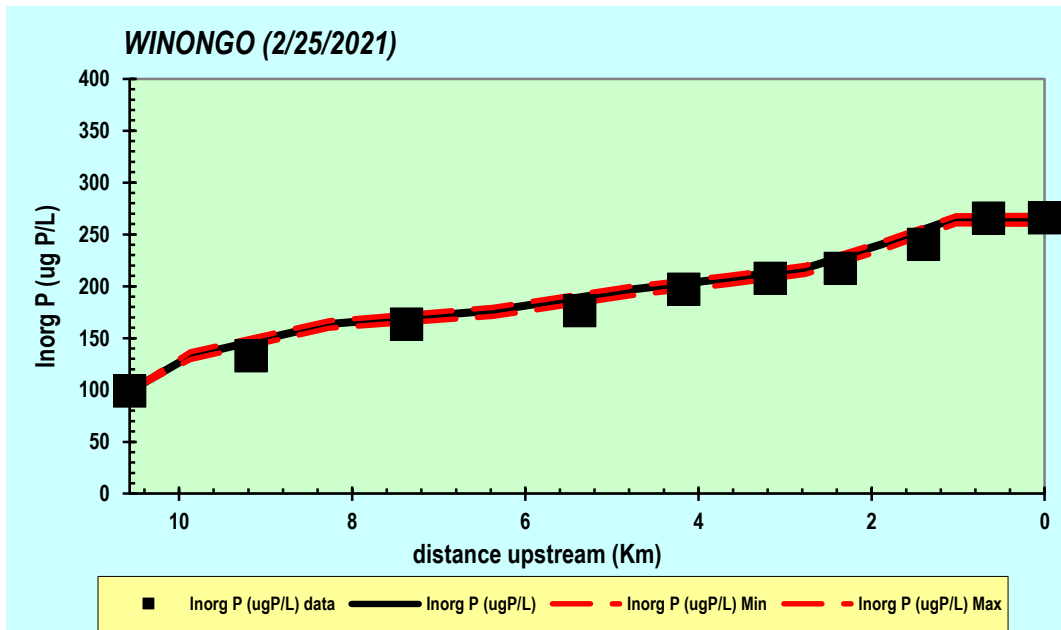
Menurut Lusiana dkk (2020) hasil uji chi square $\chi^2_{(\alpha; v)}$ pada $\alpha = 0,95$ dan $(v = n - 1)$ adalah $\chi^2 = 3,3251$. Dan dari hasil perhitungan parameter debit, kecepatan, kedalaman, TSS dan Fosfat masing masing memiliki nilai $\chi^2 < 3,3251$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai χ^2 perhitungan $<$ nilai χ^2 pada tabel. Maka dapat disimpulkan bahwa model diterima dan dapat digunakan untuk simulasi.

4.4.2. Simulasi Model

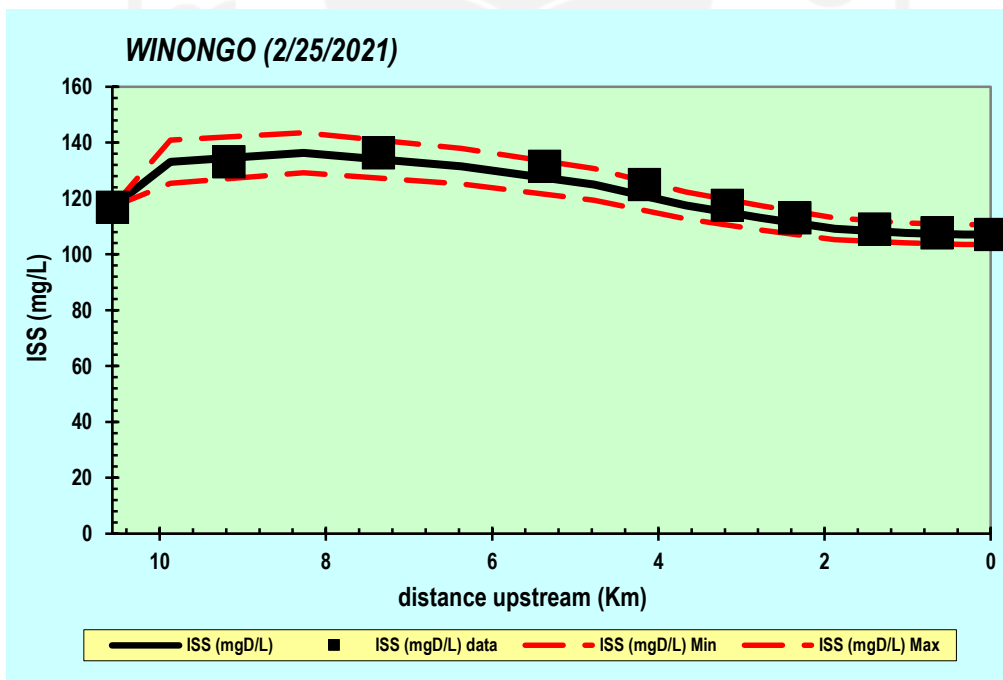
Simulasi model dilakukan setelah model lulus uji validasi sesuai kriteria yang ditetapkan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi sungai dengan sumber pencemar yang berbeda sehingga nilai daya tampung beban pencemar dapat ditetapkan melalui empat skenario sebagai berikut :

4.4.2.1. Skenario 1

Simulasi menggunakan skenario 1 dilakukan menggunakan data eksisting pada hulu sungai serta sumber pencemarnya sehingga model dapat diketahui setelah melewati proses *trial and error*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besaran pencemar yang masuk kedalam Sungai Winongo. Hasil simulasi pada skenario 1 dapat dilihat pada gambar 4.21 dan 4.22 :



Gambar 4. 21. Grafik Simulasi 1 Parameter Fosfat



Gambar 4. 22. Grafik Simulasi 1 Parameter TSS

Mengacu pada Gambar 4.21 yakni grafik hasil simulasi 1 untuk parameter fosfat terjadi kenaikan dari hulu ke hilir. Kenaikan konsentrasi fosfat disebabkan oleh masuknya beban pencemar yang diterima oleh badan sungai dan terjadi akumulasi dari segmen 1 ke segmen 9 (Sutamihardja dkk, 2018). Konsentrasi fosfat

yang tinggi pada badan air bisa disebabkan oleh kenaikan polifosfat berupa air buangan dari berbagai aktivitas penduduk seperti kegiatan mck serta sisa deterjen pada kegiatan pencucian yang masuk kedalam sungai (Supardiono, 2010). Selain itu konsentrasi fosfat juga dipengaruhi oleh difusi fosfor pada sedimen yang mengalami penguraian oleh bakteri sehingga membentuk senyawa fosfat terlarut melalui proses abiotik (Risamasu dan Prayitno, 2012).

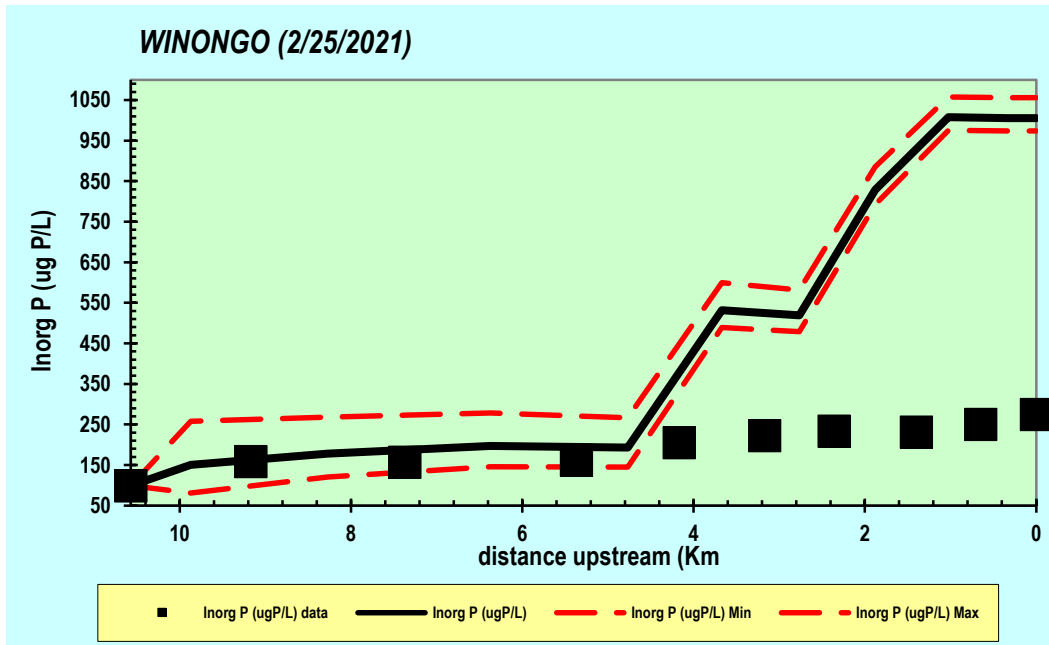
Hasil skenario 1 pada (Gambar 4.21) grafik parameter TSS menunjukkan adanya penurunan dengan selisih yang cukup kecil dari segmen 1 hingga segmen 9. Hal tersebut disebabkan tingginya debit pada headstream hingga segmen 3 yang menyebabkan sedimen pada dasar perairan akan teraduk sehingga padatan tersuspensi mengalami peningkatan (Andara, 2014). Selain itu, dimulai dari segmen 5 hingga segmen 9 diketahui terdapat banyaknya vegetasi di sepanjang sungai. Menurut Samirah dkk (2018) keberadaan vegetasi dapat menekan laju erosi dan memberikan perlindungan tanah dari proses penghancuran agregat oleh hujan sehingga secara tidak langsung vegetasi menghambat terjadinya erosi tanah yang menyebabkan kadar TSS pada perairan akan menurun.

4.4.2.2. Skenario 2

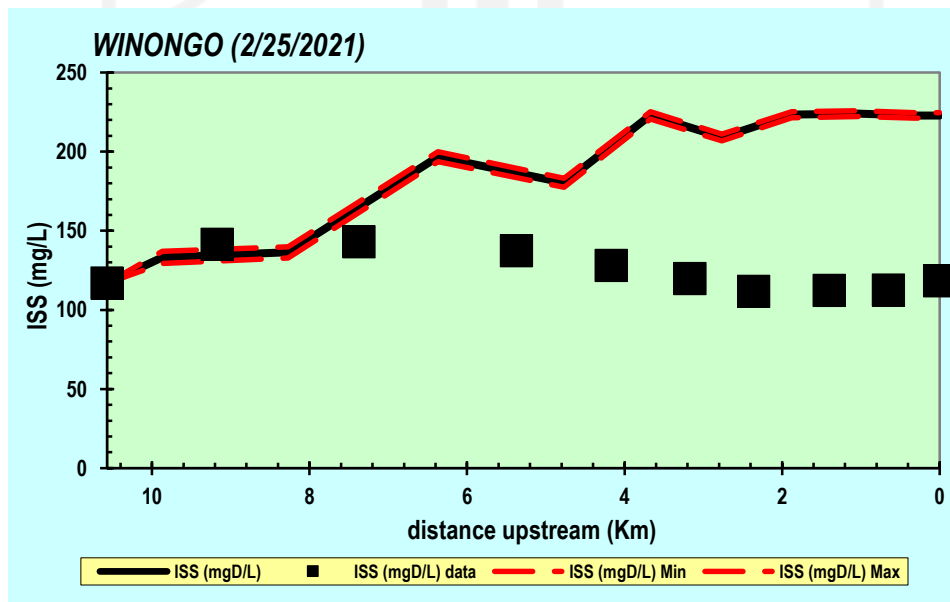
Simulasi pada skenario 2 dilakukan dengan menghitung estimasi beban pencemar tahun 2026 mulai dari limbah domestik, pertanian, dan industri sehingga dapat diketahui apakah tahun 2026 mendatang kualitas air Sungai Winongo melebihi baku mutu atau tidak. Proyeksi beban pencemar tahun 2026 dilakukan pada titik 6, 7, 8, 10, dan 11 sesuai dengan letak limbah yang masuk kedalam sungai. Adapun rincian proyeksi adalah sebagai berikut :

- a. Pada titik 7, 10, dan 11 terdapat limbah domestik yang berasal dari penduduk sekitar. Jumlah limbah domestik yang masuk kedalam sungai dapat diketahui melalui proyeksi jumlah penduduk per kelurahan di wilayah sumber pencemar tersebut berada dengan menggunakan metode aritmatika.
- b. Pada titik 6, terdapat limbah industri kayu skala kecil yang membuang limbahnya langsung kedalam sungai. Estimasi limbah industri dihitung berdasarkan jam operasional yang berlangsung yakni 8 jam/hari yang dikalikan dengan debit serta konsentrasi pencemar dalam satu tahun.

c. Pada titik 8 terdapat limbah pertanian yang dihitung berdasarkan jenis tanaman, faktor pencemar, serta musim tanam yang terjadi dalam satu tahun. Setelah data diproyeksi, data tersebut akan di *running* yang dapat dilihat pada gambar 4.23 dan 4.24 :



Gambar 4. 23. Grafik Simulasi 2 Parameter Fosfat



Gambar 4. 24. Grafik Simulasi 2 Parameter TSS

Berdasarkan pemodelan Simulasi 2 dengan menggunakan proyeksi beban pencemar pada tahun 2026 didapatkan hasil dari worksheet *source summary* pada tabel berikut :

Tabel 4. 13. Sumber Pencemar Tahun 2021 dan 2026 Parameter Fosfat

No	Segmen	Keterangan	Konsentrasi (mg/L) (2021)	Konsentrasi (mg/L) (2026)
1	Segmen 1	Anak Sungai	0.26	0.75
2	Segmen 2	Anak Sungai	0.31	0.31
3	Segmen 3	Limbah Industri Kayu	0.29	0.38
4	Segmen 4	Limbah Domestik	0.43	0.14
5	Segmen 5	Limbah pertanian	0.32	4.15
6	Segmen 6	Anak Sungai	0.35	0.35
7	Segmen 7	Limbah Domestik	0.45	3.91
8	Segmen 8	Limbah Domestik	0.47	2.47
9	Segmen 9	-	-	-

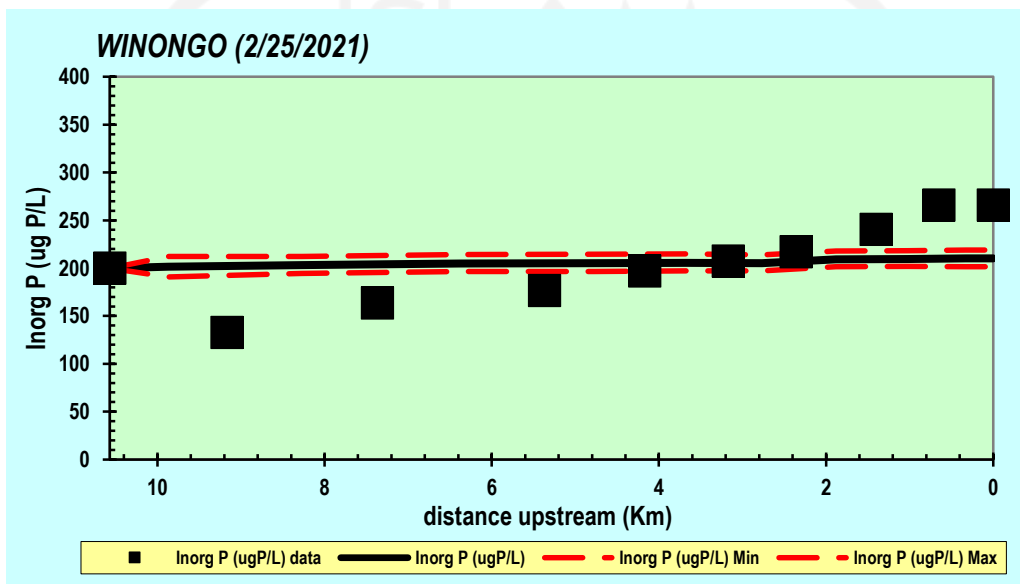
Tabel 4. 14. Sumber Pencemar Tahun 2021 dan 2026 Parameter TSS

No	Segmen	Keterangan	Konsentrasi (mg/L) (2021)	Konsentrasi (mg/L) (2026)
1	Segmen 1	Anak Sungai	243.94	243.94
2	Segmen 2	Anak Sungai	210.00	210.00
3	Segmen 3	Limbah Industri Kayu	123.00	937.80
4	Segmen 4	Limbah Domestik	81.00	55.11
5	Segmen 5	Limbah pertanian	79.38	475.45
6	Segmen 6	Anak Sungai	71.60	71.60
7	Segmen 7	Limbah Domestik	78.00	391.45
8	Segmen 8	Limbah Domestik	99.80	246.61
9	Segmen 9	-	-	-

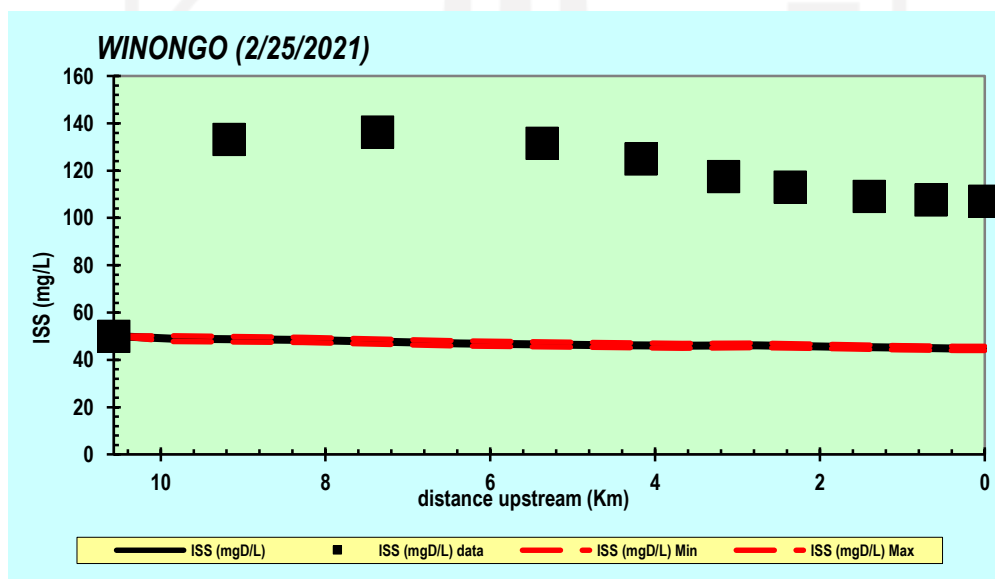
Berdasarkan hasil Gambar 4.23 dan 4.24 dengan prediksi penduduk yang meningkat pada tahun 2026 tentunya mempengaruhi masukan beban pencemar domestik, inudstri, dan pertanian dalam air sungai terutama pada bagian hilir sehingga kualitas air sungai tampak mengalami penurunan.

4.4.2.3. Skenario 3

Simulasi menggunakan skenario 3 dilakukan dengan menggunakan baku mutu kelas II Pergub DIY No 20 Tahun 2008 sebagai batas nilai di titik hulu dan sumber pencemar yang hanya berasal dari anak sungai. Simulasi ketiga dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui proses pemurnian diri sungai apabila hanya pencemar alami yang masuk. Hasil simulasi pada skenario 3 dapat dilihat pada gambar 4.25 dan 4.26 :



Gambar 4. 25. Grafik Simulasi 3 Parameter Fosfat

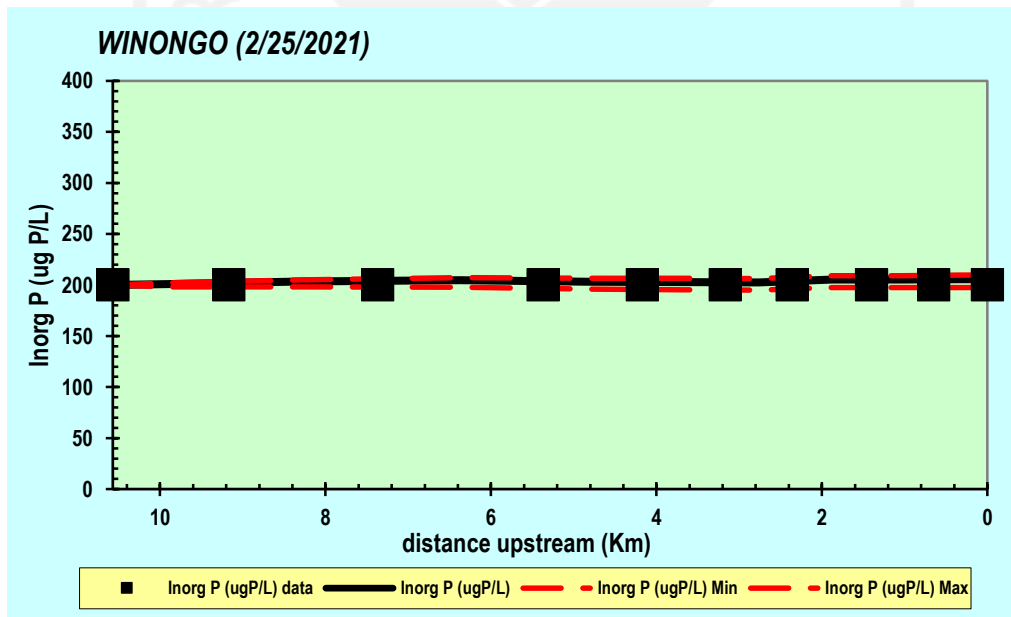


Gambar 4. 26. Grafik Simulasi 3 Parameter TSS

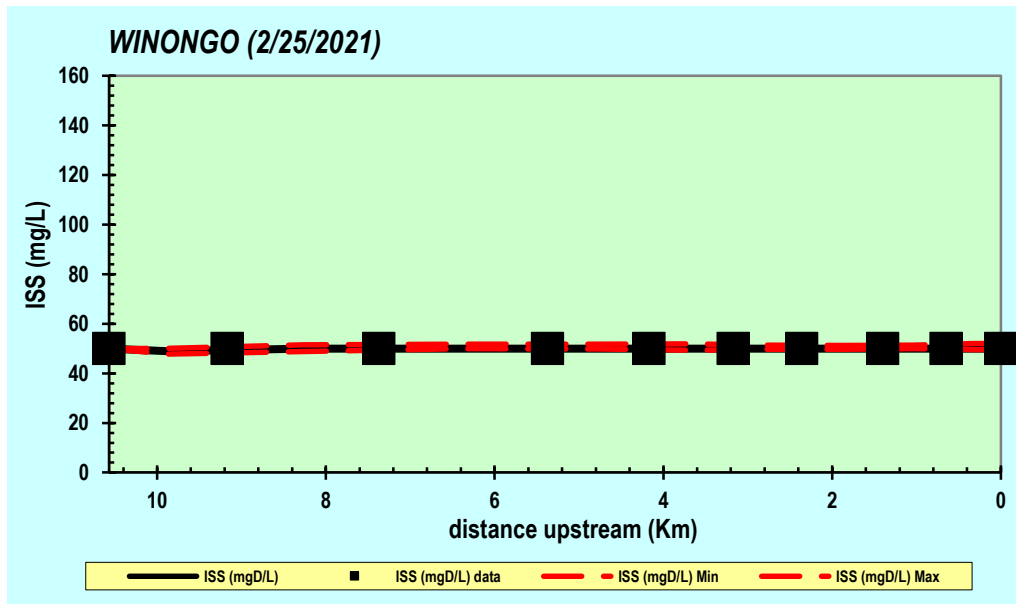
Berdasarkan Gambar 4.22 untuk parameter fosfat sebagian besar sudah memenuhi baku mutu kelas II Peraturan Gubernur DIY No 20 Tahun 2008. Hal ini disebabkan kondisi Sungai Winongo yang hanya terdapat beban pencemar alami yang berasal dari anak sungai sehingga proses *self purification* dapat berjalan dengan baik. Sedangkan parameter TSS pada Gambar 4.23 masih melebihi baku mutu yang disebabkan oleh faktor selain limbah seperti cuaca yang dapat meningkatkan konsentrasi TSS dalam air sungai.

4.4.2.4. Skenario 4

Simulasi menggunakan skenario 4 dilakukan dengan menggunakan baku mutu kelas II Pergub DIY No 20 Tahun 2008 sebagai batas nilai di titik hulu. Data sumber pencemar didapatkan dengan cara *trial and error* agar konsentrasi TSS dan Fosfat dari hulu hingga hilir tetap berada atau dibawah nilai maksimum yang bisa di toleransi oleh air sungai menurut baku mutu air kelas II. Hasil simulasi pada skenario 4 dapat dilihat pada gambar 4.27 dan 4.28 :



Gambar 4. 27. Grafik Simulasi 4 Parameter Fosfat



Gambar 4. 28. Grafik Simulasi 4 Parameter TSS

Berdasarkan hasil dari Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 untuk parameter Fosfat dan TSS dinilai tidak melampaui baku mutu kelas II dengan nilai 0,2 mg/L untuk parameter fosfat dan 50 mg/L untuk parameter TSS. Terjadi perbedaan yang sangat signifikan apabila dibandingkan dengan skenario 1 dimana skenario 1 merupakan gambaran kualitas air eksisting.

4.5. Analisis Daya Tampung Sungai Terhadap Beban Pencemar

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dalam menghitung beban cemaran digunakan hasil simulasi yang merepresentasikan kondisi awal dan kondisi maksimum sungai melalui *sheet source summary*. *Source summary* menampilkan debit dan konsentrasi pencemar tiap segmen yang nantinya digunakan pada perhitungan daya tampung.

4.5.1. Beban Pencemar

Perhitungan beban pencemar didapat dengan memperhatikan dua kondisi yakni ketika sungai dalam kondisi awal dengan beban pencemar alami (skenario 3) dan sungai dalam kondisi memiliki beban pencemar maksimum (skenario 4) yang di sesuaikan dengan baku mutu kelas dua dengan cara *trial and error*. Perhitungan beban pencemar menurut Irsanda (2014) didapatkan melalui persamaan :

$$BP = \text{Debit (L/det)} \times \text{Konsentrasi (mg/L)}$$

$$= (\text{beban pencemar (mg/L)} \times 86400) : 1000000$$

Hasil perhitungan beban pencemar dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 15. Beban Cemar Maksimum (Skenario 4)

No	Segmen	Distance (km)		TSS (kg/day)	Fosfat (kg/day)
1	Segmen 1	10.57	9.17	4294.83	17.3
2	Segmen 2	9.17	7.37	8640.00	13.1
3	Segmen 3	7.37	5.37	6912.00	13.0
4	Segmen 4	5.37	4.17	2381.40	8.5
5	Segmen 5	4.17	3.17	7705.80	15.8
6	Segmen 6	3.17	2.36	4127.76	13.0
7	Segmen 7	2.36	1.4	3175.20	11.3
8	Segmen 8	1.4	0.65	4127.76	13.0
9	Segmen 9	0.65	0	0.00	0.0

Hasil Analisa Data, 2021

Tabel 4. 16. Beban Cemar Kondisi Awal (Skenario 3)

No	Segmen	Distance (km)		TSS (kg/day)	Fosfat (kg/day)
1	Segmen 1	10.57	9.17	4614.09	49.9
2	Segmen 2	9.17	7.37	3431.76	43.3
3	Segmen 3	7.37	5.37	0.00	0.0
4	Segmen 4	5.37	4.17	0.00	0.0
5	Segmen 5	4.17	3.17	0.00	0.0
6	Segmen 6	3.17	2.36	7130.44	25.9
7	Segmen 7	2.36	1.4	0.00	0.0
8	Segmen 8	1.4	0.65	0.00	0.0
9	Segmen 9	0.65	0	0.00	0.0

Hasil Analisa Data, 2021

4.5.2. Perhitungan Daya Tampung Beban Cemar

Daya tampung dihitung berdasarkan selisih hasil dari skenario dengan beban pencemar maksimum (skenario 4) dan skenario pada kondisi awal (skenario 3).

Perhitungan daya tampung di dapatkan melalui persamaan :

$$\text{Daya tampung} = \text{Beban Pencemar Penuh} - \text{Beban Kondisi Awal}$$

Hasil perhitungan daya tampung dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 17. Daya Tampung Beban Cemaran

No	Segmen	Dsitance (km)	TSS (kg/day)	Fosfat (kg/day)
1	Segmen 1	10.57	-319.3	-32.7
2	Segmen 2	9.17	5208.2	-30.2
3	Segmen 3	7.37	6912.0	13.0
4	Segmen 4	5.37	2381.4	8.5
5	Segmen 5	4.17	7705.8	15.8
6	Segmen 6	3.17	-3002.7	-13.0
7	Segmen 7	2.36	3175.2	11.3
8	Segmen 8	1.4	4127.8	13.0
9	Segmen 9	0.65	0.0	0.0

Hasil Analisa Data, 2021

Berdasarkan hasil perhitungan daya tampung pada tabel 4.12 dapat dilihat untuk parameter TSS pada segmen 1, dan segmen 6 telah melebihi daya tampung. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju erosi akibat hujan. Selain itu sebagian besar sungai yang menjadi lokasi titik pengambilan sampel air sudah bertalud namun hanya satu sisi saja, tentunya peluang terjadinya erosi tanah cukup besar di sisi bagian sungai yang tidak bertalud. Sedangkan hasil perhitungan daya tampung parameter fosfat tertinggi berada pada segmen 1, segmen 2, dan segmen 6 dimana lokasi di dominasi oleh pemukiman padat penduduk dan terdapat anak sungai yang dapat memasukkan limbah dalam jumlah yang cukup besar.

4.6. Presentase Penurunan Beban Pencemar

Perhitungan penurunan beban pencemar untuk parameter TSS dan Fosfat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban pencemar yang harus dikurangi agar kualitas air sungai tetap memenuhi baku mutu kelas II Pergub DIY No 20 Tahun 2008 (Irsanda, 2014). Penurunan beban pencemar dilakukan dengan cara membandingkan hasil data eksisting (skenario 1) dengan kondisi yang sesuai dengan baku mutu (skenario 4). Hasil perhitungan penurunan beban pencemar dapat dilihat pada tabel 4.18 dan 4.19

Tabel 4. 18. Penurunan Konsentrasi Beban Pencemar

Segmen	Jarak	TSS (kg/hari)	Fosfat (kg/hari)
Segmen 1	10.57	24420.7	42.9
Segmen 2	9.17	5512.3	54.0
Segmen 3	7.37	4777.9	24.6
Segmen 4	5.37	8116.2	47.0
Segmen 5	4.17	10127.2	31.9
Segmen 6	3.17	6079.5	32.4
Segmen 7	2.36	9292.3	73.8
Segmen 8	1.4	13117.7	108.9
Segmen 9	0.65	0.0	0.0

Tabel 4. 19. Presentase Penurunan Beban Pencemar TSS dan Fosfat

Segmen	Jarak	TSS (kg/hari)	Fosfat (kg/hari)
Segmen 1	10.57	85.04%	71.30%
Segmen 2	9.17	38.95%	80.65%
Segmen 3	7.37	40.87%	65.52%
Segmen 4	5.37	77.31%	84.67%
Segmen 5	4.17	56.79%	66.85%
Segmen 6	3.17	59.56%	71.43%
Segmen 7	2.36	74.53%	86.68%
Segmen 8	1.4	76.06%	89.36%
Segmen 9	0.65	0.00%	0.00%

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa saat ini Sungai Winongo telah tercemar sehingga perlu upaya pengelolaan dan pencegahan agar kualitas air di tahun mendatang menjadi lebih baik.

4.7. Alternatif Pengelolaan

Model hasil dari penelitian ini diketahui diterima dan dapat berguna dalam menghitung daya tampung beban cemaran pada sungai yang akan diteliti, namun model ini dikembangkan untuk kajian kualitas air sungai di Amerika dan memiliki kelengkapan data yang berbeda dengan sungai di Indonesia dikarenakan data memiliki seri real time (Abdi, 2011). Berdasarkan perhitungan daya tampung serta beban pencemar yang dilakukan terhadap Sungai Winongo dapat disusun beberapa alternatif pengelolaan

lingkungan dalam upaya melestarikan sumber air secara berkelanjutan. Alternatif pengelolaan lingkungan yang dapat diterapkan antara lain :

1. Upaya himbauan kepada masyarakat terkait pengelolaan limbah dan peningkatan kesadaran akan pentingnya mengelola lingkungan.
2. Pemantauan kualitas air sungai secara rutin dan berkala.
3. Pemerintah secara tegas memperketat peraturan terkait pembuangan limbah domestik maupun industri.
4. Merencanakan strategi penurunan limbah domestik seperti :
 - a. Pengembangan jaringan air limbah komunal
 - b. Pembuatan SPAL seperti *septic tank* dan sumur resapan guna memperbaiki sanitasi pemukiman
 - c. Pengembangan sistem pengumpulan dan pengolahan lumpur tinja untuk membantu masyarakat dalam mengelola *septic tank* yang mereka gunakan
 - d. Pengembangan sistem pengolahan air limbah industri maupun pertanian dimana limbah yang akan dibuang harus melewati proses *treatment* terlebih dahulu (Widodo et al, 2013).
5. Penanaman vegetasi riparian di daerah Sungai Winongo. Menurut Kudubun, dkk (2020) menyatakan bahwa vegetasi riparian dapat menyerap pencemar menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya yang tentunya hal ini dapat meningkatkan kualitas air sungai. Vegetasi riparian berperan langsung dalam proses purifikasi alami yang dilakukan oleh sungai,
6. Kennel et al (2007) mengemukakan beberapa strategi pengelolaan kualitas air di Sungai Bagmati, Nepal dengan cara oksigenasi. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pembuatan bangunan terjunan dan bendung dapat berfungsi sebagai sumber suplai oksigen tambahan bagi air.
7. Peningkatan kadar oksigen terlarut dapat dilakukan dengan cara debit suplesi yang dapat mengurangi polutan dalam air sungai dengan dikarenakan terjadinya pengenceran. Peningkatan kadar DO dapat membantu sungai dalam proses *self purification* (Rezagama, 2019).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kualitas air Sungai Winongo sesuai dengan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 Tahun 2008 pada masing – masing segmen diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Parameter TSS dari titik 1 hingga titik 12 dinilai telah melebihi baku mutu air kelas II yakni 50 mg/L dengan konsentrasi secara berturut – turut yaitu 141,3 mg/L, 143 mg/L, 137.3 mg/L, 128.0 mg/L, 119.7 mg/L, 111.7 mg/L, 112.3 mg/L, 112.4 mg/L, 118.3 mg/L.
 - b. Parameter Fosfat dari titik 1, titik 3, dan titik 5 dinilai tidak melebihi baku mutu air kelas satu yakni sebesar 0,2 mg/L dengan konsentrasi secara berturut – turut yaitu 0,159 mg/L, 0,157 mg/L, dan 0,162 mg/L. Sedangkan mulai dari titik 6 hingga titik 12 konsentrasi fosfat melebihi baku mutu dengan konsentrasi secara berturut – turut sebesar 0.205 mg/L, 0.223 mg/L, 0.234 mg/L, 0.231 mg/L, 0.250 mg/L, 0.275 mg/L.
2. Daya tampung beban cemaran untuk parameter TSS dan Fosfat Sungai Winongo sebagai berikut :
 - a. Parameter TSS pada segmen 1 dan segmen 6 telah melampaui batas maksimum daya tampung secara berturut – turut sebesar -319.3 kg/hari; -dan -3002.7 kg/hari.
 - b. Parameter fosfat (PO_4) pada segmen 1, segmen 2, dan segmen 6 telah melampaui batas maksimum daya tampung secara berturut – turut sebesar - 32,7 kg/hari; -30,2 kg/hari; dan -13,0 kg/hari.
3. Persentase penurunan beban pencemar Sungai Winongo yang mencapai angka lebih dari 50% dari titik 1 hingga titik 11 air Sungai Winongo saat ini dikategorikan telah tercemar sehingga perlu diadakannya pengelolaan untuk menurunkan beban pencemar tersebut.
4. Alternatif pengelolaan kualitas air dalam menurunkan beban pencemar :
 - a. Himbauan kepada masyarakat terkait pengelolaan limbah dan peningkatan kesadaran akan pentingnya mengelola lingkungan.

- b. Pemantauan kualitas air sungai secara rutin dan berkala.
- c. Pemerintah secara tegas memperketat peraturan terkait pembuangan limbah domestik maupun industri.
- d. Peningkatan kerja IPAL dalam upaya penurunan kuantitas limbah domestik pada badan air
- e. Penanaman vegetasi di sekitar sungai untuk menurunkan beban pencemar
- f. Pembuatan terjunan dan penambahan debit suplesi untuk memaksimalkan kadar oksigen terlarut dalam air agar proses permurnian diri berjalan dengan baik.

1.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah :

1. Perlu adanya pengkajian dan pendataan ulang terkait kualitas air dan kondisi fisik Sungai Winongo.
2. Perlu menambahkan peta tata guna lahan sepanjang area Sungai Winongo agar dapat mengetahui kegiatan yang berdampak langsung terhadap sungai tersebut.
3. Perlu diadakan kegiatan evaluasi secara rutin guna mengetahui perubahan kualitas air Sungai Winongo yang berkaitan langsung dengan aktivitas masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningsih, A., S. B. Sasongko., Sudarno, 2012. *Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air Sungai Blukar Kabupaten Kendal*. Jurnal Presipitasi 9(2), ISSN 1907- 187X
- Allam, A., Tawfik, A., Yoshimura, C., Fleifle, A. 2016. *Simulation-based Optimization Framework for Reuse of Agricultural Drainage Water in Irrigation*. Journal of Environmental Management 172.
- Andara, D. R., Haeruddin, & Suryanto, A. 2014. *Kandungan Total Padatan Tersuspensi, Biochemical Oxygen Demand dan Chemical Oxygen Demand Serta Indeks Pencemaran Sungai Klampisan di Kawasan Industri Candi, Semarang*. Diponegoro Journal of Maquares, 3(3), 177 – 187.
- Asare, B.D., Nyarko, K. B., Essandoh, H.M.K., Awuah, E. 2020. *Domestic greywater flows and pollutant loads: A neighbourhood study within a university campus in Ghana*. Scientific African 9.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press : Yogyakarta.
- Atiam. 2010. *Kajian Ppola Aliran dan Penyebaran Polutan di Sungai*. Tesis, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, UGM : Yogyakarta
- Badan Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta. 2019. Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Winongo. Yogyakarta : Balai Lingkungan Hidup Provinsi DIY.
- Baherem. 2014. *Strategi Pengelolaan Sungai Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemaran dan Kapasitas Asimilasi, Studi Kasus : Sungai Cibanten Provinsi Banten*. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor : Bogor.
- Baven, K. 2009. *Environmental Modelling : an Uncertain Future*. Taylor & Francis. London, UK.

- Bilotta, G.S., Brazier, R.E. 2008. *Understanding the Influence of Suspended Solid on Water Quality and Aquatic Biota*. Water Research. 42. 2849-2861.
- Bowden, C., Konovalske, M., Allen, J., Curran, K., Touslee, S. 2015. *Water Quality Assessment: The Effect of Land Use and Land Cover in Urban and Agricultural Land*. Kansas State University. Manhattan.
- Chapra, S.C. and G.J. Pelletier. 2008. *QUAL2K: A modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Beta Version): Documentation and Theory*. Civil and Environmental Engineering Dept. Tufts University.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Kanisius.
- Gandaseca, S., Rosli, N., Ngayop, J., Arianto, C. I. 2011. *Status of Water Quality Based on the Physico-Chemical Assessment on River Water at Wildlife Sanctuary Sibuti Mangrove Forest, Miri Sarawak*. American Journal of Environmental Sciences. Vol. 7 No. 3, pp: 269-27.
- Green, Jenny. 2018. *How do Phosphates Affect Water Quality*. Diakses tanggal 18 Agustus 2018 dari <https://sciencing.com/phosphates-affect-water-quality4565075.html>.
- Hendrasarie, N., dan I. D. A Swandika. 2020. *Resistance of Loading Loads in Surabaya River and its Branch With Qual2KW Model*. Journal of Physics : Conference Series. 1569 042096. Department of Environmental Engineering, UPN Veteran Jawa Timur.
- Irsanda, P. G. R, dkk. 2014. *Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo Dengan Metode Qual2KW*. Jurnal Teknik POMITS Vol 3(1) : 2337 – 3539.
- Iskandar. 2007. *Panduan Pelatihan Pengelolaan Kualitas Air*. Jakarta : Puslitbang Sumber daya Air Kementerian Pekerjaan Umum.

- Jiyah., Sudarsono, B., Sukmono, A. 2017. *Studi Didtribusi Total Suspended Solid (TSS) di Perairan Pantai Kabupaten Demak Menggunakan Citra Landsat*. Jurnal Geodesi UNDIP. Semarang.
- Kamal, N.A., Muhammad, N.S., Abdullah, J. 2020. *Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS*. Environmental Pollution 259.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R & Pelletier, G.J. 2007. *Application of automated QUAL2Kw for water quality modelling and management in the Bagmati River, Nepal*. Ecological Modelling 202(3) : 503 – 5017.
- Kudubun, R., Kisworo., Rahardjo, D. 2020. *Pengaruh Tata Guna Lahan, Tipe Vegetasi, dan Sumber Pencemar Terhadap Kualitas Air Sungai Winongo DI Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar. ISBN: 978-602-72245-5-1.
- Kumar, M., Puri, A. 2012. *A Review of Permissible Limits of Drinking Water*. Indian J Occup Environ Med. Vol. 16 No. 1, pp: 40-44.
- Kurniawan, dan Nur Muhammad Azizi. 2010. *Pemetaan kualitas Air Sepanjang Sungai Code Meliputi Parameter TSS, pH, dan COD*. Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia.
- Kusuma, Febriana Ika. 2014. *Karakteristik Kualitas Air Sungai Winongo DAS Opak Setelah Melewati Kawasan Perkotaan Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2012 – 2014*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Laniak , G.F., Olchin, G., Goodal, J., Volnov, A., Hill, M., Glynn, P., Whelan, G., Geller, G., Quinn, N., Blind, M., Peckham, S., Reaney, S., Gaber, N., Kennedey, R., Hughes, A. 2013. *Integrated Environmental Modeling: A vision and Roadmap for the Future*. Environmental Modelling & Software, 39, pp: 3-23.
- Leatemia, M., Silahooy, C.H., Jacob, A. 2013. *Analisis Dampak Penimbunan Limbah Ela Sagu Terhadap Kualitas air Sungai di Sekitar Lokasi Pengolahan Sagu di Desa Waisamu Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat*, Jurnal Budidaya Perairan, vol 9 no 2, 86-91.

- Lusiana, N., Sulianto, A. A., Devianto, L. A., Sabina, S. 2020. *Penentuan Indeks Pencemaran Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Software Qual2KW (Studi Kasus Sungai Brantas Kota Malang)*. Jurnal Wilayah dan Lingkungan Vol 8 No 2. P-ISSN: 2338-1604.
- Lin, C., Huang, T., Shaw, D. 2009. *Applying water quality modeling to regulating land development in a watershed (a case study on the Kao-Ping Watershed, Taiwan)*. Water Resource Manage 24.
- Mustika, A., Sofyan, A. 2016. *Kajian beban pencemaran harian di Sungai Citarum menggunakan pemodelan : Qual2kw studi kasus Sungai Citarum Segmen Kota Karawang*. Jurnal Teknik Lingkungan ITB Volume 22 Nomor 2.
- Mustofa, A. 2015. *Kandungan Nitrat dan Fosfat Sebagai Faktor Tingkat Kesuburan Perairan Pantai*. Jurnal Dispotek. 6(1), 13-19.
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 tentang Pedoman Penerapan Daya Tampung Beban Pencemar pada Sumber Air. Kementrian Lingkungan Hidup : Jakarta
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Purwanto., Pujiwinarko, A. 2021. *Pemodelan Lingkungan : Teori dan Aplikasi*. Semarang : Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Risamasu, F. J., Prayitno, H. B. 2012. *Kajian Zat Hara Fosfat, Nitrit, Nitrat, dan Silikat di Perairan Kepulauan Matasiri, kalimantan Selatan*. Indonesian Journal of marine Sciences. Vol 16 No 3.
- Rusnugroho, A., Masduqi, A. 2012. *Aplikasi Qual2KW sebagai Alat Bantu Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Kali Madiun*. Scientific Conference of Environmental Technology IX.
- Said, Nursaidaman. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Jakarta : Erlangga.

- Saily, R., Fauzi, M., Suprayogi, I. 2019. *Pendekatan Model WASP pada Pengendalian Pencemaran Sungai dengan Parameter Uji COD*. Indonesian Journal Of Construction Engineering and Sustainable Development. Vol 02. No 01.
- Samirah, S., Prititania, F.S., dan Karyati. 2018. *Pengaruh Keragaman Vegetasi terhadap laju Erosi*. Jurnal AGRIFOR. Vol 17 No 2. P-ISSN: 1412-6885.
- Sari, Dwi Sagita. 2014. *Daya Tampung Beban Pencemaran dan Upaya Pengelolaan Sungai Winongo di Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis. Pascasarjana Ilmu Lingkungan. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Sastrawijaya, A. T. 2009. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta : Rineke Cipta.
- Singh PK., Shriastava P. 2015. *Analysis of Water Quality of River Narmada*. International Journal of Current Research Vol. 7 No 12 pp: 24073-24076.
- SNI 6989.57-2008 – Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan
- SNI 06-6989.03-2004 – Cara Uji Total Suspended Solid (TSS) Secara Gravimetri
- SNI 06-6989.31-2005 – Cara Uji Kadar Fosfat dengan Spektrofotometer secara Asam Askorbat.
- Staddal I., Haridjaja O., Hidayat Y. 2016. *Analisis Debit Aliran Sungai DAS Bila Sulawesi Selatan*. Jurnal Sumber Daya Air Vol. 12 No 2, 117 – 130.
- Sulistyonorini, I.S., Edwin, M., Arung, A.S. 2016. *Analisis Kualitas Air Pada Sumber Mata air di Kecamatan Karangan dan Kaliorang Kabupaten Kutai Timur*. Jurnal Hutan Tropis. Vol. 4 No. 1
- Supardiono. 2010. *Pengaruh Limbah Domestik dan Pertanian Terhadap Kualitas Air Waduk Batujai Kabupaten Lombok Tengah Nusa Tenggara Barat*. Tesis, Pascasarjana Ilmu Lingkungan. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Sutamiharja, RTM., Azizah, M., Hardini, Y. 2018. *Studi Dinamika Senyawa Fosfat Dalam Kualitas Air Sungai Ciliwung Hulu Kota Bogor*. Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa. Vol. 8 No. 1.

- Sutari, CAT. 2015. *Kajian Morfometri Sungai Terhadap Proses Pulih Diri (Self Purification) Di Penggal Sungai Bedog, Bantul, DIY*. Skripsi. UGM : Yogyakarta
- Sutrisno AJ., Kaswanto RL., Arifi HS. 2018. *Spatial and Temporal Distribution of Nitrate Concentration in Ciliwung River, Bogor City*. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. 179.
- Syafi'i M., Masduqi, A. 2011. *Aplikasi Model Simulasi Komputer QUAL2Kw Pada Studi Pemodelan Kualitas Air Kali Surabaya*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Widodo, B., Kasam., Ribut, L., Ike, A. 2013. *Strategi Penurunan Pencemaran Limbah Domestik di Sungai Code DIY*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan. Vol 5 No 1. ISSN: 2085-1227.
- Yen, Haw. 2015. *Application of Large-Scale, Multi-Resolution Watershed Modeling Framework Using the Hydrologic and Water Quality System (HAWQS)*. Journal MDPI Vol. 8 No. 4. Hal. 164.
- Yogafanny, E. 2015. *Pengaruh Aktivitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan Vol 7 Nomor 1. ISSN 2085-1227.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Peraturan Gubernur DIY No 20 Tahun 2008

LAMPIRAN

PERATURAN GUBERNUR

DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

NOMOR 20 TAHUN 2008 TANGGAL

14 AGUSTUS 2008

BAKU MUTU AIR DI PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Parameter Baku Mutu Air DIY	Satuan	Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV	Keterangan
		KANDUNGAN				
FISIKA						
Temperatur	°C	±3°C terhadap suhu udara	±3°C terhadap suhu udara	±3°C terhadap suhu udara	±3°C terhadap suhu udara	Deviasi temperatur dari keadaan alamiah
Bau		tidak berbau	(x)	(x)	(x)	
Kekeruhan	NTU	5	(x)	(x)	(x)	
Warna	TCU	50	100	(x)	(x)	
Residu Terlarut (TDS)	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi (TSS)	mg/L	0	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/L
KIMIA						
pH		6-8,5	6-8,5	6-9	5-9	
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	5	4	0	Angka batas minimum
Fosfat	mg/L	0,2	0,2	1	5	
Nitrat	mg/L	10	10	20	20	
Amoniak (NH ₃)	mg/L	0,5	(x)	(x)	(x)	Bagi perikanan kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka < 0,02 mg/L sebagai NH ₃
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	

Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(x)	(x)	(x)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Krom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	Bagi pengolahan air minum secara konvensional Cu \leq 1 mg/L
Besi	mg/L	0,3	(x)	(x)	(x)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional Fe \leq 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,3	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional Pb \leq 0,1 mg/L
Mangan	mg/L	0,1	(x)	(x)	(x)	
Raksa (Hg)	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng (Zn)	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional Zn \leq 5 mg/l
Klorida (Cl)	mg/L	600	(x)	(x)	(x)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(x)	
Flourida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(x)	
Nitrit	mg/L	0,06	0,06	0,06	(x)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional NO ₂ -N \leq 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(x)	(x)	(x)	
Klorin (Cl ₂)	mg/L	0,03	0,03	0,03	(x)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Sulfida	mg/L	0,002	0,002	0,002	(x)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional H ₂ S-N \leq 1 mg/L
SAR (Sodium)	mg/L				10-18	Maksimal 10

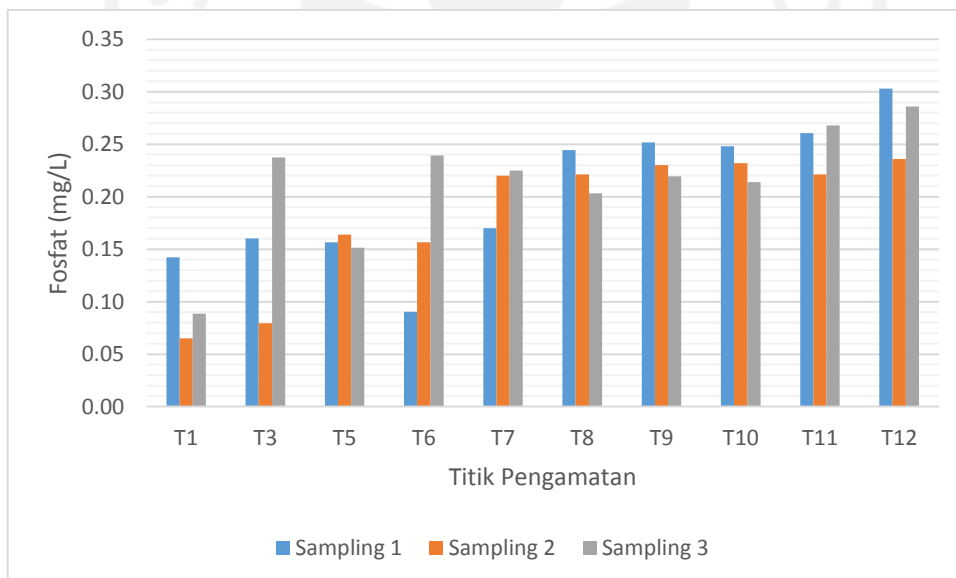
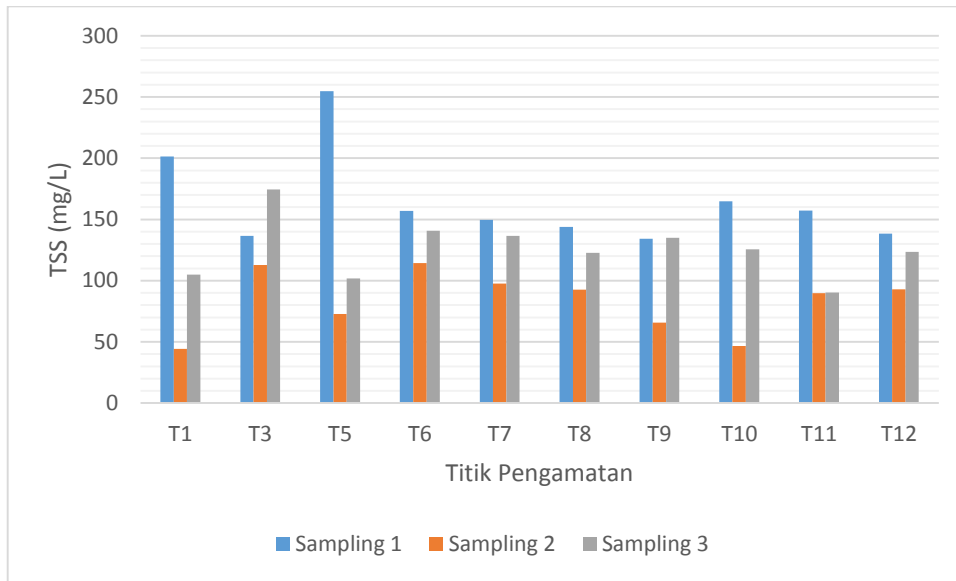
Adsorption Ratio*)						untuk tanaman peka, maksimal 18 untuk tanaman kurang peka
MIKROBIOLOGI						
Fecal coliform	MPN/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional fecal coliform ≤ 2000 MPN/100 ml
Total coliform	MPN/100 ml	1000	5000	10000	10000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional total coliform ≤ 10000 MPN/100 ml
Total coliform (untuk pemandian umum)	MPN/100 ml		200			
Jumlah kuman kolam renang	koloni/ml		200			
RADIOAKTIVITAS						
Gross-Alfa	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross-Beta	Bq/L	1	1	1	1	
Gross-Gama		1	1	1	1	
SENYAWA ORGANIK & PEPTISIDA						

Minyak/lemak	ug/L	1000	1000	1000	(x)	
Minyak bumi	ug/L	nihil	(x)	(x)	(x)	
Deterjen	ug/L	200	200	200	(x)	
Fenol	ug/L	1	1	1	(x)	
BHC	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Aldrin/Dieldrin	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Chlordane	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
DDT	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Heptachlor dan	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Heptachlor epoxide	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Lindane	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Methoxychlor	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Endrin	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Toxaphene	ug/L	nihil	nihil	nihil	nihil	
Pestisida Total						

Keterangan :

(x) tidak dipersyaratkan
mg : milligram
ug : mikrogram
ml : mililiter
L : liter
Bq : Bequerel

Lampiran 2. Bar Chart Parameter Fosfat dan TSS hasil Ketiga Sampling



Lampiran 3. Perhitungan Data Hidrolika Sungai Winongo

Segmen	Q (m/s)	Sd	n	H (dipakai) (m)	B (dipakai) (m)	P (m)	A (m ²)	R (m)	Koef Chezy (C)	Free Board (m)	V (m/s)
Segmen 1	8.65	0.0025	0.04	0.9	12	13.86	11.16	0.81	0.08	0.27	0.8
Segmen 2	5.05	0.0025	0.04	1.1	5.78	8.02	6.47	0.81	0.08	0.30	0.8
Segmen 3	7.62	0.0031	0.05	0.9	13	14.82	11.83	0.80	0.08	0.27	0.6
Segmen 4	3.50	0.0018	0.05	0.7	10	11.36	6.80	0.60	0.07	0.21	0.5
Segmen 5	2.47	0.0052	0.025	0.6	7	8.28	4.48	0.54	0.06	0.20	0.6
Segmen 6	2.60	0.0063	0.05	0.6	7	8.28	4.48	0.54	0.06	0.20	0.6
Segmen 7	6.48	0.0154	0.05	0.6	11.7	12.86	6.79	0.53	0.06	0.19	1.0
Segmen 8	7.08	0.0010	0.05	0.7	12.7	14.04	8.51	0.61	0.07	0.21	0.8
Segmen 9	6.06	0.0013	0.05	0.6	12.75	13.99	7.91	0.57	0.07	0.20	0.8

POINT SOURCE		
No	Kode	Debit
		m ³ /s
1	Ps 1	0.217
2	Ps 2	6.043
3	Ps 3	0.002
4	Ps 4	0.702
5	Ps 5	0.012
6	Ps 6	0.241
7	Ps 7	0.009
8	Ps 8	0.084

Lampiran 4. Perhitungan Nilai Rata –rata Kualitas Air Sungai Winongo

STREAM SOURCE													
No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air	Hasil Pemantauan									
				Titik 1	Titik 3	Titik 5	Titik 6	Titik 7	Titik 8	Titik 9	Titik 10	Titik 11	Titik 12
1	Temperature	°C	3°C	26.02	31.01	29.51	26.97	26.88	28.99	28.48	29.87	30.03	30.30
2	pH		6 - 8,5	7.92	7.12	7.39	8.02	7.65	7.15	7.63	7.15	7.42	7.22
3	<i>Dissolve Oxygen</i>	mg/L O ₂	5	24.25	26.70	28.10	18.29	28.05	22.16	26.17	21.14	20.54	20.68
4	Debit	m ³ /det		10.37	8.65	5.05	7.62	3.48	2.47	2.60	6.48	7.08	6.06
5	Fosfat	mg/L PO ₄	0,2	0.10	0.159	0.157	0.162	0.205	0.223	0.234	0.231	0.25	0.275
6	<i>Total Suspended Solid</i>	mg/L	0	116.9	141.3	143	137.3	128	119.7	111.7	112.3	112.4	118.3

POINT SOURCE												
No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air	Hasil Pemantauan								
				PS 1	PS 2	PS 3	PS 4	PS 5	PS 6	PS 7	PS 8	
1	Temperature	°C	+ - 3°C	28.10	30.24	27.49	26.80	29.31	28.55	29.35	30.25	
2	pH	-	6 - 8,5	7.96	7.77	7.79	7.48	7.58	7.02	6.05	7.30	
3	<i>Dissolve Oxygen</i>	mg/L O ₂	5	22.57	18.74	19	23.44	27.81	20.17	15.21	20.17	
4	Debit	m ³ /det	-	0.22	6.04	0.002	0.70	0.01	0.24	0.01	0.08	
5	Fosfat	mg/L PO ₄	0,2	0.133	0.152	1.091	0.910	0.184	0.200	0.288	0.112	
6	<i>Total Suspended Solid</i>	mg/L	0	79.56	119.11	269.78	127.78	117.22	117.89	131.44	129.67	