

**TUGAS AKHIR**  
**PEMODELAN KUALITAS AIR PERMUKAAN**  
**SUNGAI PADA PARAMETER TSS DAN COD**  
**MENGGUNAKAN *SOFTWARE* QUAL2KW (STUDI**  
**KASUS: SUNGAI WINONGO YOGYAKARTA)**

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



**HANINDA IFTI AZZUHRA**

**18513188**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PRERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2022**

**TUGAS AKHIR**  
**PEMODELAN KUALITAS AIR PERMUKAAN**  
**SUNGAI PADA PARAMETER TSS DAN COD**  
**MENGGUNAKAN *SOFTWARE* QUAL2KW (STUDI**  
**KASUS: SUNGAI WINONGO YOGYAKARTA)**

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




**HANINDA IFTI AZZUHRA**  
**18513188**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

**Nelly Marlina, S.T., M.T**  
**NIK. 125130401**  
Tanggal: 23 Desember 2022

**Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.**  
**NIK. 155131313**  
Tanggal: 23 Desember 2022

Mengetahui,  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



**Dr. Eng. Awaluddin Nurmianto, S.T., M.Eng.**  
**NIK. 095130403**  
Tanggal: 23 Desember 2022

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMODELAN KUALITAS AIR PERMUKAAN SUNGAI PADA  
PARAMETER TSS DAN COD MENGGUNAKAN SOFTWARE  
QUAL2KW (STUDI KASUS: SUNGAI WINONGO  
YOGYAKARTA)**

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari : Jum'at  
Tanggal : 23 Desember 2022**

**Disusun Oleh :**

**Haninda Ifti Azzuhra  
18513188**

**Tim Penguji :**

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

  
( )

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

  
( )

**Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc**

  
( 23122022 )

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

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

Yogyakarta, 15 September 2022

Yang membuat pernyataan,



**HANINDA IFTI AZZUHRA**

NIM : 18513188

## PRAKATA

*Bismillahirrohmanirrohim*, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala nikmat sehat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Pemodelan Kualitas Air Permukaan Sungai Pada Parameter TSS dan COD Menggunakan Software Qual2kw (Studi Kasus : Sungai Winongo Yogyakarta)” dapat terselesaikan. Dalam penulisan laporan ini penulis ucapkan terima kasih dan syukur kepada pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Nelly Marlina, S.T., M.T. dan Dr. Ibu Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membantu memberi arahan dan masukan pada penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr.-Ing., Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan kepada penulis.
3. Kedua orangtua penulis, yang selalu memberi doa dan dukungan tak terhingga.
4. Rara dan Citra, teman satu topik saya yang telah menyemangati dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman – teman Teknik Lingkungan 2018, yang telah menemani penulis dari awal hingga akhir perkuliahan.
6. Dan kepada seluruh pihak yang tak bisa disebut satu persatu.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua.

Yogyakarta, 15 September 2022



*Haninda Ifti Azzuhra*



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRACT

HANINDA IFTI AZZUHRA. River Surface Water Quality Modeling on TSS and COD Parameters Using *Software* (Case Study: Winongo River Yogyakarta). Supervised by Nelly Marlina, ST, MT and Dr. Suphia Rahmawati, ST, MT

Winongo River is one of the rivers that has many benefits for the people of Yogyakarta. According to DLH DIY water quality monitoring data, it shows that the Winongo River is polluted, marked by TSS and COD parameters that exceed the quality standards. This study aims to analyze water quality based on *point source* and *non-point source* on TSS and COD parameters, so that alternative strategies for managing water quality in the Winongo River are known through QUAL2Kw modeling. The research was conducted along the Winongo River in Yogyakarta from upstream to downstream, which passes through Sleman Regency, Yogyakarta City and Bantul Regency. The study was conducted using 7 river segments, so that it is known that the sources of pollutants that enter the Winongo River come from domestic waste, fishery waste, agricultural waste, drainage channels and tributary inputs that cause river pollution. The results showed that the Winongo River was polluted because the average concentrations of TSS and COD exceeded the class II water quality standards, with values of 897.9 mg/L TSS and 53.78 mg/L COD. QUAL2Kw modeling is done by inputting data in *worksheet*, then calibrating the model with *trial error* on the pollutant source so that the model graph approaches the field data, then the model is validated by calculating the model error value, then simulation. The validation results with the RPD, RMSPE and Chi Square methods show that the model is acceptable. The simulation uses scenario 1, namely pollutant load modification by reducing TSS and COD waste, scenario 2, namely local oxygenation by placing waterfalls and scenario 3, namely a combination of the two. The third scenario can reduce TSS and COD concentrations in the Winongo River.

Keywords : TSS, COD, Surface Water Quality Modeling, Winongo River, QUAL2Kw

## ABSTRAK

HANINDA IFTI AZZUHRA. Pemodelan Kualitas Air Permukaan Sungai pada Parameter TSS dan COD Menggunakan *Software* QUAL2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo Yogyakarta). Dibimbing oleh Nelly Marlina, S.T., M.T. dan Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai yang memiliki banyak manfaat bagi masyarakat Yogyakarta. Menurut data pemantauan kualitas air DLH DIY menunjukkan bahwa Sungai Winongo tercemar, ditandai dengan parameter TSS dan COD yang melebihi baku mutu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air berdasarkan sumber pencemar *point source* dan *non-point source* pada parameter TSS dan COD, sehingga diketahui strategi alternatif untuk pengelolaan kualitas air Sungai Winongo melalui pemodelan QUAL2Kw. Penelitian dilakukan di sepanjang Sungai Winongo Yogyakarta dari hulu hingga hilir, yang melewati Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 7 segmen sungai, sehingga diketahui sumber pencemar yang masuk ke Sungai Winongo berasal dari limbah domestik, limbah perikanan, limbah pertanian, saluran drainase dan masukan anak sungai yang menyebabkan pencemaran sungai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Winongo tercemar karena rerata konsentrasi TSS dan COD melebihi baku mutu air kelas II, dengan nilai 897,9 mg/L TSS dan 53,78 mg/L COD. Pemodelan QUAL2Kw dilakukan dengan menginput data di *worksheet* yang tersedia, lalu kalibrasi model dengan *trial error* pada sumber pencemar agar grafik model mendekati data lapangan, lalu model divalidasi dengan menghitung nilai error model, lalu simulasi. Hasil validasi dengan metode RPD, RMSPE dan Chi Square menunjukkan bahwa model dapat diterima. Simulasi menggunakan skenario 1 yaitu modifikasi beban pencemar dengan menurunkan TSS dan COD effluent, skenario 2 yaitu oksigenasi lokal dengan penempatan terjunan dan skenario 3 yaitu kombinasi antara keduanya. Ketiga skenario dapat menurunkan konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo.

Kata kunci : TSS, COD, Pemodelan Kualitas Air Permukaan, Sungai Winongo, QUAL2Kw





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Pencemaran Air .....	4
2.2 Sumber Pencemar.....	4
2.3 Parameter Kualitas Air .....	5
2.3.1 Total Suspended Solid (TSS).....	6
2.3.2 Chemical Oxygen Demand (COD).....	7
2.3.3 Temperatur Air.....	8
2.3.4 Derajat Keasaman (pH).....	8
2.4 Baku Mutu Air Sungai.....	9
2.5 Pemodelan Kualitas Air.....	9
2.6 Sungai Winongo .....	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>15</b>
3.1 Tahapan Penelitian .....	15

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	16
3.3 Pengumpulan Data .....	16
3.4 Analisa Data .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian dan Titik Sampling Sungai Winongo	26
4.1.1 Gambaran Umum .....	26
4.1.2 Titik Sampling .....	26
4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Winongo.....	38
4.3 Kualitas Air Sungai Winongo.....	41
4.3.1 Temperatur Air.....	41
4.3.2 Derajat Keasaman (pH).....	43
4.3.3 TSS (Total Suspended Solid).....	45
4.3.4 (COD) Chemical Oxygen Demand .....	49
4.4 Pemodelan Kualitas Air Sungai Winongo dengan QUAL2Kw .....	53
4.4.1 Hasil Kalibrasi Model .....	54
4.4.2 Hasil Validasi Model.....	58
4.4.3 Hasil Simulasi Model.....	65
4.5 Perbandingan 3 Skenario Simulasi.....	77
4.6 Strategi Alternatif Pengelolaan Sungai Winongo .....	79
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>81</b>
5.1 Simpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>93</b>



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya .....	11
Tabel 3.1 Detail Lokasi Titik Sampling .....	17
Tabel 3.2 Parameter Uji Kualitas Air .....	18
Tabel 3.3 Data QUAL2KW .....	20
Tabel 4.1 Titik Sampling Sungai Winongo .....	30
Tabel 4.2 Kondisi Lokasi Titik Sampling Sungai Winongo.....	31
Tabel 4.3 Data Hidrolik Sungai Winongo .....	38
Tabel 4.4 Slope Sungai Winongo .....	39
Tabel 4.5 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016 - 2021 .....	41
Tabel 4.6 pH Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020 .....	44
Tabel 4.7 Konsentrasi TSS Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020 .....	46
Tabel 4.8 Konsentrasi COD Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020.....	49
Tabel 4.9 Hasil Validasi Debit dengan Metode RPD .....	60
Tabel 4.10 Hasil Validasi TSS dengan Metode RPD .....	60
Tabel 4.11 Hasil Validasi COD dengan Metode RPD.....	60
Tabel 4.12 Hasil Validasi Data Debit dengan Metode RMSPE .....	62
Tabel 4.13 Hasil Validasi TSS dengan Metode RMSPE.....	62
Tabel 4.14 Hasil Validasi COD dengan Metode RMSPE .....	63
Tabel 4.15 Hasil Validasi Data Debit dengan Metode Chi Square .....	64
Tabel 4.16 Hasil Validasi TSS dengan Metode Chi Square .....	64
Tabel 4.17 Hasil Validasi COD dengan Metode Chi Square .....	64



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1</b> Tahapan Penelitian .....	15
<b>Gambar 3.2</b> Peta Lokasi Sampling.....	16
<b>Gambar 3.4</b> Kalibrasi Data Hidrolik pada QUAL2KW .....	22
<b>Gambar 3.5</b> Kalibrasi Data Kualitas Sungai pada QUAL2Kw .....	22
<b>Gambar 4.1</b> Sketsa Sumber Pencemar .....	29
<b>Gambar 4.2</b> Debit Sungai Winongo .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2021 .....	42
<b>Gambar 4.4</b> Nilai Temperatur Air Sungai Winongo .....	43
<b>Gambar 4.5</b> pH Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020.....	44
<b>Gambar 4.6</b> Konsentrasi pH Sungai Winongo.....	45
<b>Gambar 4.7</b> Konsentrasi TSS Sungai Winongo Tahun 2016 – 2021.....	46
<b>Gambar 4.8</b> Konsentrasi TSS Sungai Winongo .....	47
<b>Gambar 4.9</b> COD Sungai Winongo Tahun 2016 – 2021 .....	49
<b>Gambar 4.10</b> Konsentrasi COD Sungai Winongo .....	51
<b>Gambar 4.11</b> Konsentrasi TSS dan COD.....	53
<b>Gambar 4.12</b> Hasil Kalibrasi Data Debit Sungai Winongo .....	55
<b>Gambar 4.13</b> Hasil Kalibrasi Data TSS Sungai Winongo .....	55
<b>Gambar 4.14</b> Hasil Kalibrasi Data COD Sungai Winongo.....	56
<b>Gambar 4.15</b> Hasil Simulasi 1 Parameter TSS .....	66
<b>Gambar 4.16</b> Perbandingan TSS sebelum dan sesudah Simulasi 1 .....	66
<b>Gambar 4.17</b> Hasil Simulasi 1 Parameter COD.....	68
<b>Gambar 4.18</b> Perbandingan COD sebelum dan sesudah Simulasi 1 .....	68
<b>Gambar 4.19</b> Hasil Simulasi 2 Parameter TSS .....	71
<b>Gambar 4.20</b> Perbandingan TSS sebelum dan sesudah Simulasi 2 .....	71

<b>Gambar 4.21</b> Hasil Simulasi 2 Parameter COD.....	72
<b>Gambar 4.22</b> Perbandingan COD sebelum dan sesudah Simulasi 2.....	73
<b>Gambar 4.23</b> Hasil Simulasi 3 Parameter TSS .....	74
<b>Gambar 4.24</b> Perbandingan TSS sebelum dan sesudah Simulasi 3 .....	74
<b>Gambar 4.25</b> Hasil Simulasi 3 Parameter COD.....	76
<b>Gambar 4.26</b> Perbandingan COD sebelum dan sesudah Simulasi 3.....	76







*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sketsa Sumber Pencemar Sungai Winongo.....	93
Lampiran 2 Data Hidrolik Sungai Winongo .....	94
Lampiran 3 Data Klimatologis Sungai Winongo.....	94
Lampiran 4 Data Kualitas Air Sungai Winongo .....	95
Lampiran 6 Dokumentasi Uji TSS dan COD di Laboratorium FTSP UII.....	100





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sungai adalah aliran air alami dan/atau buatan yang mengalir mulai dari hulu sampai hilir dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan, untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, industri, pertanian, perikanan, sanitasi dan transportasi (PP No.22 Tahun 2021). Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak memberi manfaat terhadap makhluk hidup, seperti untuk kegiatan pariwisata, kebutuhan air minum, irigasi dan lain sebagainya. Namun, pemanfaatan sungai secara terus menerus tanpa melakukan pemeliharaan yang tepat akan menurunkan kualitas air sungai tersebut. Pembangunan perumahan di bantaran sungai, pembuangan sampah dan limbah secara langsung ke sungai akan menyebabkan sungai tercemar sehingga kualitas air menurun (Darmanto dan Sudarmadji, 2013).

Penurunan kualitas air terjadi di Sungai Winongo, Yogyakarta. Sungai Winongo merupakan salah satu dari sekian banyak sungai yang digunakan oleh penduduk sebagai sumber air, baik itu untuk kebutuhan harian seperti mandi, cuci, kakus, ataupun untuk kebutuhan pertanian dan perikanan (Kudubun dkk, 2020). Sungai Winongo mengalir melintasi Kabupaten Sleman (bagian hulu), Kota Yogyakarta (bagian tengah) dan Kabupaten Bantul (bagian hilir). Menurunnya kualitas air Sungai Winongo ditandai dengan tingginya polutan seperti TSS dan COD yang berasal dari sumber pencemar *point source* dan *non-point source*, yang meliputi limbah domestik, limbah pertanian, limbah perikanan dan lainnya.

Pada tahun 2020, Dinas Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta (DLH DIY) telah melakukan pemantauan terhadap kualitas air Sungai Winongo yang menunjukkan bahwa kandungan COD paling tinggi ada di bagian hilir sebesar 23,35 mg/L dan kandungan TSS paling tinggi ada di bagian tengah sebesar 22,9 mg/L. Sedangkan pada tahun 2019, penelitian yang juga dilakukan oleh DLH DIY

menunjukkan bahwa kandungan COD dan TSS paling tinggi ada di bagian tengah dengan nilai masing – masing sebesar 28,32 mg/L dan 101,8 mg/L. Dari data tersebut menunjukkan bahwa pada tahun 2019 kandungan COD dan TSS di Sungai Winongo melebihi baku mutu, sedangkan pada tahun 2020 tidak melebihi baku mutu, Penelitian ini dilakukan untuk mencegah meningkatnya jumlah kandungan COD dan TSS di Sungai Winongo pada tahun – tahun mendatang. Penelitian ini juga dapat digunakan untuk menguji data penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, seperti menguji data penelitian yang telah dilakukan oleh DLHK DIY yang menunjukkan hasil bahwa pada tahun 2020 Sungai Winongo mengalami peningkatan kualitas air dari tahun sebelumnya, terbukti dengan nilai COD dan TSS yang berada di bawah baku mutu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kualitas air Sungai Winongo berdasarkan parameter COD dan TSS?
2. Bagaimana sumber pencemar *point source* dan *non-point source* yang mempengaruhi kualitas air Sungai Winongo?
3. Bagaimana alternatif pengelolaan kualitas air sungai apabila parameter COD dan TSS di Sungai Winongo melebihi batas baku mutu?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa kualitas air Sungai Winongo berdasarkan parameter COD dan TSS.
2. Menganalisa sumber pencemar *point source* dan *non-point source* yang masuk ke Sungai Winongo.
3. Mengetahui strategi alternatif untuk pengelolaan kualitas air sungai apabila parameter COD dan TSS di Sungai Winongo melebihi batas baku mutu dengan menggunakan simulasi model Qual2Kw.

#### **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2021 hingga Januari 2022 di Sungai Winongo Yogyakarta.
2. Pengambilan sampel air Sungai Winongo berdasarkan SNI 9689.57:2008
3. Parameter pencemar air yang diuji adalah COD dan TSS.
4. Pengujian parameter COD berdasarkan SNI 9689.2:2019 tentang Uji COD dengan Spektrofotometri.
5. Pengujian parameter TSS berdasarkan SNI 9689.3:2019 tentang Uji Padatan Tersuspensi Total secara Gravimetri.
6. Menggunakan *software* Qual2Kw versi 5.1 untuk pemodelan air Sungai Winongo.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang metode Qual2Kw sebagai *software* yang digunakan untuk memodelkan kualitas air Sungai Winongo.
2. Memberikan rekomendasi kepada DLHK DIY untuk mengatasi pencemaran yang terjadi di Sungai Winongo.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Air**

Menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pencemaran Air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh aktivitas rumah tangga, kegiatan industri, kegiatan pertanian dan lainnya sehingga melampaui baku mutu air limbah yang telah ditetapkan. Jika pencemaran air terjadi maka kualitas air tersebut menurun dan tidak layak untuk digunakan. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka perlu dilakukan pengendalian pencemaran air yang bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran dan memulihkan kualitas air yang tercemar.

Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat rentan tercemar, karena sifatnya yang mengalir dan menerima berbagai macam jenis limbah, baik itu limbah domestik, limbah industri dan lain sebagainya. Peningkatan kegiatan manusia di sekitar kawasan sungai juga andil dalam menyebabkan sungai rentan tercemar hingga menyebabkan menurunnya kualitas air sungai (Yohannes dkk., 2019).

#### **2.2 Sumber Pencemar**

Sumber pencemaran air dibedakan menjadi dua, yaitu :

##### **a. *Point Source* (Sumber Tertentu)**

Sumber pencemaran tertentu atau biasa disebut *point source* adalah sumber pencemaran air yang lokasi pencemarannya dapat diketahui dengan jelas dan tepat, sehingga relatif mudah untuk diidentifikasi, dikontrol dan diukur. Contoh sumber pencemaran *point source* berasal dari kegiatan industri yang limbahnya tidak dikelola, pembuangan limbah domestik, saluran drainase, kegiatan pengelolaan tambak ikan dan hasil pengolahan limbah IPAL

yang tidak memenuhi baku mutu air limbah yang boleh dibuang ke sungai (Pangestu dkk., 2017).

**b. *Non-Point Source* (Sumber Tidak Tentu)**

Sumber pencemaran tidak tentu atau biasa disebut *non-point source* berarti sumber pencemar air tidak bisa ditentukan lokasinya dengan tepat karena sumber pencemarannya tidak langsung masuk ke sungai, melainkan mencemari area sekitar sungai seperti tanah lalu baru masuk ke sungai. Maka dari itu jumlah limbah yang dihasilkan tidak dapat ditentukan secara langsung, melainkan menggunakan data statistik kegiatan penghasil limbah. Segala macam kegiatan yang dilakukan di sekitar sungai menghasilkan polutan beban pencemar yang harus diketahui untuk pengelolaan air yang tepat. Akan tetapi, *non-point source* cukup sulit untuk diidentifikasi secara akurat, karena sifatnya yang tidak langsung atau tidak menentu. Sumber pencemar *non-point source* dapat disebabkan oleh hujan ataupun salju yang meleleh yang telah terkontaminasi debu, kotoran hewan peternakan, sedimen dan minyak, yang melewati permukaan bawah tanah lalu mengalir menuju sungai, danau dan air bawah permukaan (Syahril, 2016). Contoh lain dari sumber pencemar *non-point source* berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, kegiatan industri kecil/ menengah dan penggunaan barang-barang konsumsi. Rembesan dari limbah septic tank juga termasuk salah satu contoh bentuk pencemaran *non-point source* (Pangestu dkk., 2017).

### **2.3 Parameter Kualitas Air**

Pemantauan kualitas air sungai dilakukan dengan menguji beberapa parameter kualitas air sebagai upaya untuk mengetahui tercemarnya air sungai. Parameter kualitas air terdiri dari parameter kimia, fisika dan biologi. Parameter yang digunakan dalam upaya pemantauan kualitas air Sungai Winongo adalah parameter fisika yaitu TSS (*Total Suspended Solid*) dan parameter kimia yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*).



### 2.3.1 Total Suspended Solid (TSS)

TSS adalah material tersuspensi dengan diameter  $>1 \mu\text{m}$  yang tertahan di saringan milipore dengan diameter pori  $0,45 \mu\text{m}$  atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS terdiri dari tanah liat, lumpur, pasir halus, bahan organik dan sel mikroorganisme dari hasil erosi tanah yang terbawa ke sungai. Adanya kandungan TSS pada air sungai menyebabkan air sungai tersebut keruh sehingga menghalangi cahaya masuk ke dalam sungai. Tingginya konsentrasi TSS di sungai menunjukkan kualitas air sungai tersebut terbilang rendah. TSS menyebabkan air menjadi keruh akibat dari padatan tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung (Ma'arif dan Hidayah, 2020). Meningkatnya konsentrasi TSS di sungai juga dapat dipengaruhi oleh tingginya jumlah senyawa organik pada beban pencemar yang masuk ke sungai yang menyebabkan sungai menjadi keruh, sehingga mengganggu organisme lain untuk memperoleh makanan dan pertumbuhannya terganggu, akibat dari sinar matahari yg terhalang (Sisnayanti dkk, 2021). Tinggi atau rendahnya konsentrasi TSS dapat dipengaruhi oleh faktor cuaca, temperatur, derajat keasaman (pH), arus alir, kecerahan dan salinitas. Selain itu, kecepatan angin, kecepatan partikel untuk menetap di dasar perairan, adanya badai dan pasang surut air merupakan faktor fisik yang juga dapat mempengaruhi konsentrasi TSS (Ma'arif dan Hidayah, 2020). Konsentrasi TSS yang tinggi juga dapat disebabkan karena pada saat pengambilan sampel dilakukan dekat dengan permukaan atau daratan. Menurut Siswanto (2010), hal ini terjadi karena pola arus mengalami perubahan sehingga dapat meningkatkan proses pengadukan substrat berupa lumpur.

Untuk konsentrasi TSS yang rendah dapat disebabkan karena pengambilan sampel dilakukan jauh dari permukaan atau daratan, sehingga sedimen tersuspensi yang terbawa tidak terlalu banyak. Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air, konsentrasi TSS yang diperbolehkan ada di sungai adalah sebesar  $50 \text{ mg/L}$ .

### **2.3.2 Chemical Oxygen Demand (COD)**

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang ada dalam air sungai secara kimiawi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Yogafanny, 2015). Bahan organik yang ada di dalam sungai sengaja diurai secara kimiawi dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat, sehingga bahan organik yang mudah maupun yang sulit terurai akan teroksidasi. (Metcalf & Eddy, 1991). Dari pengukuran konsentrasi COD yang dilakukan nantinya akan diperoleh jumlah oksigen untuk proses oksidasi senyawa organik baik yang mudah terurai maupun yang sulit terurai secara biologis (Duhupo dkk., 2019). COD merupakan salah satu parameter yang digunakan sebagai penentu baik buruknya kualitas air sungai dan tercemar atau tidaknya sungai tersebut. Limbah domestik, limbah industri dan limbah peternakan juga limbah perikanan menjadi pemasok utama limbah organik yang menyebabkan tingginya konsentrasi COD di air sungai. Limbah perikanan yang langsung dibuang ke sungai menyebabkan tercemarnya sungai karena menumbuhkan tumbuhan eceng gondok yang menghalangi cahaya matahari yang masuk ke air, sehingga konsentrasi oksigen terlarut menurun dan memunculkan sifat toksik terhadap kehidupan biota air (Kurnianti dkk., 2020). Limbah organik yang tidak dikelola dengan benar terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai akan menimbulkan kerusakan tanah, membahayakan kehidupan biota air dan kesehatan manusia dan akan menimbulkan bau yang tidak sedap (Islamawati dkk., 2018). Konsentrasi COD yang tinggi akan menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen dalam air sehingga akan mengganggu ekosistem perairan (Hardyanti et al, 2020).

Sedangkan untuk konsentrasi COD yang rendah disebabkan karena di kawasan bantaran sungai jauh dari penduduk. Bisa disimpulkan bahwa semakin jauh pemukiman penduduk dengan DAS sungai, maka semakin kecil pula kontribusi limbah domestik sebagai penyumbang tercemarnya sungai, begitupun sebaliknya. Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air, konsentrasi COD yang diperbolehkan ada di sungai adalah sebesar 25 mg/L.

### **2.3.3 Temperatur Air**

Temperatur atau suhu air adalah parameter air yang menunjukkan kondisi panas atau dinginnya air. Berdasarkan musim, sumber dan kedalaman pengambilan sampel, temperatur normal air adalah  $0^{\circ}\text{C}$  -  $35^{\circ}\text{C}$  dan temperatur yang bagus untuk kehidupan biota air adalah  $25^{\circ}\text{C}$  -  $30^{\circ}\text{C}$ . Adanya limbah dengan suhu tinggi yang masuk ke perairan akan meningkatkan suhu air, apabila hal ini terjadi akan mengganggu biota air di dalamnya. Temperatur air dapat merubah karakteristik air seperti densitas, viskositas, salinitas dan tegangan permukaan (Mardhia, 2018).

### **2.3.4 Derajat Keasaman (pH)**

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter kualitas air yang menunjukkan tingkat keasaman suatu perairan. Dengan mengetahui nilai derajat keasaman (pH) dapat diketahui pula perubahan sifat asam basa dari nilai pH alamnya di perairan tersebut. Perairan tersebut dalam kondisi asam apabila konsentrasi pH bernilai dibawah 7 dan dalam kondisi basa apabila konsentrasi pH bernilai diatas 7 dari rentang 0 - 14. Menurut Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008 tentang baku mutu kelas air II, parameter derajat keasaman (pH) memiliki baku mutu 6 – 8,5. Odum (1971) menyatakan bahwa konsentrasi pH yang ideal untuk keberlangsungan hidup biota air adalah 7 – 8,5. Biota air sensitif terhadap perubahan konsentrasi pH dan tidak dapat mentolerir terhadap pH rendah, maka apabila konsentrasi pH perairan dibawah 4 maka vegetasi air akan mati. Rendahnya nilai pH menandakan kualitas air di perairan tersebut menurun, jika hal ini terjadi maka ekosistem dan biota perairan akan terganggu (Atima, 2015).

Rendahnya nilai pH disebabkan oleh limbah industri dan limbah domestik seperti penggunaan deterjen. Faktor lainnya adalah penumpukan limbah, pertambahan penduduk dan industri serta sedimentasi. Kebiasaan penduduk yang tinggal di bantaran dalam kebersihan pun turut andil dalam menyumbang pencemaran ke sungai yang menyebabkan rendahnya nilai pH (Susana, 2009).

## 2.4 Baku Mutu Air Sungai

Baku mutu air merupakan ukuran batas makhluk hidup, zat, energi atau komponen serta unsur pencemar di dalam air, yang jumlah konsentrasinya harus memenuhi syarat yang telah ditentukan. Suatu perairan dikatakan tercemar apabila memiliki parameter kualitas air sungai yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Sesuai Pergub DIY No.20 tahun 2008 tentang baku mutu air di DIY, mutu air terbagi menjadi 4 kelas, yaitu :

- a) Kelas I : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum dan untuk peruntukan lain yang syarat mutu airnya sama dengan kegunaan tersebut.
- b) Kelas II : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk sarana prasarana rekreasi air, air untuk mengairi tanaman dan pembudidayaan ikan tawar, peternakan dan untuk peruntukan lain yang syarat mutu airnya sama dengan kegunaan tersebut.
- c) Kelas III : air yang peruntukannya dapat digunakan mengairi tanaman dan pembudidayaan ikan tawar, peternakan dan untuk peruntukan lain yang syarat mutu airnya sama dengan kegunaan tersebut.
- d) Kelas IV : air yang peruntukannya dapat digunakan mengairi tanaman dan untuk peruntukan lain yang syarat mutu airnya sama dengan kegunaan tersebut.

Berdasarkan klasifikasi kelas mutu air dan kegunaannya, Sungai Winongo termasuk kedalam kelas II.

## 2.5 Pemodelan Kualitas Air Permukaan

Menurunnya kualitas air permukaan sungai dan tercemarnya sungai memiliki pengaruh besar bagi makhluk hidup. Dengan melakukan pemodelan kualitas air dengan menggunakan pendekatan sistem matematis, dapat diketahui opsi pengelolaan air yang untuk air sungai yang tercemar tersebut. Dalam beberapa dekade terakhir, pengembangan model kualitas air permukaan digunakan untuk pengambilan keputusan dalam pengelolaan air (Iqbal *et al*, 2018).

QUAL2Kw adalah model kualitas air aliran satu dimensi (1D) dengan pola aliran tunak atau *steady* dan mempresentasikan sebuah sungai berdasarkan dampak dari dua sumber yaitu *point source* dan *non-point source*. (Shraideh *et al*, 2013). Model ini dapat mensimulasikan sejumlah konstituen seperti COD, BOD, TSS, temperatur, pH, nitrit, nitrat, ammonia, fosfor, fitoplankton dan lain-lain (Camargo *et al*, 2010). Dalam melakukan pemodelan menggunakan metode QUAL2Kw akan membutuhkan data penunjang, data – data tersebut diantaranya adalah tutupan awan, kecepatan angin, temperatur udara, kemiringan dan koordinat sungai, panjang dan lebar sungai, koefisien hambatan aliran sungai, debit sungai dan lokasi sumber pencemar.

QUAL2Kw memiliki kelebihan dibanding aplikasi lainnya seperti data yang diinput kedalam QUAL2Kw terbilang sederhana, seperti data hidraulik, data kualitas air, data klimatologis dan data fisik sungai. Selain itu metode QUAL2Kw dapat mensimulasikan parameter biologi dan kimia, seperti DO, CBOD slow, CBOD fast, pH, Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), Alkalinitas dan patogen (Febriyana, N.A., 2016). Hasil pemodelan menggunakan QUAL2Kw berfungsi untuk memprediksi pengelolaan kualitas air dengan tindakan kolektif baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang (Antunes *et al*, 2018).

**Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya**

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Kannel, Lee S, Lee Y dan Kanel.	2007	<i>Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Management In The Bagmati River, Nepal.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Menggunakan <i>software</i> QUAL2Kw untuk menentukan alternatif pilihan dalam pengelolaan sungai.</li> <li><input type="checkbox"/> Hasil penelitian menunjukkan 30 mg/L CBOD, 5 mg/L TN, 0,25 mg/L TP.</li> <li><input type="checkbox"/> Simulasi yang dilakukan adalah penambahan debit 1 m<sup>3</sup>/s pada <i>point source</i> dan oksigenisasi lokal yang dapat meningkatkan nilai DO.</li> </ul>
2	Ayad S Mustafa, Sadeq O Sulaiman dan Sabreen H Shahooth	2017	<i>Application of QUAL2K for Water Quality Modelling and Management in the lower reach of the Diyala River</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Menggunakan <i>software</i> QUAL2K untuk pemodelan dan manajemen kualitas air.</li> <li><input type="checkbox"/> Nilai DO dan CBOD melebihi baku mutu dengan kisaran nilai 2,51 – 4,80 mg/L dan 18,75 mg/L – 25,10 mg/L.</li> <li><input type="checkbox"/> Simulasi skenario yang digunakan adalah modifikasi beban pencemar, augmentasi aliran dan oksigenasi lokal.</li> </ul>
3	Nelly Marlina, Hudhori dan Ridwan Hafidh	2017	Pengaruh Kekasaran Saluran dan Suhu Air Sungai pada Parameter Kualitas Air COD, TSS di Sungai Winongo Menggunakan Software QUAL2Kw.	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Menggunakan <i>software</i> QUAL2Kw untuk mengetahui pengaruh kekasaran saluran dan suhu air sungai.</li> <li><input type="checkbox"/> Kondisi fisik sungai mempengaruhi jumlah konsentrasi polutan .</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Suhu air sungai mempengaruhi nilai COD dan TSS karena suhu air mengikuti arah aliran air dan polutan dengan menyeimbangkan kondisi fisik yang menyebabkan turbulensi pada badan air.</li> </ul>
4	N Lusiana, A.A Sulianto, L.A Devianto, S. Sabina	2020	Penentuan Indeks Pencemaran Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Software QUAL2Kw (Studi Kasus Sungai Brantas Kota Malang).	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Menggunakan <i>software</i> pemodelan QUAL2Kw untuk menentukan beban pencemar dan daya tampung beban pencemar sungai.</li> <li><input type="checkbox"/> Nilai COD paling tinggi di titik 6 dengan nilai 102 mg/L.</li> <li><input type="checkbox"/> Nilai BOD paling tinggi di titik 6 dengan nilai 38 mg/L.</li> <li><input type="checkbox"/> Nilai TSS tidak melebihi baku mutu dengan nilai sebesar 49 mg/L dengan selisih 1 mg/L dengan baku mutu.</li> <li><input type="checkbox"/> Nilai Nitrat paling tinggi di titik 12 dengan nilai 26.150 mg/L.</li> <li><input type="checkbox"/> Nilai Ammonia paling tinggi di titik 6 dengan nilai 1.739 mg/L.</li> </ul>
5	Qori Ulfa Aulia	2021	Analisis Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Winongo Berdasarkan Parameter BOD dan COD Menggunakan Model QUAL2Kw.	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Menggunakan <i>software</i> pemodelan QUAL2Kw untuk menentukan daya tampung beban pencemar sungai.</li> <li><input type="checkbox"/> Daya tampung yang berlebih pada paramater BOD ada pada titik 3 dengan nilai -180,59 kg/hari dan titik 5 dengan nilai -302,4 kg/hari.</li> <li><input type="checkbox"/> Daya tampung yang berlebih pada paramater COD ada pada titik 10 dengan nilai -56,16 kg/hari.</li> </ul>





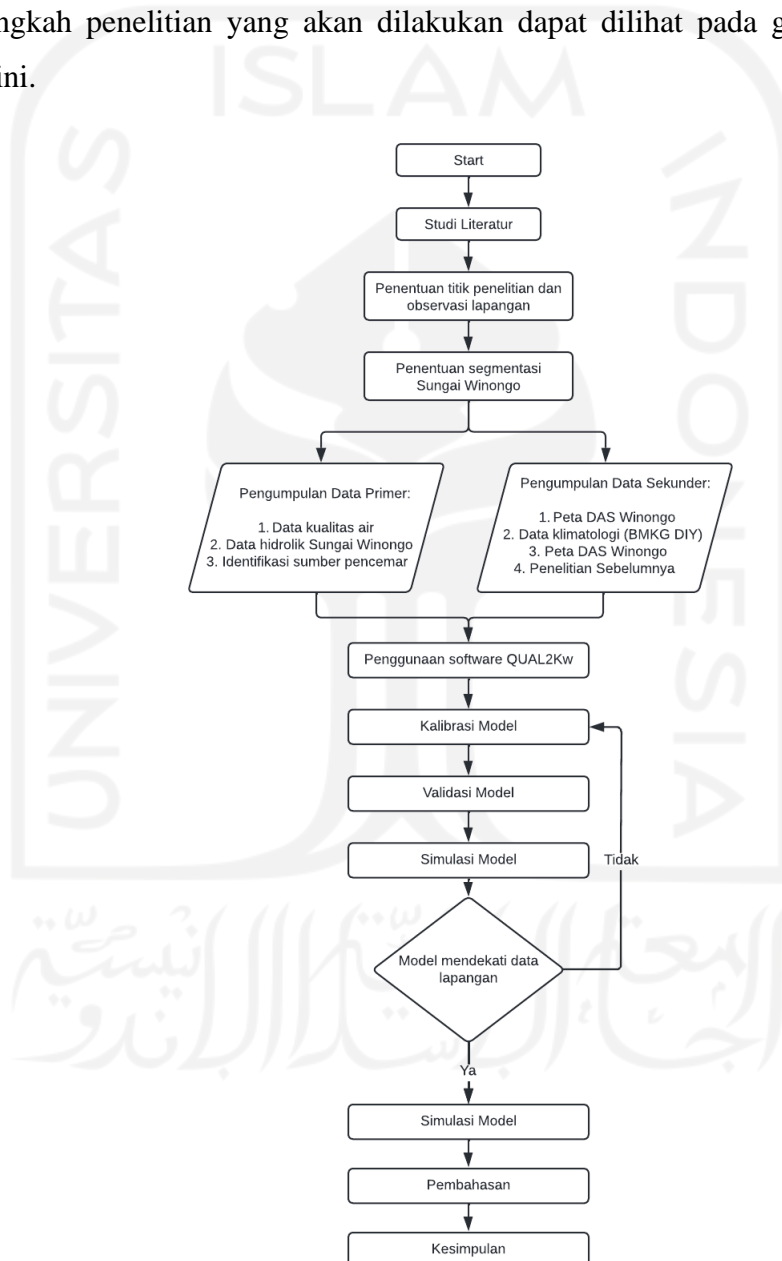
## 2.6 Sungai Winongo

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai di Yogyakarta dengan panjang 46,94 km dan luas 118 km<sup>2</sup> yang mengalir melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Hulu Sungai Winongo berada di Kabupaten Sleman atau tepatnya berada di lereng Gunung Merapi dan hilirnya berada di Pantai Selatan, Kabupaten Bantul yang melewati Sungai Opak terlebih dahulu karena Sungai Winongo merupakan bagian dari anak Sungai Opak (Ulfa, 2021). Kualitas air Sungai Winongo berubah seiring dengan banyaknya penduduk yang menetap di bantaran sungai dan melakukan kegiatan yang bisa mencemari sungai dan mempengaruhi jumlah parameter kualitas air yang menyebabkan menurunnya kualitas air, seperti penggunaan deterjen saat mencuci, pengelolaan tambak ikan dan lainnya. Maka dari itu pemantauan kualitas air sungai harus dilakukan secara berkala agar parameter kualitas air tidak melebihi baku mutu dan menyebabkan menurunnya kualitas air (Yogafanny, 2015).

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tahapan Penelitian

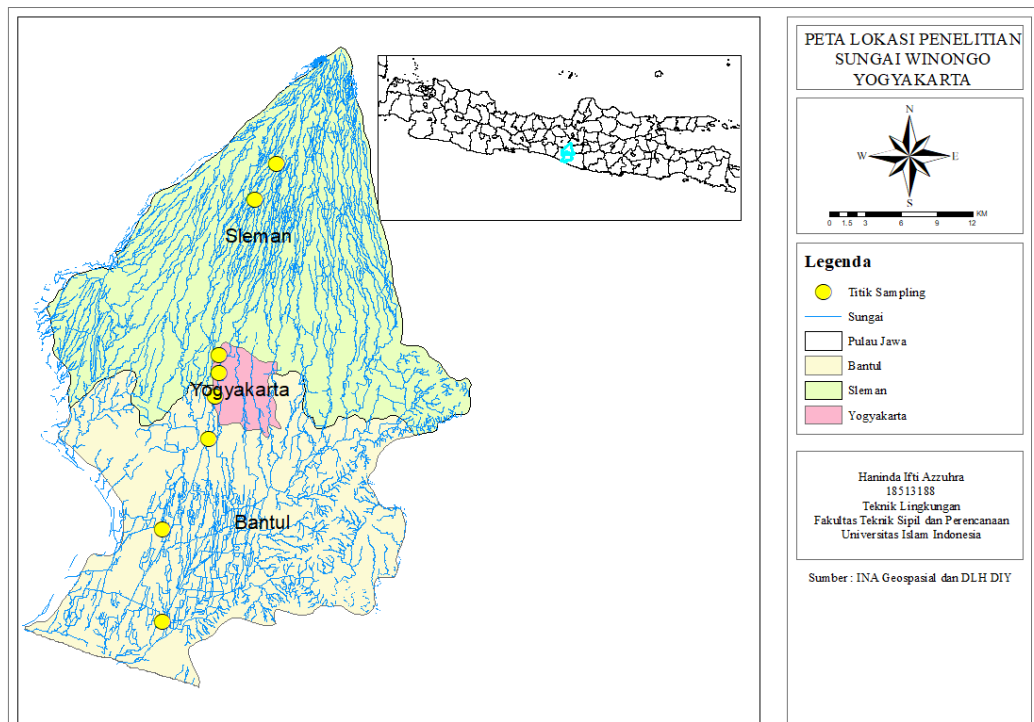
Langkah penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1** Tahapan Penelitian

### 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian berlokasi di Sungai Winongo, Daerah Istimewa Yogyakarta dan berlangsung pada bulan Desember 2021 hingga Maret 2022. Lokasi penelitian bisa dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Sampling

### 3.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua metode pengumpulan data, yaitu data sekunder dan primer, berikut penjelasannya :

#### A. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapat dari hasil studi pustaka atau studi literatur yang ada dan data dari instansi terkait seperti BMKG DIY dan DLHK DIY. Data sekunder yang didapat mencakup data klimatologis berupa kecepatan angin, suhu udara, tutupan awan, persen radiasi, kekasaran sungai dan kemiringan sungai dari BMKG DIY dan data hasil pantau kualitas air Sungai Winongo 5 tahun kebelakang dari DLHK DIY. Titik pengambilan sampel pada

penelitian kali ini merujuk pada data hasil pantau yang dilakukan oleh DLHK DIY. Untuk lokasi titik pengambilan sampel dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Detail Lokasi Titik Sampling

Titik	Lokasi	Koordinat
1	Purwobinangun, Pakem, Sleman	LS -7.631592 BT 110.399742
2	Denggung, Donokerto, Sleman	LS -7.659041 BT 110.383255
3	Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta	LS -7.776609 BT 110.356011
4	Jlagaran, Bumijo, Yogyakarta	LS -7.789838 BT 110.356560
5	Tamansari, Wirobrajan, Yogyakarta	LS -7.808202 BT 110.353629
6	Dongkelan, Kasihan, Bantul	LS -7.840225 BT 110.348602
7	Bakulan, Jetis, Bantul	LS -7.908928 BT 110.348317
8	Gading, Kretek, Bantul	LS -7. 978733 BT 110.313395

Pengambilan sampel air sungai diambil berdasarkan SNI 9689.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Diketahui bahwa ada beberapa metode sampling, yaitu *grab sampling* dan *composite sampling*. *Grab sampling* adalah teknik pengambilan air di satu lokasi dengan satu kali pengambilan dan *composite sampling* adalah teknik pengambilan air di satu lokasi dengan beberapa kali pengambilan dengan rentang waktu tertentu yang nantinya dicampur menjadi satu. Metode sampling yang digunakan kali ini adalah metode *grab sampling*. Sampling dilakukan pada saat musim hujan. Pada kedelapan titik diatas di tiap titiknya dilakukan satu kali pengambilan air atau *grab sampling*.

Selain menentukan metode sampling, dilakukan juga segmentasi sungai yang bertujuan untuk mempermudah dalam mengelompokkan berbagai kegiatan yang ada di sekitar Sungai Winongo sehingga memudahkan dalam melakukan inventarisasi sumber pencemar. Sumber pencemar pada Sungai Winongo ada dua, yaitu sumber pencemar *point source* yang meliputi anak sungai, saluran drainase, limbah industri dan sumber pencemar *non-point source* yang meliputi limbah domestik, limbah pertanian, limbah peternakan.

## B. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil langsung melalui pengamatan dan pengukuran parameter di lapangan dan di laboratorium. Data tersebut antara lain adalah :

### 1) Data Kualitas Air

Data kualitas air berisi hasil uji parameter pencemar COD sesuai SNI 9689.2:2019 menggunakan metode spektrofotometri dan TSS sesuai SNI 9689.3:2019 dengan metode gravimetri yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan FTSP UII.

**Tabel 3.2** Parameter Uji Kualitas Air

No	Parameter	Alat	Metode	SNI
1	TSS	Neraca Analitik	Gravimetri	SNI 9689.3:2019
2	COD	Spektrofotometer	Spektrofotometri	SNI 9689.2:2019
3	pH	pH meter	Pengukuran langsung	SNI 06-6989.11-2004
4	Temperatur Air	Thermometer	Pengukuran langsung	SNI 06-6989.23-2005
5	Kecepatan Aliran	1 set pengukuran kecepatan aliran	Pengukuran langsung	SNI 8066:2015

### 2) Data Hidrolik Sungai

Data hidrolik sungai berisi data kondisi Sungai Winongo yang meliputi lebar sungai, kedalaman sungai, kecepatan aliran dan debit. Data hidrolik sungai diukur secara langsung dengan mengacu pada SNI 9689.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Untuk mendapatkan data hidrolik sungai ada berbagai macam cara yang bisa dilakukan. Pada penelitian ini, pengukuran kedalaman sungai, lebar sungai dan kecepatan alir dilakukan secara manual karena medan Sungai Winongo yang tidak memungkinkan untuk dijangkau. Untuk mengukur kedalaman sungai menggunakan tongkat panjang yang dimasukkan ke sungai hingga mencapai dasar, lalu bagian tongkat yang basah diukur menggunakan meteran. Apabila kondisi sungai

pada suatu titik *sampling* sulit dijangkau, pengukuran dilakukan menggunakan tali panjang yang telah diikat dengan batu sebagai pemberat, lalu dimasukkan ke dalam sungai, lalu tali yang basah diukur menggunakan meteran. Untuk lebar sungai diukur dengan cara mengukur lebar jembatan menggunakan meteran. Untuk mengukur kecepatan aliran sungai menggunakan *styrofoam* atau gabus yang dialirkan sepanjang 10 meter untuk kemudian dihitung waktu tempuhnya. Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan alir sungai adalah berikut.

$$V = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Dimana :

V = kecepatan (m/s)  
s = jarak tempuh (m)  
t = waktu tempuh (s)

Setelah mengetahui nilai kedalaman dan kecepatan alir sungai, langkah selanjutnya adalah menghitung debit sungai dengan rumus sebagai berikut.

$$Q = V \times A \quad (2)$$

Dimana :

Q = debit sungai (m<sup>3</sup>/s)  
V = kecepatan aliran sungai (m/s)  
A = luas penampang sungai (m<sup>2</sup>)

Luas penampang sungai didapat dari hasil perkalian lebar dan kedalaman sungai. Data yang diperlukan selanjutnya adalah nilai kemiringan *slope*. *Slope* diperoleh dari data elevasi dan jarak dengan menggunakan rumus berikut.

$$slope = \frac{elevasi\ hulu - elevasi\ akhir}{jarak\ per\ segmen} \quad (3)$$

### 3) Sumber Pencemar

Dari hasil pengamatan yang dilakukan baik itu pengamatan langsung maupun dengan bantuan aplikasi Qgis dan google earth, diketahui terdapat sumber pencemar *point source* dan *non-point source* yang masuk ke dalam Sungai Winongo. Yang termasuk sumber pencemar *point source* adalah anak sungai berjumlah 3 titik, limbah perikanan berjumlah 1 titik dan limbah saluran drainase berjumlah 2 titik. Dan yang termasuk sumber pencemar *non-point source* adalah limbah pertanian berjumlah 2 titik, limbah domestik berjumlah 2 titik dan limbah perikanan berjumlah 1 titik.

### 3.4 Analisa Data

Setelah melakukan pengambilan sampel dan melakukan pengujian di Laboratorium FTSP UII, diketahui bahwa konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo beragam dan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu 50 mg/L dan 25 mg/L (Pergub DIY No.20 Tahun 2008). Hal ini menandakan bahwa kualitas air Sungai Winongo buruk atau dapat dikatakan tercemar. Untuk mengembalikan kualitas air tersebut maka perlu dilakukan pengelolaan kualitas air dengan melakukan pemodelan kualitas air. Pemodelan dapat dilakukan menggunakan *software* QUAL2Kw. Ada beberapa langkah yang digunakan dalam penggunaan *software* QUAL2Kw, yaitu :

#### a. Input Data

Setelah data penunjang didapat, hal selanjutnya yang dapat dilakukan adalah memasukkan data tersebut ke *software* QUAL2Kw. Data yang dimasukkan kedalam *software* QUAL2Kw dapat dilihat pada Tabel 3.3 :

**Tabel 3.3** Data QUAL2KW

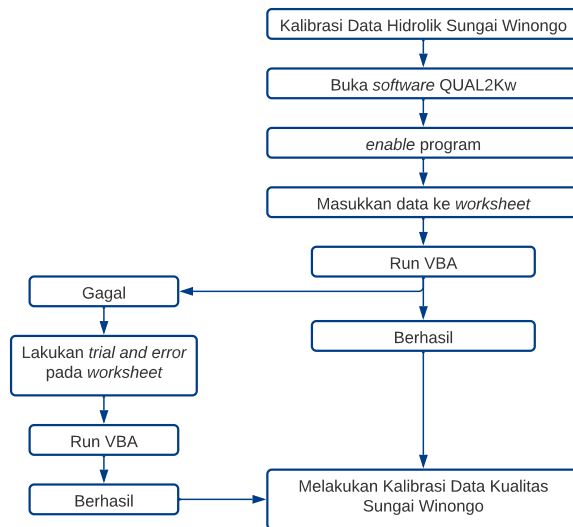
No	Input Data QUAL2Kw	Fungsi
1	<i>Worksheet Qual2Kw</i>	Untuk memasukkan informasi umum tentang pengaplikasian model
2	<i>Headwater Worksheet</i>	Untuk memasukkan data debit dan konsentrasi pada hulu sungai

3	<i>Reach Worksheet</i>	Untuk memasukkan informasi yang berkaitan antara hulu sungai dengan <i>reach</i>
4	<i>Reach Rates Worksheet</i>	Untuk memasukkan informasi tentang konstanta dan <i>specific rate parameters</i>
5	<i>Air Temperature Worksheet</i>	Untuk memasukkan data temperatur udara dalam °C pada tiap <i>reach</i> sungai
6	<i>Wind Speed Worksheet</i>	Untuk memasukkan data kecepatan angin dalam (m/s) pada tiap <i>reach</i> sungai
7	<i>Cloud Cover Worksheet</i>	Untuk memasukkan data tutupan awan pada tiap <i>reach</i>
8	<i>Solar Radiation Worksheet</i>	Untuk memasukkan data radiasi sinar matahari pada tiap <i>reach</i>
9	<i>Point Source Worksheet</i>	Untuk memasukkan data <i>point source</i> dan <i>abstraction</i> (pengambilan debit)
10	<i>Diffuse Source Worksheet</i>	Untuk memasukkan data <i>diffuse source</i> dan <i>abstraction</i> (pengambilan debit)
11	<i>Hydraulic Data Worksheet</i>	Untuk memasukkan data hidrolis pada tiap <i>reach</i>
12	<i>Temperature Data Worksheet</i>	Untuk memasukkan data temperatur air pada tiap <i>reach</i>
13	<i>WQ Data Worksheet</i>	Untuk memasukkan data kualitas air pada tiap <i>reach</i>

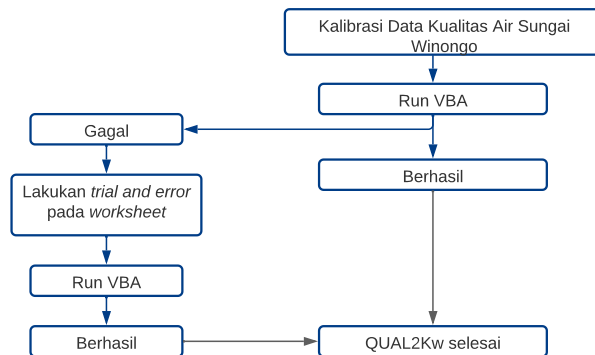
Sumber : Maghfiroh, 2016

Dibawah ini merupakan cara penggunaan *software* QUAL2Kw.





**Gambar 3.4** Kalibrasi Data Hidrolik pada QUAL2Kw



**Gambar 3.5** Kalibrasi Data Kualitas Sungai pada QUAL2Kw

## b. Kalibrasi Model

Kalibrasi model adalah tahapan untuk menyamakan data hasil buatan dengan data asli di lapangan hingga didapat hasil mendekati kondisi aslinya. Kalibrasi model dilakukan dengan metode *trial and error* secara berulang hingga didapat model yang mendekati kondisi aslinya atau kondisi di lapangan (Haribowo dan Prayogo, 2021). Kalibrasi data hidraulik menggunakan proses *trial and error* dengan mengubah manning

formula pada *worksheet reach* dan untuk kalibrasi data kualitas air pada *worksheet point source* dan *non-point source* (Fajaruddin dkk, 2017).

### c. Validasi Model

Validasi model digunakan untuk memeriksa kesesuaian model yang dihasilkan dengan data kualitas air yang diberikan sebelumnya sehingga dapat digunakan untuk menjalankan skenario. Ada beberapa metode validasi model, yaitu :

#### 1. *Relative Precentage Difference* (RPD)

Validasi model dilakukan dengan menghitung persamaan untuk mengevaluasi kalibrasi model dan validasi model atau disebut dengan *Relative Precentage Difference* (RPD). Berikut merupakan persamaan RPD.

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

Dengan  $C_{sim}$  adalah konsentrasi simulasi (mg/L) dan  $C_{obs}$  adalah konsentrasi observasi (mg/L). Apabila nilai RPD yang diperoleh adalah <25% maka model tersebut dapat diterima (Kamal et al, 2020).

#### 2. *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE)

Validasi model metode ini bertujuan untuk mengetahui tingkat konsistensi model terhadap hasil pengamatan dan untuk mengetahui persentase nilai error yang terjadi. Rumus yang dipakai untuk mengetahui persentase nilai error adalah berikut.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[ \sum_{n=1}^n \left( \frac{St - At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\%$$

Dimana :

$St$  : nilai simulasi pada waktu  $t$

$At$  : nilai aktual pda waktu  $t$

$N$  : jumlah pengamtan ( $t = 1,2,\dots,n$ )

(Marlina, 2015).

Apabila nilai Model nilai RMSPE < 50% berarti model dapat diterima (Dekissa, 2004).

### 3. *Chi Square*

Rumus yang dipakai untuk perhitungan validasi menggunakan metode chi square adalah berikut.

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

Dimana :

$x^2$  : uji statistik rata-rata kuadrat dari simpangan

n : jumlah sampel

r : sampel ke-n

Hasil perhitungan  $x^2$  dibandingkan dengan  $x^2$  tabel pada  $\alpha = 0,95$ . Jika  $x^2$  hitung >  $x^2$  tabel, maka model ditolak dan jika  $x^2$  hitung <  $x^2$  tabel, maka model diterima (Lusiana N dkk, 2020).

#### d. **Simulasi Model**

Setelah melakukan validasi model sesuai dengan metode yang telah disebutkan di atas, maka dilakukan simulasi model untuk mengetahui keadaan Sungai Winongo di berbagai kondisi. Simulasi model dilakukan dengan menggunakan skenario. Ada beberapa skenario yang akan dilakukan, yaitu :

##### 1. Skenario 1 Modifikasi beban pencemar

Simulasi skenario 1 adalah dengan memodifikasi beban pencemar COD dan TSS dengan melakukan pengurangan TSS dan COD effluent sebanyak 50%. Persen pengurangan tersebut diadaptasi dari penelitian yang dilakukan oleh Srinivas & Singh, 2018. Skenario ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengurangan beban pencemar dengan persebaran TSS dan COD di Sungai Winongo.

##### 2. Skenario 2 Oksigenasi Lokal

Simulasi skenario 2 adalah dengan menempatkan terjunan di semua titik. Skenario ini memiliki tujuan agar mengetahui seberapa

berpengaruh penempatan terjunan terhadap persebaran konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo.

3. Skenario 3 Modifikasi Bbean Pencemar dan Oksigenasi lokal

Simulasi skenario 3 adalah dengan mengkombinasikan antara skenario pengurangan 50% TSS dan COD effluent dengan asumsi adanya penempatan terjunan di tiap titik. Tujuan dari skenario ini adalah untuk mengetahui seberapa berpengaruh pengurangan 50% sekaligus adanya terjunan terhadap persebaran TSS dan COD di Sungai Winongo.



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian dan Titik Sampling Sungai Winongo**

##### **4.1.1 Gambaran Umum**

Penelitian kali ini dilakukan di sepanjang Sungai Winongo Provinsi DIY. Bagian hulu Sungai Winongo berada di kaki Gunung Merapi, Kabupaten Sleman kemudian mengalir melintasi bagian tengah yaitu Kota Yogyakarta dan bermuara di bagian hilir yaitu di Kabupaten Bantul. Dari hasil pengamatan, di bagian hulu Sungai Winongo terdapat sumber pencemar berupa limbah perikanan, limbah pertanian dan masukan anak sungai. Di bagian tengah terdapat sumber pencemar berupa limbah domestik dan saluran drainase. Limbah domestik adalah air buangan yang berasal dari aktivitas sehari-hari manusia seperti penggunaan toilet, dapur, wastafel, mencuci dan lainnya yang apabila langsung dibuang ke lingkungan tanpa melakukan pengolahan secara tepat terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran (Filliazati dkk., 2017). Saluran drainase perkotaan berfungsi sebagai pengalir air hujan. Permasalahan saluran drainase biasanya berasal dari masuknya air limbah yang mengandung polutan yang kemudian mengalir melalui saluran drainase dan berakhir di sungai (Fertrisinanda dan Wahyono, 2012). Untuk sumber pencemar di bagian hilir berupa limbah pertanian dan masukan dari anak sungai yang masuk ke Sungai Winongo. Sumber pencemar tersebut menyebabkan Sungai Winongo menjadi tercemar sehingga kualitas airnya menurun. Data pemantauan kualitas air DLH DIY tahun 2020 menunjukkan bahwa Sungai Winongo termasuk dalam kategori kelas II, yang kegunaannya adalah untuk sarana/prasarana, peternakan, budidaya ikan dan sebagainya.

##### **4.1.2 Titik Sampling**

Terdapat delapan (8) titik lokasi di sepanjang Sungai Winongo untuk pengambilan sampel. Pengambilan sampel dilakukan berurutan mulai dari bagian

hulu sungai yang berlokasi di Purwobinangun, Pakem, Sleman, lalu di bagian tengah yang berlokasi di Jatimulyo, Kricak, Kota Yogyakarta dan berakhir di bagian hilir yang berlokasi di Gading, Kretek, Bantul. Panjang total Sungai Winongo pada penelitian ini adalah 46,94 km. Data tersebut didapat dari pengukuran menggunakan bantuan *software* QGIS versi 3.14.16.

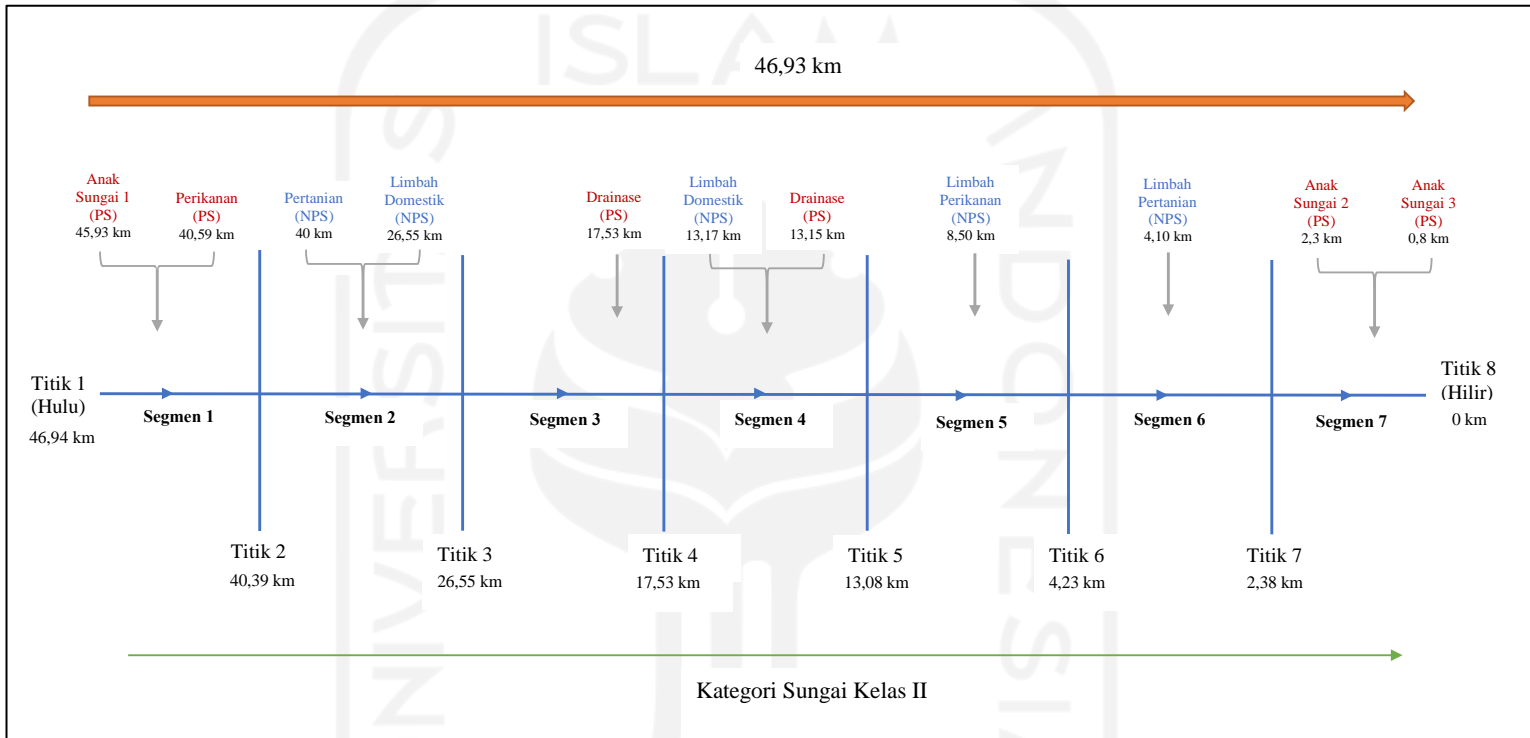
*Sampling* dilakukan dua hari yaitu pada tanggal 7 dan 9 Desember 2021, dengan satu kali pengambilan di tiap – tiap titik *sampling* yang telah dibuat. *Sampling* dimulai pada pagi hari hingga siang hari dan dilakukan saat musim penghujan. Pada hari pertama *sampling* yaitu tanggal 7 Desember 2021, pengambilan sampel dilakukan mulai dari titik 6, titik 7 dan titik 8. Untuk selanjutnya di hari kedua yaitu pada tanggal 9 Desember 2021, pengambilan sampel dilakukan mulai dari titik 5, titik 4, titik 3, titik 2 dan terakhir titik 1.

Dari pengamatan yang dilakukan diketahui bahwa terdapat sumber pencemar *point source* dan sumber pencemar *non-point source* di Sungai Winongo. Pada segmen 1 terdapat anak sungai 1 dan limbah perikanan sebagai sumber pencemar *point source*. Selanjutnya di segmen 2 terdapat limbah pertanian dan limbah domestik sebagai sumber pencemar *non-point source*. Pada segmen 3 dan segmen 4 terdapat saluran drainase sebagai sumber pencemar *point source*, dan untuk segmen 4 terdapat limbah domestik sebagai sumber pencemar *non-point source*. Lalu pada segmen 5 terdapat limbah perikanan sebagai sumber pencemar *non-point source*. Untuk segmen 6 terdapat limbah pertanian sebagai sumber pencemar *non-point source*. Selanjutnya pada segmen 7 terdapat anak sungai 2 dan anak sungai 3 sebagai sumber pencemar *point source*.

Konsentrasi TSS dan COD di anak sungai 1 pada *point source* segmen 1 sebesar 352,5 mg/L dan 3 mg/L. Untuk konsentrasi TSS dan COD pada limbah perikanan di *point source* segmen 2 adalah 737,5 mg/L dan 44,8 mg/L. Segmen 3 dan segmen 4 memiliki sumber pencemar *point source* yang sama yaitu saluran drainase, dengan konsentrasi TSS dan COD berturut – turut sebesar 19,61 mg/L dan 61,14 mg/L, serta 225 mg/L dan 59,23 mg/L. Selanjutnya konsentrasi TSS dan COD anak sungai 2 di *point source* segmen 7 adalah 87,5 mg/L dan 9,79 mg/L dan untuk konsentrasi TSS dan COD anak sungai 3 di *point source* segmen 7

adalah 312,4 mg/L dan 9,2 mg/L. Buangan dari *point source* dan *non-point source* yang mengandung polutan dengan bahan organik dan nutrisi, merupakan penyebab utama penurunan kualitas air sungai (Tran *et al*, 2022). Sehingga dengan mengetahui beban pencemar yang masuk ke Sungai Winongo maka baik atau buruknya kondisi kualitas air Sungai Winongo akan diketahui. Sketsa sumber pencemar di Sungai Winongo dapat dilihat pada gambar 4.1.





**Gambar 4.1** Sketsa Sumber Pencemar









Detail titik lokasi *sampling* dapat dilihat pada tabel 4.1, dan untuk kondisi lokasi titik *sampling* dapat dilihat di tabel 4.2 dibawah ini.



**Tabel 4.1** Titik Sampling Sungai Winongo



Segmen	Panjang (km)	Titik	Jarak (km)	Lokasi
Segmen 1 (T1 – T2)	6,55	Titik 1	46,94	Purwobinangun, Pakem, Sleman
		Titik 2	40,39	Denggung, Donokerto, Sleman
Segmen 2 (T2 – T3)	13,84	Titik 3	26,55	Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta
Segmen 3 (T3 – T4)	9,02	Titik 4	17,53	Jlagaran, Bumijo, Yogyakarta
Segmen 4 (T4 – T5)	4,45	Titik 5	13,08	Tamansari, Wirobrajan, Yogyakarta
Segmen 5 (T5 – T6)	8,85	Titik 6	4,23	Dongkelan, Kasihan, Bantul
Segmen 6 (T6 – T7)	1,85	Titik 7	2,38	Bakulan, Jetis, Bantul
Segmen 7 (T7 – T8)	2,38	Titik 8	0	Gading, Kretek, Bantul

**Tabel 4.2** Kondisi Lokasi Titik Sampling Sungai Winongo

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
Titik 1		<p>Titik 1 terletak di Jembatan Purwobinangun, Pakem, Sleman. Kondisi air di titik ini jernih, tidak berbau, arus alirnya tidak begitu deras dan kondisi vegetasinya masih banyak sehingga kondisi sekitar sungai terbilang sejuk. Cuaca pada waktu sampling di titik 1 adalah cerah berawan.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 1 adalah 0,42 m dan lebarnya adalah 2,7 m.</p>
Segmen 1		<p>Di segmen 1 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> yaitu anak sungai 1 dan limbah perikanan.</p>
Titik 2		<p>Titik 2 berlokasi di Jembatan Denggung, Donokerto, Sleman.</p> <p>Kondisi air di titik ini jernih, tidak berbau, arus alirnya tidak begitu deras dan kondisi vegetasinya masih banyak sehingga kondisi sekitar sungai terbilang sejuk. Cuaca pada waktu sampling di titik 2 adalah cerah berawan.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 2 adalah 0,4 m dan lebarnya adalah 4,4 m.</p>



<p>Segmen 2</p>		<p>Di segmen 2 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> limbah pertanian dan sumber pencemar <i>non-point source</i> limbah domestik.</p>
<p>Titik 3</p>		<p>Titik 3 berlokasi di Jembatan Jatimulyo, Kricak, Kota Yogyakarta. Kondisi air di titik ini sedikit keruh, sedikit berbau, arus alirnya cukup deras dan vegetasinya tidak terlalu banyak. Cuaca pada waktu sampling di titik 3 adalah cerah berawan. Kedalaman sungai di titik 3 adalah 0,66 m dan lebarnya adalah 11,4 m.</p>
<p>Segmen 3</p>		<p>Di segmen 3 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> saluran drainase titik 4.</p>


Titik 4		<p>Titik 4 berlokasi Jembatan Jlagaran, Bumijo, Kota Yogyakarta. Kondisi air di titik ini tidak begitu keruh, tidak berbau, arus alirnya tidak begitu deras dan vegetasinya tidak terlalu banyak. Cuaca pada waktu sampling di titik 4 adalah cerah berawan.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 4 adalah 0,46 m dan lebarnya adalah 21 m.</p>
Segmen 4		<p>Di segmen 4 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> saluran drainase titik 5 dan sumber pencemar <i>non-point source</i> limbah domestik.</p>

<p>Titik 5</p>		<p>Titik 5 berlokasi di Jembatan Tamansari, Wirobrajan, Kota Yogyakarta. Kondisi air di titik ini keruh, kotor karena banyak sampah, berbau, arus alirnya tidak begitu deras dan kondisi vegetasinya terbilang banyak. Cuaca pada waktu sampling di titik 5 adalah cerah berawan.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 5 adalah 1,15 m dan lebarnya adalah 22,3 m.</p>
<p>Segmen 5</p>		<p>Di segmen 5 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> limbah perikanan.</p>

الجمعة المستد الاندو

<p>Titik 6</p>		<p>Titik 6 berlokasi di Jembatan Dongkelan, Kasihan, Bantul.</p> <p>Kondisi air di titik ini berwarna hijau keruh, tidak berbau, arus alirnya cukup deras dan kondisi vegetasinya terbilang banyak. Cuaca pada waktu sampling di titik 6 adalah cerah.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 6 adalah 0,31 m dan lebarnya adalah 11 m.</p>
<p>Segmen 6</p>		<p>Di segmen 6 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> limbah pertanian.</p>

<p>Titik 7</p>		<p>Titik 7 berlokasi di Jembatan Bakulan, Jetis, Bantul.</p> <p>Kondisi air di titik ini keruh, sedikit berbau, arus alirnya tidak begitu deras dan kondisi vegetasinya terbilang banyak. Cuaca pada waktu sampling di titik 7 adalah cerah.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 7 adalah 2,35 m dan lebarnya adalah 15 m.</p>
<p>Segmen 7</p>		<p>Di segmen 7 terdapat sumber pencemar <i>point source</i> yaitu anak sungai 2 dan anak sungai 3.</p>

Titik 8		<p>Titik 8 berlokasi di Jembatan Gading, Kretek, Bantul.</p> <p>Kondisi air di titik ini keruh, tidak berbau, arus alirnya tidak begitu deras dan kondisi vegetasinya tidak begitu banyak. Cuaca pada waktu sampling di titik 8 adalah cerah.</p> <p>Kedalaman sungai di titik 8 adalah 1,73 m dan lebarnya adalah 17,8 m.</p>
---------	---	--





## 4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Winongo

Dalam menggunakan *software* QUAL2Kw dibutuhkan beberapa data hidrolik sungai untuk kalibrasi model. Data hidrolik air sungai mencakup debit air sungai (m<sup>3</sup>/s), kedalaman sungai (m) dan kecepatan aliran (m/s). Data hidrolik Sungai Winongo didapat dari pengukuran lapangan dan perhitungan pada saat *sampling* di titik yang sudah dibahas di atas.

Untuk mendapatkan data hidrolik sungai ada berbagai macam cara yang bisa dilakukan. Pada penelitian ini, pengukuran kedalaman sungai, lebar sungai dan kecepatan alir dilakukan secara manual karena medan Sungai Winongo yang tidak memungkinkan untuk dijangkau. Untuk mengukur kedalaman sungai menggunakan tongkat panjang yang dimasukkan ke sungai hingga mencapai dasar, lalu bagian tongkat yang basah diukur menggunakan meteran. Apabila kondisi sungai pada suatu titik *sampling* sulit dijangkau, pengukuran dilakukan menggunakan tali panjang yang telah diikat dengan batu sebagai pemberat, lalu dimasukkan ke dalam sungai, lalu tali yang basah diukur menggunakan meteran. Untuk lebar sungai diukur dengan cara mengukur lebar jembatan menggunakan meteran. Data hidrolik Sungai Winongo dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Data Hidrolik Sungai Winongo

Titik	Q (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	V (m/s)
Headwater (Titik 1)	0,28	0,42	0,25
Titik 2	0,64	0,4	0,15
Titik 3	9,03	0,66	1,2
Titik 4	4,83	0,46	0,5
Titik 5	3,33	1,15	0,13
Titik 6	5,1	0,31	1,5
Titik 7	8,46	2,35	0,24
Titik 8	5,38	1,73	0,175

Sumber : Hasil Pengukuran Lapangan, 2021

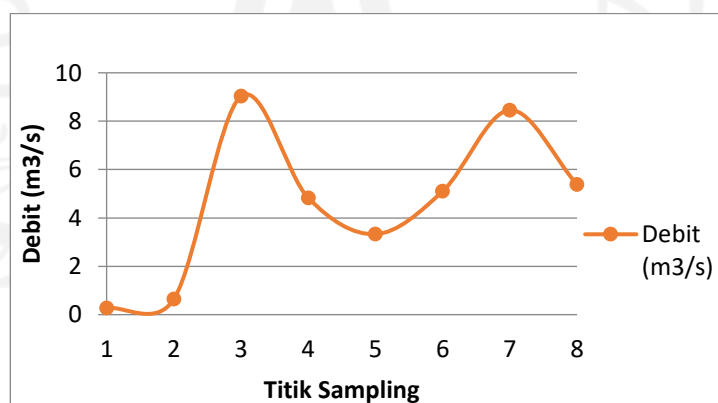
Data *slope* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.4:

**Tabel 4.4** *Slope* Sungai Winongo

Segmen	Slope
Segmen 1 (T1 – T2)	0,0038
Segmen 2 (T2 – T3)	0,0135
Segmen 3 (T3 – T4)	0,0014
Segmen 4 (T4 – T5)	0,0028
Segmen 5 (T5 – T6)	0,0028
Segmen 6 (T6 – T7)	0,0067
Segmen 7 (T7 – T8)	0,0106

Sumber : Analisa Data, 2022

Setelah mengetahui kedalaman, lebar dan kecepatan alir Sungai Winongo, berikutnya merupakan pengukuran debit. Besar nilai debit dipengaruhi oleh berbagai hal, seperti kondisi topografi DAS, bentuk dan ukuran DAS, kemiringan lereng dan tata guna lahan (Suyarto et al., 2019). *Sampling* dilakukan pada saat musim penghujan, yang juga akan mempengaruhi besar atau kecilnya nilai debit. Grafik fluktuasi debit Sungai Winongo disajikan pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Debit Sungai Winongo

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai debit pada titik 1 hingga titik 8 mengalami fluktuasi yang beragam. Nilai debit paling kecil adalah sebesar 0,28 m<sup>3</sup>/s yang terdapat di titik 1. Hal ini dikarenakan lebar sungai yang kecil, kondisi sungai yang landai dan arus alir yang tidak deras atau tenang. Titik 1 memiliki lebar sungai sebesar 2,7 m, slope sebesar 0,0038 dan kecepatan alir sebesar 0,25 m/s. Sungai dengan kemiringan yang landai atau datar akan mengurangi kecepatan aliran permukaan sehingga debit yang dihasilkan kecil (Lesmana et al., 2018). Nilai debit di titik 2 adalah 0,64 m<sup>3</sup>/s, debit titik 2 mengalami kenaikan dari titik 1. Naiknya debit dapat terjadi karena di titik 2 terdapat saluran limbah perikanan yang mengalir ke Sungai Winongo, sehingga volume air yang masuk di titik 2 lebih banyak dan menyebabkan nilai debit makin tinggi. Untuk nilai debit paling besar terdapat di titik 3 dengan nilai sebesar 9,03 m<sup>3</sup>/s. Hal ini terjadi dikarenakan bentuk sungai yang lebar dan arus alir yang deras. Lebar sungai di titik 3 adalah 11,4 m. Semakin luas atau semakin lebar suatu DAS, kecepatan alir akan meningkat karena hujan yang ditangkap semakin banyak dan akan menghasilkan nilai debit yang besar (Suyarto et al., 2019). Di titik 4 dan titik 5, nilai debit kembali mengalami penurunan karena arus sungai pada titik 4 dan titik 5 terbilang tenang dan tidak deras. Kecepatan arus mempengaruhi nilai debit aliran, semakin tinggi kecepatan arus maka akan semakin tinggi pula nilai debit airnya begitupun sebaliknya (Puteri dkk, 2019). Di titik 6 nilai debit kembali mengalami peningkatan yang dapat disebabkan oleh bentuk sungai yang lebar yaitu 11 m dan arus sungai yang deras. Sungai yang memiliki bentuk yang lebar dapat meningkatkan kecepatan arus sungai sehingga debit yang dihasilkan makin besar (Staddal dkk, 2017). Sedangkan peningkatan nilai debit di titik 7 dapat disebabkan oleh bentuk permukaan sungai yang lebar yaitu 15 m dan kedalaman sebesar 2,35 m. Dibandingkan di titik lainnya, kedalaman di titik 7 adalah yang paling dalam. Kedalaman dan lebar sungai mempengaruhi debit sungai, semakin dalam sungai semakin besar debit yang dihasilkan (Sulaxono dkk, 2020). Di titik terakhir yaitu titik 8, nilai debit mengalami penurunan karena arus sungainya sangat tenang dan vegetasinya masih banyak. Banyaknya tumbuhan dan pepohonan akan menyerap banyak air melalui infiltrasi atau evapotranspirasi

sehingga mengurangi run off yang berdampak pada nilai debit (Muchtar dan Abdullah, 2017).

### 4.3 Kualitas Air Sungai Winongo

Untuk menentukan kualitas air Sungai Winongo, terdapat beberapa parameter yang harus diukur diantaranya parameter fisika dan kimia. Parameter fisika yang diukur pada penelitian kali ini adalah temperatur air dan *Total Suspended Solid* (TSS). Sedangkan parameter kimia yang diukur adalah derajat keasaman (pH) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Nilai temperatur air dan pH didapat dari hasil pengukuran langsung pada saat *sampling*. Selanjutnya *sample* yang telah diukur temperatur dan pH diuji di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII untuk mengetahui nilai konsentrasi COD. Parameter TSS dan COD digunakan sebagai penentu kualitas air Sungai Winongo. Semakin rendah nilai konsentrasi TSS dan COD maka kualitas air Sungai Winongo semakin baik. Begitupun sebaliknya. Semakin tinggi nilai konsentrasi TSS dan COD maka kualitas air Sungai Winongo semakin buruk.

#### 4.3.1 Temperatur Air

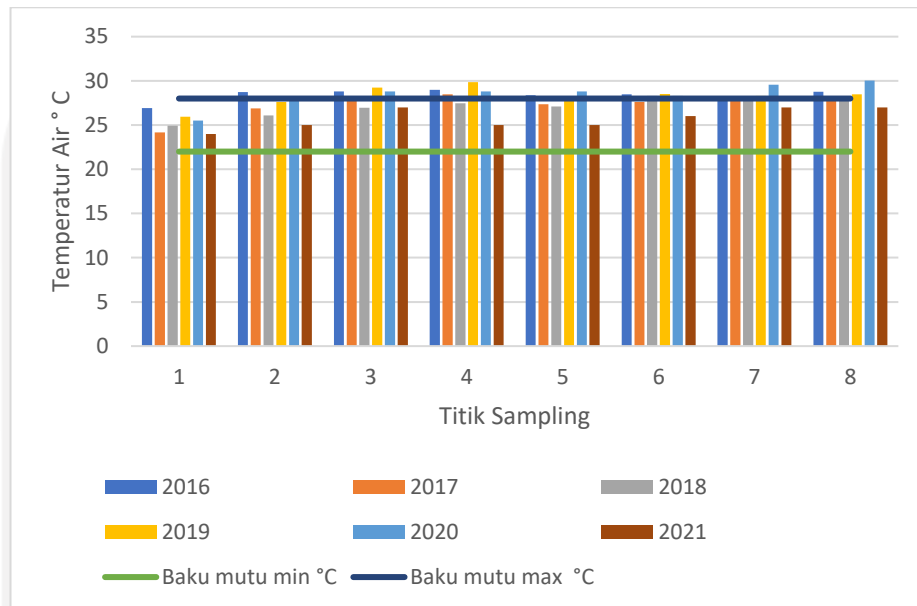
Salah satu parameter kualitas air adalah temperatur atau suhu air. Temperatur air memiliki pengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam air, proses metabolisme organisme dan reaksi kimia dalam perairan (Maghfiroh, 2016). Data temperatur air Sungai Winongo pada tahun 2016 – 2022 yang diambil dari data DLH DIY dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016 - 2021

Temperatur Air °C								Baku mutu min kelas II °C	Baku mutu max kelas II °C
	Titik	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Hulu	1	26,93	24,17	24,93	25,93	25,5	24	22	28
	2	28,73	26,87	26,1	27,6	28,05	25	22	28
Tengah	3	28,8	27,93	26,97	29,23	28,8	27	22	28
	4	29	28,47	27,47	29,87	28,8	25	22	28
	5	28,37	27,37	27,1	27,87	28,8	25	22	28

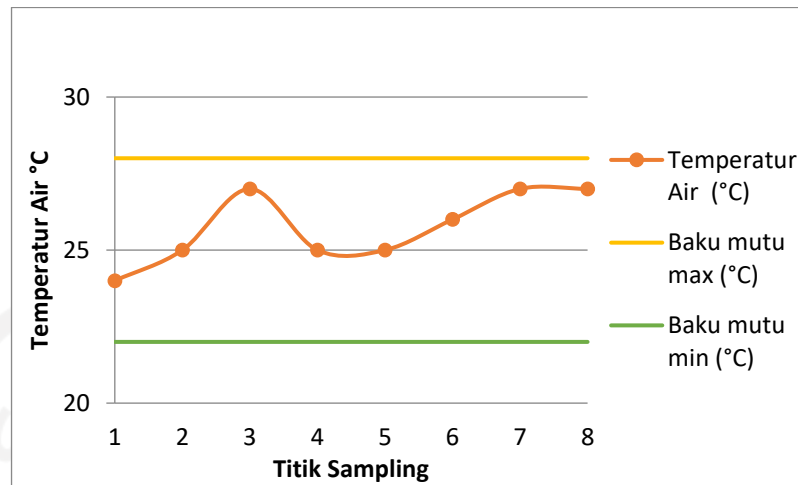
Hilir	6	28,47	27,6	28,3	28,5	28,3	26	22	28
	7	28,2	28,2	27,8	28,3	29,55	27	22	28
	8	28,77	27,93	27,93	28,47	30,05	27	22	28

Sumber : DLH DIY



**Gambar 4.3** Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2021

Pada gambar 4.3 dapat diketahui bahwa di tahun 2016 dan 2020, temperatur air berada di atas baku mutu maksimal. Sedangkan di tahun 2017 – 2019 temperatur air berada di rentang baku mutu kelas II yang diperbolehkan. Temperatur udara juga mempengaruhi tingginya nilai temperatur air. Untuk hasil pengukuran temperatur air pada saat *sampling* dapat dilihat pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Nilai Temperatur Air Sungai Winongo

(Sumber : Analisa Data, 2022)

Pada gambar 4.4 dapat diketahui bahwa temperatur air Sungai Winongo berkisar anatar 24°C hingga 27°C. Temperatur air tertinggi bernilai 27°C yang berada di titik 3, titik 7 dan titik 8. Hal ini disebabkan oleh waktu *sampling* dilakukan pada siang hari dengan kondisi cerah dan panas sehingga nilai temperatur air tinggi karena temperatur udara yang juga tinggi. Sedangkan temperatur air terendah bernilai 24°C yang berada di titik 1. Hal ini disebabkan karena lokasi titik 1 yang berada di kaki gunung dengan suasana yang sejuk dan dingin. Sehingga walaupun *sampling* dilakukan pada siang hari, temperatur udara di titik 1 tidak tinggi begitupun dengan temperatur air. Nilai temperature yang ideal dan baik bagi kehidupan biota air adalah 25°C - 30°C (Mardhia, 2018). Sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur air Sungai Winongo pada penelitian kali ini berada di titik yang ideal.

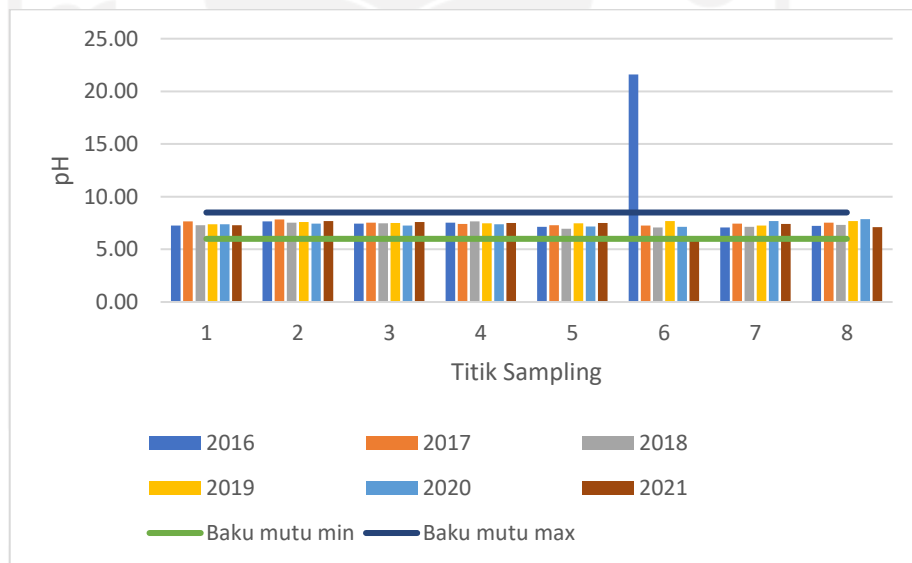
#### 4.3.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Maka dari itu derajat keasaman merupakan bagian penting dalam mengetahui kualitas air suatu perairan (Karangan dkk., 2019). Di bawah ini adalah data pH Sungai Winongo pada tahun 2016 – 2020 yang diambil dari data DLH DIY.

**Tabel 4.6** pH Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020

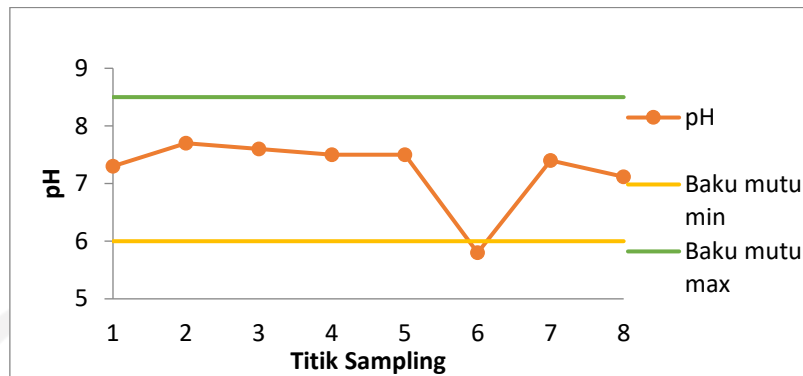
PH								Baku mutu min kelas II	Baku mutu max kelas II
	Titik	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Hulu	1	7,27	7,67	7,29	7,37	7,38	7,3	6	8,5
	2	7,67	7,84	7,53	7,59	7,44	7,7	6	8,5
Tengah	3	7,43	7,55	7,48	7,51	7,27	7,6	6	8,5
	4	7,53	7,41	7,66	7,46	7,38	7,5	6	8,5
	5	7,13	7,29	6,97	7,48	7,18	7,5	6	8,5
Hilir	6	21,6	7,26	7,08	7,69	7,16	5,8	6	8,5
	7	7,07	7,44	7,14	7,26	7,70	7,4	6	8,5
	8	7,23	7,54	7,31	7,68	7,87	7,12	6	8,5

Sumber : DLH DIY



**Gambar 4.5** pH Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020

Dari gambar 4.5 diketahui bahwa nilai pH Sungai Winongo 5 tahun kebelakang berada di rentang baku mutu air kelas II, yaitu 6 – 8,5, kecuali pada tahun 2016 di titik 1 pH mencapai angka 21,6. Pengukuran pH pada penelitian kali ini dilakukan secara langsung di Sungai Winongo dengan menggunakan multimeter. Untuk hasil pengukurannya dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Konsentrasi pH Sungai Winongo

(Sumber : Analisa Data, 2022)

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pH air Sungai Winongo bernilai 5,8 sampai 7,7. Dapat dilihat pH di titik 6 berada di bawah nilai baku mutu yaitu 5,9. Menurut Peraturan Gubernur DIY No. 20 Tahun 2008, baku mutu kelas II untuk parameter pH bernilai 6 – 8,5. Dapat disimpulkan bahwa kondisi perairan di titik 6 bersifat asam. Hal ini disebabkan karena *sampling* dilakukan pada saat pagi hari dengan kondisi cuaca yang dingin tanpa adanya cahaya matahari yang terik dengan temperatur di titik 6 adalah 26°C. Cahaya matahari dapat meningkatkan temperatur permukaan air, sedangkan pada saat temperatur air rendah dapat menurunkan nilai pH air (Safitri dan Putri, 2012).

#### 4.3.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

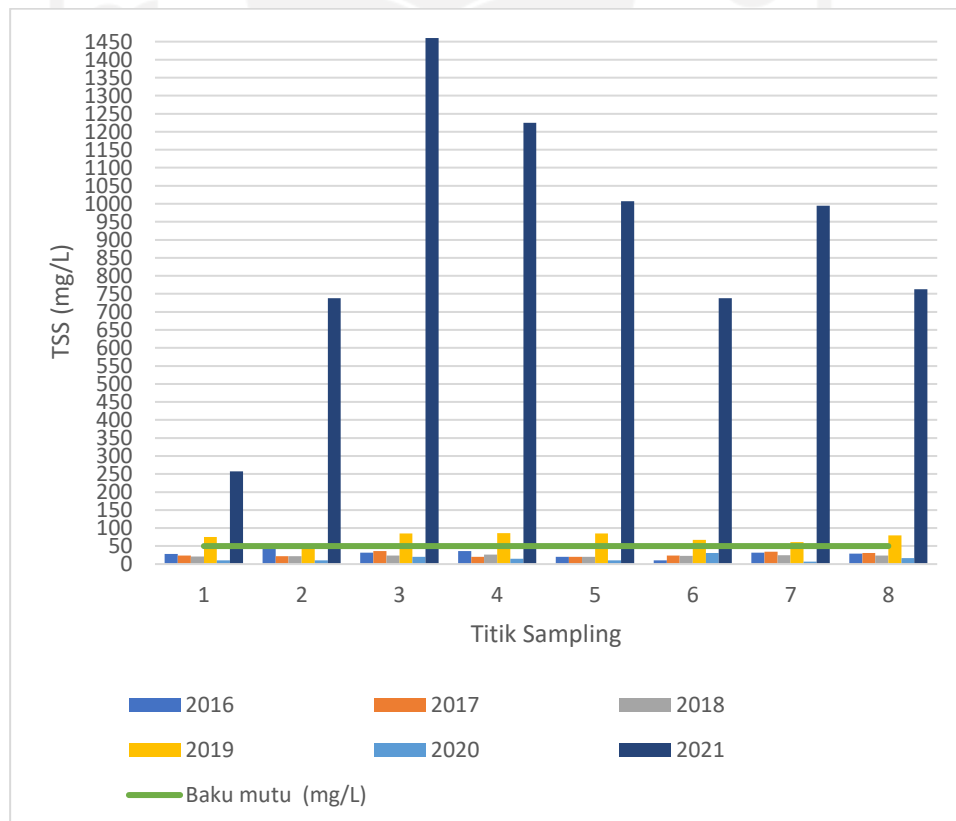
TSS merupakan salah satu faktor dalam menentukan kualitas air permukaan. Nilai TSS yang tinggi menunjukkan bahwa kekeruhan perairan tersebut tinggi. Hal ini berpotensi menghambat masuknya cahaya matahari ke dalam perairan, yang akan mengganggu proses fotosintesis dan menghambat pertumbuhan organisme di dalam perairan tersebut (Winnarsih dkk., 2016). Sehingga dalam waktu jangka panjang akan menyebabkan sedimentasi atau pendangkalan (Aulia dkk., 2021). Berikut adalah data konsentrasi TSS Sungai Winongo tahun 2016 – 2020.



**Tabel 4.7** Konsentrasi TSS Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020

		TSS (mg/L)						Baku mutu kelas II (mg/L)
Titik		2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Hulu	1	28	24	21	75	10,8	257,5	50
	2	48	22	22	45	10,6	737,5	50
Tengah	3	32	36	24	85	19,8	1460	50
	4	36	20	26	86	15	1225	50
	5	20	20	20	85	10	1007,5	50
Hilir	6	10	24	23	67	30,89	737,5	50
	7	32	34	25	61	6,8	995	50
	8	29	31	24	80	16,2	762,5	50

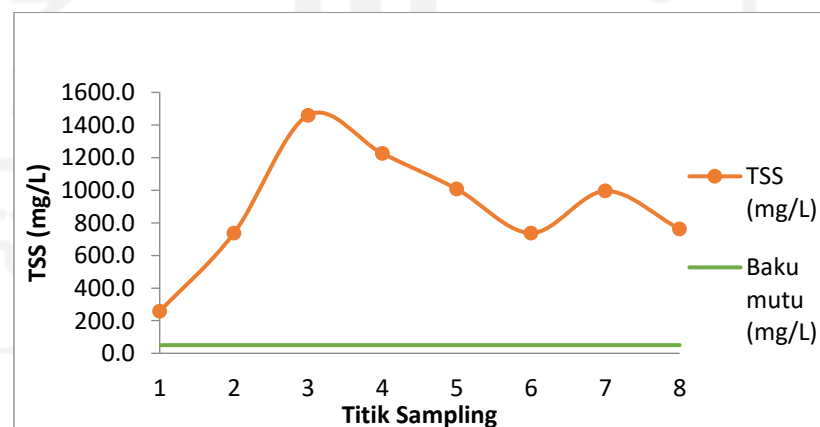
Sumber : DLH DIY



**Gambar 4.7** Konsentrasi TSS Sungai Winongo Tahun 2016 – 2021

Data dari DLH DIY menunjukkan bahwa selama 5 tahun kebelakang, konsentrasi TSS di Sungai Winongo cenderung berada di bawah baku mutu. Di tahun 2019, konsentrasi TSS tercatat berada di atas baku mutu air kelas II yaitu 50 mg/L. Tetapi terdapat perbedaan yang cukup besar dari data sampling yang dilakukan pada Desember 2021. Hal ini dapat disebabkan karena adanya aktivitas konstruksi jalan inspeksi di bantaran sungai Winongo dan pembangunan ruang terbuka publik. Pembangunan jalan inspeksi merupakan salah satu program yang dilakukan pemerintah DIY untuk penataan kawasan kumuh di bantaran sungai Winongo (DPUPKP Kota Yogyakarta, 2021). Sejalan dengan pernyataan Canter (1995) dalam Yohannes dkk (2019), adanya aktivitas konstruksi di bantaran sungai akan mempermudah masuknya sedimen ke dalam air akibat dari pembukaan lahan, sehingga menyebabkan konsentrasi TSS tinggi.

Untuk hasil pengukuran TSS dapat dilihat pada gambar 4.8. Pengukuran konsentrasi TSS pada penelitian kali ini didapat dari hasil pengujian di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII dengan menggunakan metode Gravimetri yang mengacu pada SNI 9689.3:2019 tentang Uji Padatan Tersuspensi Total secara Gravimetri.



**Gambar 4.8** Konsentrasi TSS Sungai Winongo

Gambar 4.8 menunjukkan rentang konsentrasi TSS di semua titik Sungai Winongo berada di atas baku mutu air kelas II yaitu 50 mg/L. Konsentrasi TSS di titik 1 merupakan konsentrasi terendah, karena titik 1 berada di hulu Sungai

Winongo yang berlokasi di kaki Gunung Merapi. Persebaran padatan tersuspensi dipengaruhi oleh laju alir yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah (Purba dkk, 2018). Air mengalir dari tempat tinggi akan membawa padatan tersuspensi ke muara sungai sehingga minim terjadinya pengendapan di bagian hulu sungai. Di titik 2 konsentrasi TSS mengalami peningkatan yang disebabkan karena adanya sumber pencemar berupa saluran limbah perikanan. Air buangan kolam perikanan yang langsung dibuang ke sungai tanpa melalui proses pengolahan menjadi penyebab meningkatnya konsentrasi TSS di sungai. Lalu di titik 3 konsentrasi TSS juga mengalami peningkatan karena air sungai di titik ini keruh. Kekeruhan air memiliki pengaruh terhadap tingginya nilai padatan tersuspensi (Poppo dkk, 2007). Sebab lain adalah karena lokasi titik 3 berada di daerah padat penduduk, sehingga ada lebih banyak aktivitas yang dilakukan di sekitar Sungai Winongo seperti mandi, cuci, kakus yang menghasilkan limbah domestik. Dari aktivitas tersebut akan ada lebih banyak lumpur, pasir dan material lainnya yang masuk ke aliran sungai yang menyebabkan air menjadi keruh, sehingga nilai TSS menjadi tinggi (Rizki dkk, 2017). Kemudian di titik 4, titik 5 dan titik 6 konsentrasi TSS kembali mengalami penurunan karena lokasinya yang dekat dengan muara sungai. Hal ini terjadi karena rendahnya nilai TSS disebabkan pola kandungan TSS yang semakin rendah seiring mengalirnya aliran sungai ke arah laut (Winnarsih dkk., 2016). Di titik 7 konsentrasi TSS kembali naik karena kondisi air yang terbilang keruh dan juga pengambilan sampel dilakukan saat musim penghujan. Tingkat curah hujan yang tinggi akan meningkatkan konsentrasi TSS, dimana polutan akan mudah terbawa oleh air hujan dari permukaan ke perairan (Aulia dkk., 2021). Konsentrasi TSS kembali menurun di titik 8. Hal ini terjadi karena kondisi arus sungai yang tenang dan lokasi yang berada di dekat muara sungai. Dari keterangan yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa konsentrasi TSS di Sungai Winongo melebihi baku mutu air kelas II yaitu 50 mg/L sesuai Pergub DIY No.20 Tahun 2008, hal ini menjadikan Sungai Winongo menjadi tercemar sehingga menyebabkan kondisi kualitas air Sungai Winongo menurun.

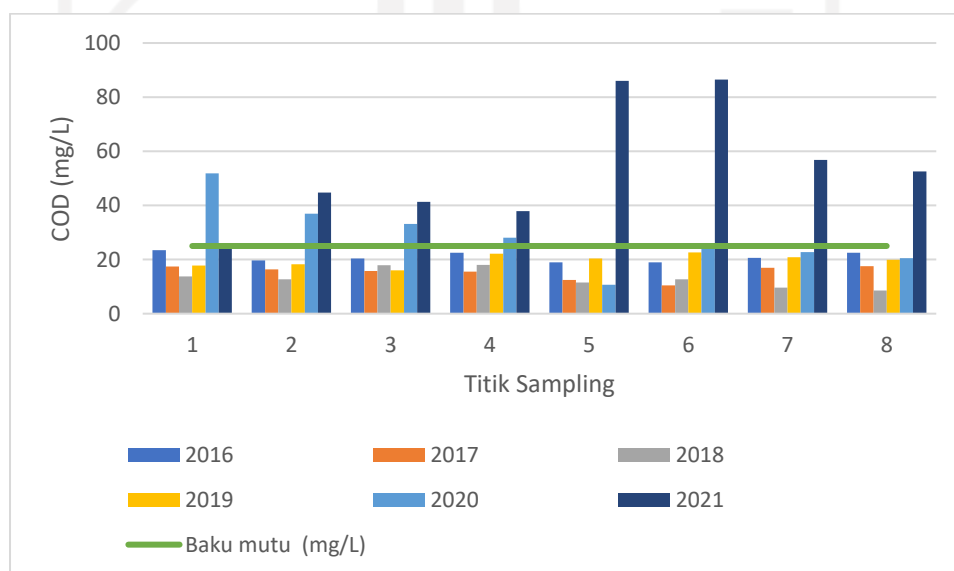
#### 4.3.4 (COD) *Chemical Oxygen Demand*

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi bahan organik di dalam air secara kimiawi. COD merupakan parameter yang digunakan sebagai indikator pencemaran suatu perairan dan dalam menentukan kualitas air permukaan (Andika dkk., 2020). Data konsentrasi COD Sungai Winongo tahun 2016 – 2020 dapat dilihat pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Konsentrasi COD Sungai Winongo Tahun 2016 – 2020

COD (mg/L)								
Titik		2016	2017	2018	2019	2020	2021	Baku mutu kelas II (mg/L)
Hulu	1	23,4	17,4	13,77	17,73	51,89	24,20	25
	2	19,7	16,4	12,64	18,2	36,89	44,80	25
Tengah	3	20,4	15,8	17,94	16	33,11	41,37	25
	4	22,5	15,5	18,05	22,1	28,03	37,90	25
	5	19	12,5	11,53	20,4	10,66	86,06	25
Hilir	6	19	10,5	12,64	22,6	24,94	86,50	25
	7	20,6	16,9	9,65	20,8	22,79	56,80	25
	8	22,5	17,5	8,53	19,9	20,49	52,58	25

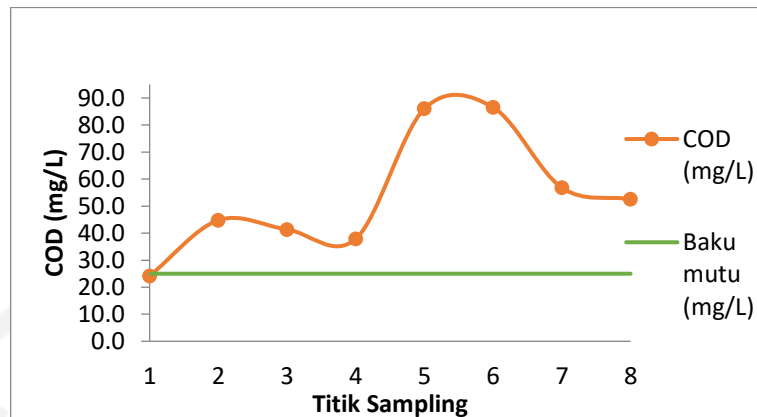
Sumber : DLH DIY



**Gambar 4.9** COD Sungai Winongo Tahun 2016 – 2021

Data dari DLH DIY menunjukkan bahwa dari tahun 2016 – 2019 konsentrasi COD ada di bawah baku mutu, dan beberapa titik di tahun 2020 konsentrasi COD berada di atas baku mutu. Dibandingkan dengan data sampling pada tahun 2021, konsentrasi TSS di sepanjang Sungai Winongo melebihi baku mutu. Hal ini dapat terjadi karena adanya aktivitas konstruksi jalan inspeksi di bantaran Sungai Winongo yang dilakukan oleh Pemerintah DIY (DLH DIY, 2020). Menurut Pradafitri (2017) dalam Yohannes (2019), kegiatan pembangunan dan kegiatan konstruksi turut berperan dalam kenaikan konsentrasi COD. Sebab lain adalah karena meningkatnya jumlah limbah rumah tangga. Akibat adanya pandemi Covid-19, Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) diberlakukan agar meminimalisir penyebaran virus. Kondisi ini membuat limbah rumah tangga meningkat akibat dari peningkatan pembelian dan konsumsi produk sekali pakai seperti masker, bahan makanan dan *sanitizer* (Sarkodie & Owusu, 2020). Menurut penelitian Aydin *et al* (2021), terjadi peningkatan konsentrasi COD selama pembatasan sosial atau *lockdown* diberlakukan. Pemberlakuan penerapan protokol kesehatan untuk selalu mencuci tangan, mencuci baju dan mandi setelah beraktivitas di luar rumah yang menyebabkan meningkatnya penggunaan deterjen, sabun dan sebagainya. Penggunaan deterjen dan sabun cuci turut menyumbang beban organik yang akan meningkatkan konsentrasi COD di sungai (Zeb *et al*, 2011).

Untuk hasil pengukuran COD dapat dilihat pada gambar 4.10. Pengukuran konsentrasi COD pada penelitian kali ini didapat dari hasil pengujian di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII dengan menggunakan metode spektrofotometri.



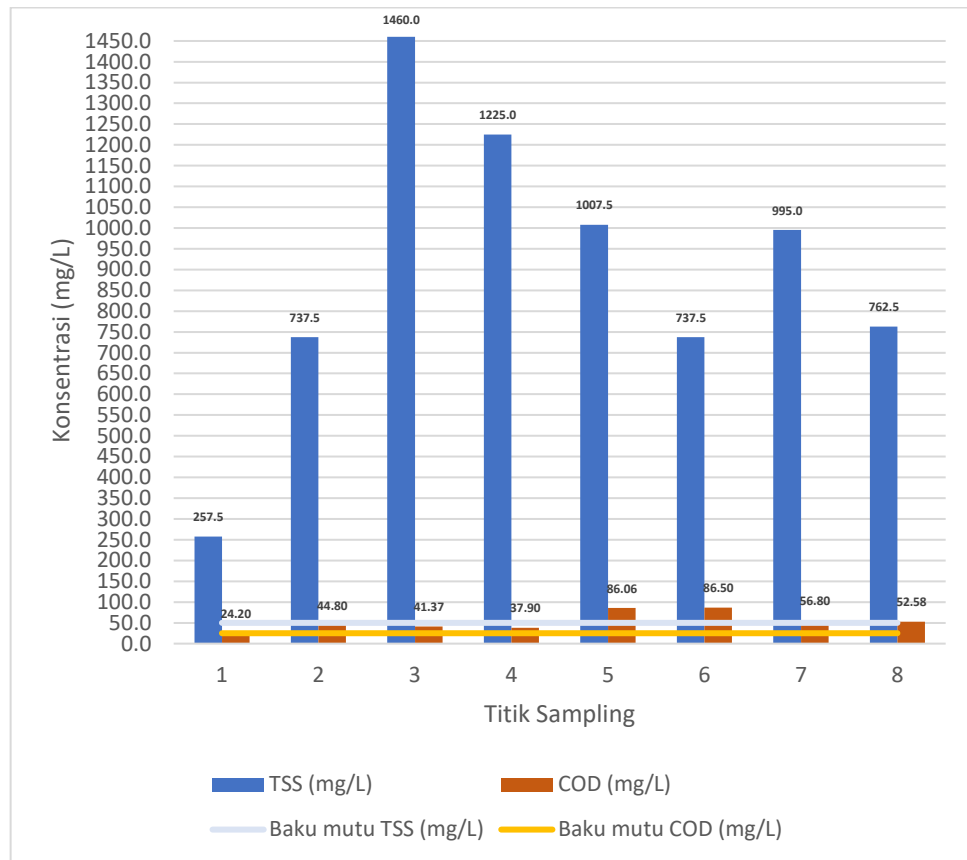
**Gambar 4.10** Konsentrasi COD Sungai Winongo

(Sumber : Analisa Data, 2022)

Dari gambar 4.10 dapat diketahui bahwa nilai COD pada titik 1 hingga titik 8 mengalami fluktuasi yang beragam. Fluktuasi konsentrasi COD dipengaruhi oleh tingginya *effluent* limbah yang masuk ke dalam sungai (Soith, 2016). *Effluent* yang dimaksud adalah limbah domestik, limbah pertanian, limbah perikanan, saluran drainase dan masukan anak sungai. Di titik 1 konsentrasi COD masih berada di bawah baku mutu dengan nilai 24,20 mg/L. Hal ini dapat disebabkan oleh jarak titik lokasi pengambilan sampel jauh dari sumber pencemar, sehingga beban pencemar atau beban organik yang masuk pun sedikit (Royani dkk., 2021). Di titik 2 menunjukkan konsentrasi COD mengalami kenaikan hingga mencapai 42,77 mg/L, karena adanya limbah perikanan yang masuk ke aliran. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan di Sungai Winongo oleh Ulfa (2021), tingginya konsentrasi COD disebabkan karena air hasil kegiatan budidaya perikanan yang dilakukan oleh penduduk setempat yang langsung dibuang ke sungai. Di titik 3 konsentrasi COD turun menjadi 41,97 mg/L. Penurunan terjadi diduga karena adanya proses *self purification* di segmen 2, karena jarak dari titik 2 ke titik 3 relatif panjang yaitu 13,84 km. Semakin panjang jarak sungai maka kemampuan sungai melakukan pemurnian alami akan semakin bagus (Agustiningsih dkk, 2012). Selanjutnya di titik 4 konsentrasi COD kembali menurun menjadi 38,24 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena *sampling* dilakukan pada pagi hari, sehingga limbah domestik yang masuk tidak banyak karena pada pagi hari masyarakat

belum banyak beraktivitas (Sasongko, 2006). Konsentrasi COD di titik 5 kembali meningkat menjadi 94,36 mg/L. Meningkatnya konsentrasi COD di titik 5 disebabkan oleh lokasi yang berada di perkotaan yang padat penduduk, sehingga masukan sumber pencemar berupa limbah domestik dan saluran drainase lebih besar. Padatnya populasi penduduk akan meningkatkan produksi air limbah domestik yang berasal dari aktivitas harian, baik itu mengalir langsung ke sungai maupun melewati saluran drainase terlebih dahulu (Khattiyavong & Lee, 2019). Menurut Qin *et al* (2014), penyebab tercemarnya air sungai adalah karena peningkatan buangan domestik yang kian meningkat. Di titik 6 konsentrasi COD kembali menurun menjadi 79,05 mg/L, karena kecepatan alir di titik 6 deras yaitu 1,5 m/s. Makin deras atau makin tinggi kecepatan alir akan meningkatkan jumlah oksigen, sehingga konsentrasi COD di sungai akan berkurang (Lumaela dkk, 2013). Di titik 7 konsentrasi COD menurun menjadi 56,8 mg/L, karena temperatur air yang tinggi yaitu 27°C. Menurut Marlina dkk (2015), temperatur air sungai yang tinggi mampu menurunkan konsentrasi COD karena dapat mempercepat proses degradasi kandungan organik dan non organik. Konsentrasi COD juga menurun di titik 8 menjadi 52,58 mg/L karena tidak terdapat sumber pencemar yang menyumbang beban pencemar secara langsung ke sungai.

Berikut merupakan grafik hasil analisa data konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo.



**Gambar 4.11** Konsentrasi TSS dan COD

#### 4.4 Pemodelan Kualitas Air Sungai Winongo dengan QUAL2Kw

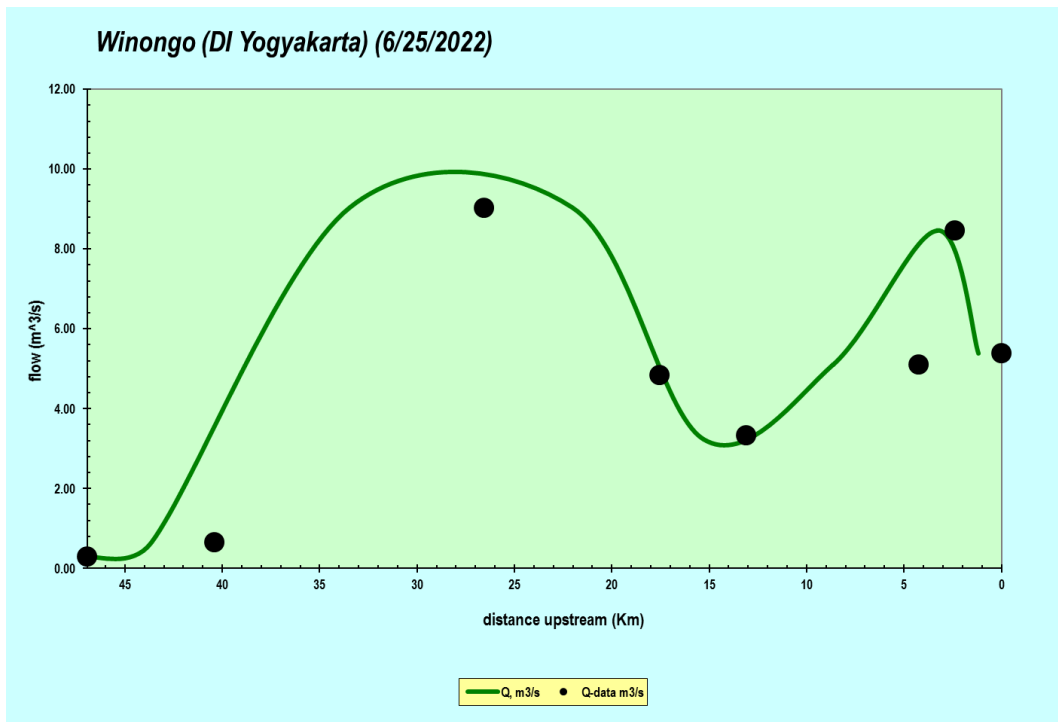
Pemodelan kualitas air Sungai Winongo pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* QUAL2Kw versi 5.1. Langkah pertama dalam menggunakan QUAL2Kw adalah menginput data – data *sampling* yang telah didapat ke *worksheet headwater*, *worksheet reach*, *worksheet klimatologi* (*air temperature*, *wind speed*, *cloud clover*), *worksheet point source and diffuse source*, *worksheet hidraulycs data*, *worksheet temperature data* dan *worksheet WQ data*. Data yang diinput di *worksheet WQ data* adalah konsentrasi parameter dari data *sampling* yang akan dimodelkan, yaitu parameter TSS dan COD. Setelah semua data selesai diinput langkah selanjutnya adalah mengkalibrasi model. Kalibrasi model dilakukan dengan melakukan *trial error* yang bertujuan agar nilai grafik model mendekati data lapangan. Dari data yang sudah di-*trial error* selanjutnya



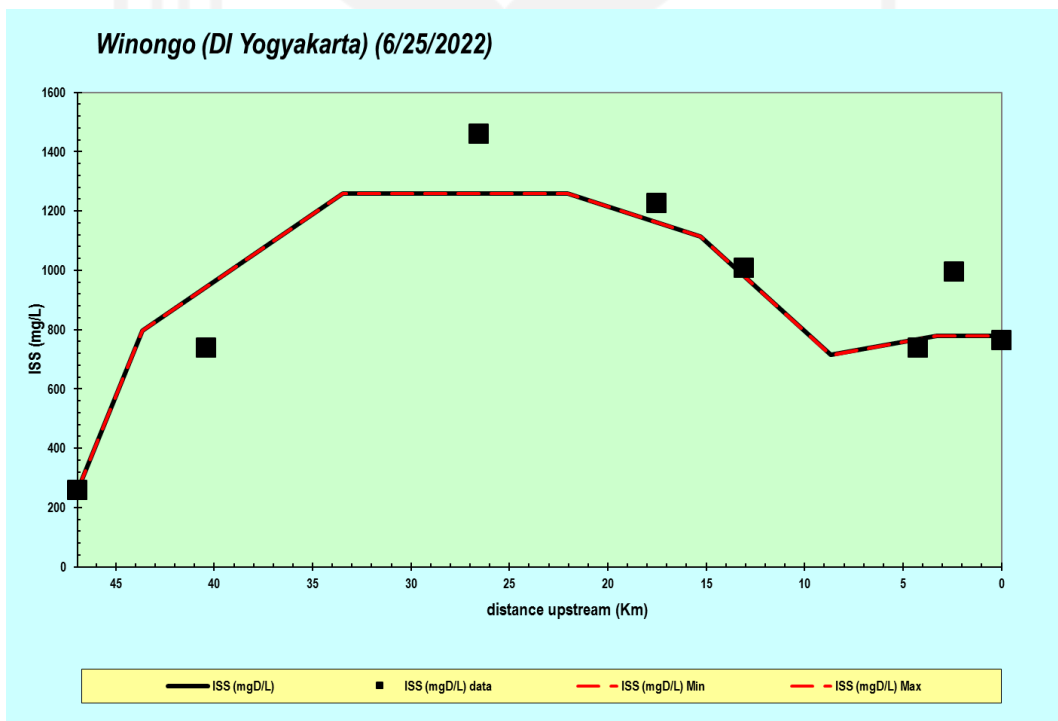
akan di validasi dengan menghitung nilai error menggunakan tiga (3) metode validasi yaitu metode RPD, RMSPE dan Chi Square. Tujuan dari validasi adalah agar nilai error memenuhi syarat sehingga model dapat diterima untuk selanjutnya dilakukan simulasi. Simulasi akan dilakukan dengan 3 skenario yang bertujuan agar mengetahui skenario yang dapat menurunkan konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo.

#### **4.4.1 Hasil Kalibrasi Model**

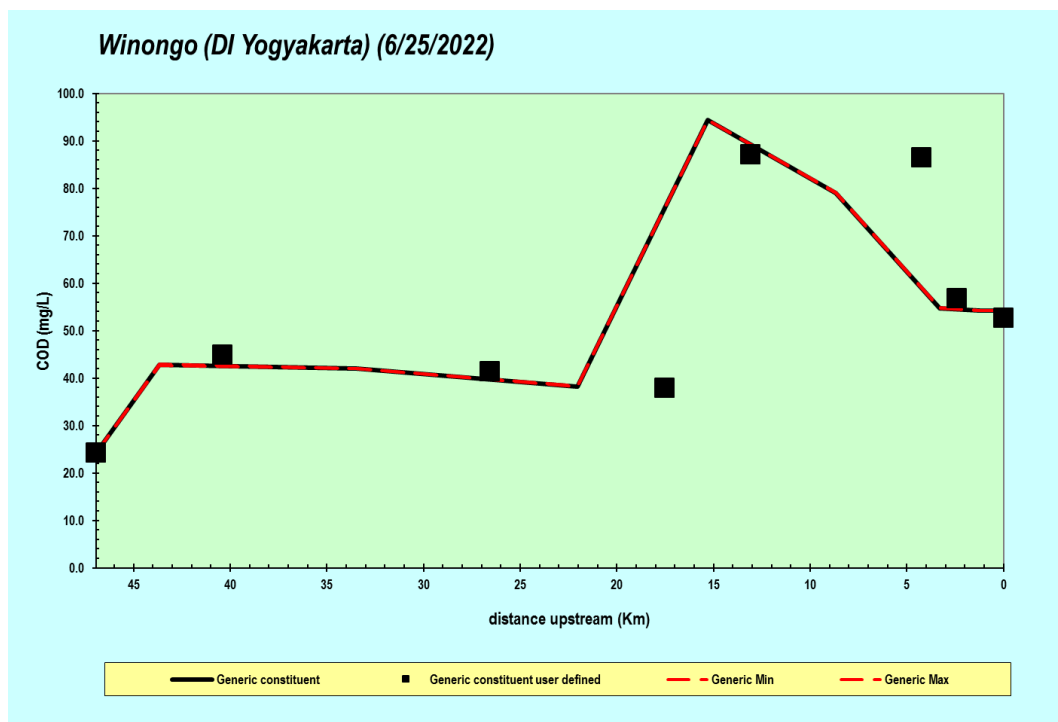
Kalibrasi model dilakukan dengan tujuan agar nilai grafik model mendekati data lapangan. Proses kalibrasi model dilakukan dengan melakukan *trial error*. Kalibrasi model pertama yang dilakukan adalah kalibrasi pada model debit dengan merubah nilai debit yang keluar ataupun masuk di *worksheet point source and diffuse source*. Hal ini dilakukan agar nilai grafik model (garis hijau) mendekati data lapangan (titik hitam). Selanjutnya adalah kalibrasi parameter TSS. Kalibrasi dilakukan dengan cara *trial error* pada konsentrasi TSS di sumber pencemar pada *worksheet point source and diffuse source*, seperti limbah domestik, limbah pertanian dan sebagainya. *Trial error* dilakukan hingga nilai grafik model (garis merah) mendekati data lapangan (titik hitam). Untuk parameter COD, kalibrasi yang dilakukan sama dengan kalibrasi parameter TSS yaitu dengan cara *trial error* pada konsentrasi COD di sumber pencemar pada *worksheet point source and diffuse source*, seperti limbah domestik, limbah pertanian, masukan anak sungai dan sebagainya hingga nilai grafik model (garis merah) mendekati data lapangan (titik hitam). Hasil kalibrasi model debit, TSS dan COD pada Sungai Winongo dapat dilihat pada gambar 4.12, 4.13 dan 4.14.



**Gambar 4.12** Hasil Kalibrasi Data Debit Sungai Winongo



**Gambar 4.13** Hasil Kalibrasi Data TSS Sungai Winongo



**Gambar 4.14** Hasil Kalibrasi Data COD Sungai Winongo

Kalibrasi debit dilakukan dengan cara melakukan *trial error* pada nilai debit sumber pencemar yang masuk dan keluar. Untuk *point source*, *trial error* pada *point source* dilakukan pada kolom *point inflow* dan *point abstraction*. Sedangkan *trial error* pada *non-point source* atau *diffuse source* dilakukan pada kolom *diffuse inflow* dan *diffuse abstraction*. Proses kalibrasi bertujuan agar nilai grafik model mendekati data lapangan, yang selanjutnya akan divalidasi menggunakan beberapa metode untuk mendapatkan nilai *error* dan mengetahui apakah model dapat diterima. Kalibrasi debit diperoleh dari *trial error* data debit menggunakan referensi dari data 5 tahun terakhir debit Sungai Winongo. Hasil proses kalibrasi nilai debit dapat dilihat pada gambar 4.12, yang menunjukkan bahwa nilai grafik model debit sudah mendekati data lapangan. Hal ini terbukti karena garis merah yang mewakili nilai grafik model telah mendekati kotak hitam yang mewakili data lapangan. Pada segmen 1, *trial error* dilakukan pada *point inflow* anak sungai 1 dengan menggunakan nilai debit sebesar  $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$  dan pada *point inflow* limbah perikanan dengan nilai debit sebesar  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pada segmen 2, *trial error*

dilakukan pada *diffuse inflow* limbah pertanian dan limbah domestik dengan menggunakan nilai debit berturut – turut sebesar 2 m<sup>3</sup>/s dan 6,39 m<sup>3</sup>/s. Selanjutnya di segmen 3, *trial error* dilakukan pada *point inflow* saluran drainase dengan menggunakan nilai debit sebesar 0,01 m<sup>3</sup>/s dan pada *point abstraction* dengan nilai 7 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan untuk saluran drainase di segmen 4, dilakukan *trial error* pada *point inflow* dengan menggunakan nilai debit sebesar 0,11 m<sup>3</sup>/s. Berikutnya *trial error* di segmen 5 dilakukan pada *diffuse inflow* limbah perikanan dengan nilai debit sebesar 1,76 m<sup>3</sup>/s. Pada segmen 6, *trial error* dilakukan pada *diffuse inflow* dan *diffuse abstraction* limbah pertanian dengan nilai debit berturut – turut sebesar 0,46 m<sup>3</sup>/s dan 0,64 m<sup>3</sup>/s. Terakhir untuk segmen 7 dilakukan *trial error* pada *point inflow* anak sungai 2 dengan nilai debit 4 m<sup>3</sup>/s, juga pada *point inflow* dan *point abstraction* anak sungai 3 dengan nilai debit 0,0001 m<sup>3</sup>/s dan 3,08 m<sup>3</sup>/s.

Sebelum dilakukan kalibrasi, nilai grafik model TSS jauh dari data lapangan. Gambar 4.13 merupakan hasil setelah dilakukan kalibrasi dan menunjukkan bahwa nilai grafik model TSS sudah mendekati data lapangan, dibuktikan dengan garis merah yang merepresentasikan nilai grafik model telah mendekati kotak hitam yang merepresentasikan data lapangan. Proses kalibrasi konsentrasi TSS dilakukan dengan cara *trial error* pada konsentrasi TSS sumber pencemar. Kalibrasi konsentrasi TSS diperoleh dari *trial error* data debit menggunakan referensi dari jurnal dan studi pustaka tentang TSS yang ada. Di segmen 1 dilakukan *trial error* pada anak sungai 1 dan limbah perikanan, hal ini terus dilakukan hingga mendapat nilai grafik model yang paling mendekati data lapangan yaitu dengan menggunakan konsentrasi TSS sebesar 91 mg/L untuk anak sungai 1 (Purba dkk, 2018) dan 4146,2 mg/L untuk limbah perikanan (Ibrahim dkk, 2012). Untuk di segmen 2 dilakukan *trial error* dengan hasil akhir menggunakan konsentrasi TSS sebesar 525,3 mg/L untuk limbah pertanian (Yulianti, 2019) dan 1535 mg/L untuk limbah domestik. Di segmen 3 dilakukan *trial error* dengan hasil akhir menggunakan konsentrasi TSS sebesar 19,61 mg/L untuk saluran drainase (Amprin dkk, 2020), sedangkan saluran drainase di segmen 4 menggunakan konsentrasi 225 mg/L (Adella dan Erwanto, 2021). Selanjutnya

*trial error* di segmen 5 dilakukan pada sumber pencemar limbah perikanan hingga mendapat hasil yang diinginkan yaitu dengan menggunakan konsentrasi TSS sebesar 11 mg/L. Limbah pertanian di segmen 6 menggunakan konsentrasi TSS sebesar 4250 mg/L agar nilai modelnya mendekati data lapangan (Simanjuntak, 2019). Berikutnya *trial error* yang cukup kompleks terjadi pada anak sungai 2 dan anak sungai 3 di segmen 7, hingga akhirnya didapat konsentrasi TSS yang dibutuhkan yaitu sebesar 860,6 mg/L dan 736,7 mg/L.

Untuk proses kalibrasi COD dilakukan dengan *trial error* konsentrasi COD di sumber pencemar, dengan menggunakan data referensi dari jurnal dan studi pustaka yang membahas tentang COD. *Trial error* terus dilakukan hingga nilai grafik model mendekati data lapangan seperti yang tampak pada gambar 4.13. Pada segmen 1 dilakukan *trial error* pada anak sungai 1 dan limbah perikanan dengan menggunakan konsentrasi COD sebesar 59,2 mg/L dan 70,4 mg/L (Nugroho dkk, 2014). Di segmen 2 dilakukan *trial error* pada limbah pertanian dan limbah domestik dengan menggunakan konsentrasi COD berturut – turut sebesar 43,63 mg/L dan 47,46 mg/L (Andika dkk, 2017, Oktiawan dkk, 2016). Di segmen 3 *trial error* dilakukan pada sumber pencemar saluran drainase dengan menggunakan konsentrasi COD sebesar 61,14 mg/L, dan untuk *trial error* pada saluran drainase di segmen 4 menggunakan konsentrasi 59,23 mg/L. Selanjutnya di segmen 5 dilakukan *trial error* pada sumber pencemar limbah perikanan dengan menggunakan konsentrasi COD sebesar 70,4 mg/L (Nugroho dkk, 2014). Untuk di segmen 6 *trial error* dilakukan pada limbah pertanian menggunakan konsentrasi COD sebesar 43,63 mg/L (Andika dkk, 2017). Berikutnya *trial error* di segmen 7 dilakukan pada anak sungai 2 dan anak sungai 3, hingga akhirnya didapat konsentrasi COD yang dibutuhkan yaitu masing – masing sebesar 25 mg/L (Abdi, 2016).

#### **4.4.2 Hasil Validasi Model**

Setelah melakukan proses kalibrasi model, langkah selanjutnya adalah melakukan proses validasi model dengan tujuan untuk mengetahui nilai *error* dari

data model dengan data lapangan. Apabila nilai *error* memenuhi syarat maka model dapat diterima. Validasi model dilakukan menggunakan 3 metode, yaitu :

**a) *Relative Percentage Difference (RPD)***

Validasi model dilakukan dengan menghitung persamaan untuk mengevaluasi kalibrasi model dan validasi model atau disebut dengan *Relative Percentage Difference (RPD)*. Berikut merupakan persamaan RPD.

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

Dimana:

$C_{sim}$  : konsentrasi simulasi (mg/L)

$C_{obs}$  : adalah konsentrasi observasi (mg/L)

Apabila nilai RPD yang diperoleh adalah <25% maka model tersebut dapat diterima (Kamal et al, 2020). Hasil validasi menggunakan metode RPD dapat dilihat di bawah ini.

**Tabel 4.9** Hasil Validasi Debit dengan Metode RPD

<b>DEBIT</b>		
Data Lapangan	Data Model	Cek ERROR
0,280	0,28	0%
0,640	0,64	0%
9,030	9,03	0%
4,830	9,03	87%
3,330	3,23	3%
5,100	5,10	0%
8,460	8,46	0%
5,380	5,38	0%
Rata - rata		<b>11%</b>

**Tabel 4.10** Hasil Validasi TSS dengan Metode RPD

<b>TSS</b>		
Data Lapangan	Data Model	Cek ERROR
257,50	257,50	0%
737,50	797,47	8%
1460,00	1259,10	14%
1225,00	1259,09	3%
1007,50	1114,44	11%
737,50	714,44	3%
995,00	778,68	22%
762,50	778,68	2%
Rata – rata		<b>8%</b>

**Tabel 4.11** Hasil Validasi COD dengan Metode RPD

<b>COD</b>		
Data Lapangan	Data Model	Cek ERROR
24,20	24,20	0%
44,80	42,77	5%
41,37	41,97	1%
37,90	38,24	1%
86,06	94,36	10%
86,50	79,05	9%
56,80	54,77	4%
52,58	54,25	3%
Rata - rata		<b>4%</b>

Berdasarkan proses validasi menggunakan metode RPD dapat disimpulkan bahwa model dapat diterima, karena hasil nilai *error* telah memenuhi syarat yaitu  $< 25\%$ . Dengan nilai *error* untuk data debit sebesar 11%, konsentrasi TSS sebesar 8% dan untuk konsentrasi COD sebesar 4%.

**b) Root Mean Square Percentage Error (RMSPE)**

Rumus yang dipakai untuk mengetahui persentase nilai *error* menggunakan metode RMSPE adalah berikut.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[ \sum_{n=1}^n \left( \frac{St - At^2}{At} \right)^2 \right]} \times 100\%$$

Dimana :

St : nilai simulasi pada waktu t

At : nilai aktual pda waktu t

N : jumlah pengamatan (t = 1,2,...n)

(Marlina, 2015).

Apabila nilai Model nilai RMSPE  $< 50\%$  berarti model dapat diterima (Dekissa, 2004). Hasil validasi menggunakan metode RMSPE dapat dilihat pada tabel 4.12, 4.13 dan 4.14.



**Tabel 4.12** Hasil Validasi Data Debit dengan Metode RMSPE

DEBIT			
Data Lapangan (1)	Data Model (2)	$\left(\frac{(Data\ lap.)-(Data\ model)}{model}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma(3)]x100\%)}$
0,280	0,28	0	16%
0,640	0,64	0	
9,030	9,03	3,86977E-32	
4,830	9,03	0,216333153	
3,330	3,23	0,000958506	
5,100	5,10	1,21317E-31	
8,460	8,46	0	
5,380	5,38	2,72544E-32	
Jumlah		0,217291659	

**Tabel 4.13** Hasil Validasi TSS dengan Metode RMSPE

TSS			
Data Lapangan (1)	Data Model (2)	$\left(\frac{(Data\ lap.)-(Data\ model)}{model}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma(3)]x100\%)}$
257,50	257,50	0	12%
737,50	797,47	0,005655088	
1460,00	1259,10	0,025458888	
1225,00	1259,09	0,000733062	
1007,50	1114,44	0,009208035	
737,50	714,44	0,001041807	
995,00	778,68	0,077174764	
762,50	778,68	0,000431757	
Jumlah		0,1197034	

**Tabel 4.14** Hasil Validasi COD dengan Metode RMSPE

COD			
Data Lapangan (1)	Data Model (2)	$\frac{(Data\ lap.) - (Data\ model)}{model}$ <sup>2</sup> (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma(3)] \times 100\%)}$
24,20	24,20	0	5%
44,80	42,77	0,002252753	
41,37	41,97	0,000204373	
37,90	38,24	7,90537E-05	
86,06	94,36	0,007737138	
86,50	79,05	0,00888196	
56,80	54,77	0,001373746	
52,58	54,25	0,000947618	
Jumlah		0,021476642	

Berdasarkan proses validasi menggunakan metode RMSPE dapat disimpulkan bahwa model dapat diterima, karena hasil nilai *error* telah memenuhi syarat yaitu < 50%. Dengan nilai *error* untuk data debit sebesar 16%, konsentrasi TSS sebesar 12% dan untuk konsentrasi COD sebesar 5%.

**c) Chi Square**

Rumus yang dipakai untuk perhitungan validasi menggunakan metode chi square adalah berikut.

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

Dimana :

$x^2$  : uji statistik rata-rata kuadrat dari simpangan

n : jumlah sampel

r : sampel ke-n

Hasil perhitungan  $x^2$  dibandingkan dengan  $x^2$  tabel pada  $\alpha = 0,95$ . Jika  $x^2$  hitung >  $x^2$  tabel, maka model ditolak dan jika  $x^2$  hitung <  $x^2$  tabel, maka model diterima (Lusiana N dkk, 2020). Hasil

validasi menggunakan metode RPD dapat dilihat pada tabel 4.15, 4.16 dan 4.17.

**Tabel 4.15** Hasil Validasi Data Debit dengan Metode Chi Square

<b>DEBIT</b>			
Data Lapangan	Data Model	$(\text{Data lap} - \text{Data Model})^2$	$(\text{Data lap} - \text{Data Model})^2 / \text{Data Model}$
0,280	0,28	0,000	0
0,640	0,64	0,000	0
9,030	9,03	0,000	3,4944E-31
4,830	9,03	17,640	1,953488372
3,330	3,23	0,010	0,003095975
5,100	5,10	0,000	6,18714E-31
8,460	8,46	0,000	0
5,380	5,38	0,000	1,46628E-31
<b>X<sup>2</sup> Chi Square</b>			<b>1,956584347</b>

**Tabel 4.16** Hasil Validasi TSS dengan Metode Chi Square

<b>TSS</b>			
Data Lapangan	Data Model	$(\text{Data lap} - \text{Data Model})^2$	$(\text{Data lap} - \text{Data Model})^2 / \text{Data Model}$
257,50	257,50	0,000	0
737,50	797,47	3596,401	4,509763251
1460,00	1259,10	40360,810	2,20590442
1225,00	1259,09	1162,128	2,469423
1007,50	1114,44	11436,164	1,42019114
737,50	714,44	531,764	0,744308269
995,00	778,68	46794,342	0,04006841
762,50	778,68	261,792	0,081611828
<b>X<sup>2</sup> Chi Square</b>			<b>11,47127032</b>

**Tabel 4.17** Hasil Validasi COD dengan Metode Chi Square

<b>COD</b>			
Data Lapangan	Data Model	$(\text{Data lap} - \text{Data Model})^2$	$(\text{Data lap} - \text{Data Model})^2 / \text{Data Model}$
24,20	24,20	0,000	0
44,80	42,77	4,121	0,096350245
41,37	41,97	0,360	0,008577555
37,90	38,24	0,116	0,003023013
86,06	94,36	68,890	0,730076304

86,50	79,05	55,503	0,702118912
56,80	54,77	4,121	0,075240095
52,58	54,25	2,789	0,051408295
<b>X<sup>2</sup> Chi Square</b>			<b>1,666794419</b>

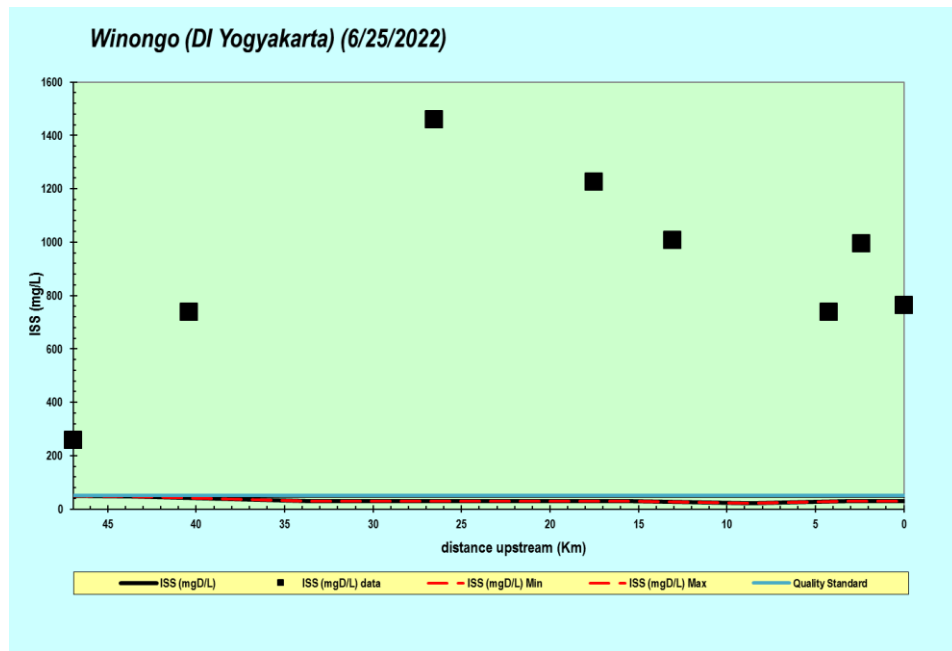
Berdasarkan proses validasi menggunakan metode Chi Square dapat disimpulkan bahwa model dapat diterima karena telah memenuhi syarat, yaitu hasil nilai  $x^2 < x^2$  tabel Chi Square. Dengan nilai  $x^2$  debit sebesar 1,957,  $x^2$  TSS sebesar 11,471 dan  $x^2$  sebesar 1,667.

#### 4.4.3 Hasil Simulasi Model

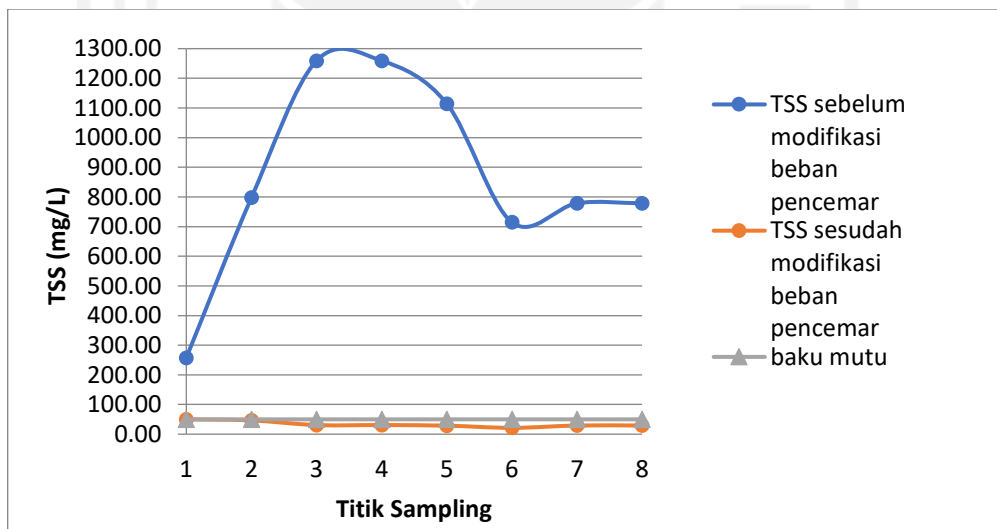
Setelah melakukan validasi model menggunakan metode yang telah disebutkan, selanjutnya dilakukan simulasi pemodelan menggunakan 3 skenario, meliputi modifikasi beban pencemar, modifikasi beban pencemar di *point source* dan penambahan debit. Tujuan dilakukan simulasi skenario adalah untuk mengetahui apakah skenario tersebut efektif untuk menjaga kualitas air Sungai Winongo. Di bawah ini merupakan detail dari simulasi skenario yang dilakukan pada penelitian ini.

##### a) Simulasi Model Skenario 1

Simulasi model skenario 1 adalah dengan modifikasi beban pencemar dengan *trial error* konsentrasi beban pencemar di *point source* dan *diffuse source* hingga memenuhi baku mutu air kelas II. Hasil dari simulasi model skenario 1 pada parameter TSS dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16.



**Gambar 4.15** Hasil Simulasi 1 Parameter TSS



**Gambar 4.16** Perbandingan TSS sebelum dan sesudah Simulasi 1

Gambar 4.15 merupakan hasil model dan gambar 4.16 menunjukkan adanya penurunan konsentrasi TSS sebelum dan sesudah dilakukannya simulasi. Konsentrasi TSS awal di titik 1 adalah 257,5 mg/L turun menjadi 50 mg/L, di titik 2 dari 797,47 mg/L turun menjadi 46,37 mg/L. Di titik 3 dari 1259,10 mg/L menjadi 30,7 mg/L, di titik 4 dari 1259,09 menjadi 30,7 mg/L, di titik 5 dari 1114,44 mg/L menjadi 28,69 mg/L, di titik 6 dari 714,44 menjadi 21,26 mg/L, di

titik 7 dan titik 8 dari 778,68 menjadi 29,18 mg/L. Menurunnya konsentrasi TSS disebabkan pengurangan pada TSS effluent di sumber pencemar dengan melakukan *trial error*, juga dengan asumsi bahwa kondisi kualitas air Sungai Winongo di hulu sudah memenuhi baku mutu air kelas II yaitu 50 mg/L. Untuk persentase pengurangan beban pencemar dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Modifikasi TSS effluent

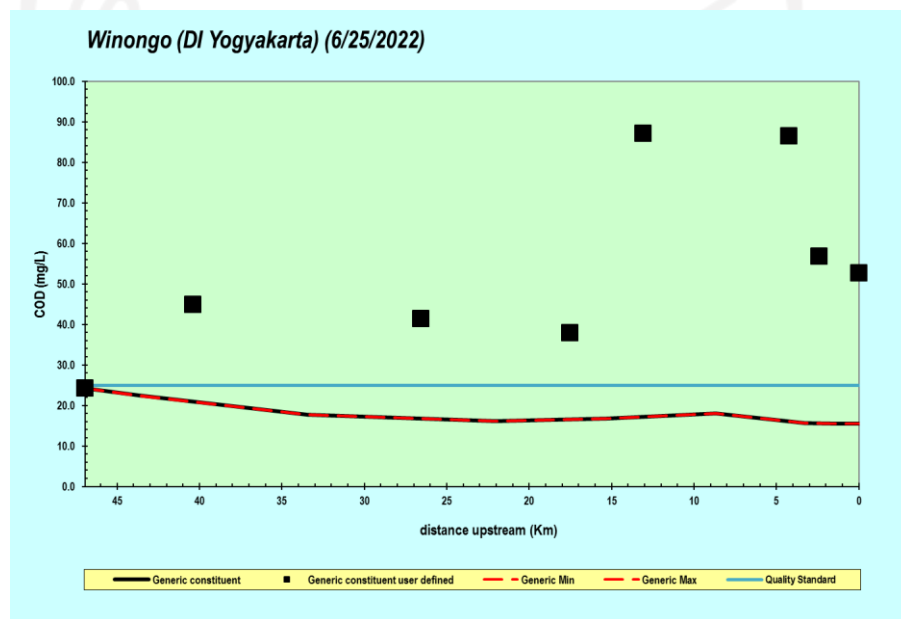
Segmen	Sumber Pencemar	TSS (mg/L)		Persentase Penurunan
		Sebelum Simulasi	Sesudah Simulasi	
1	Anak Sungai 1	45,5	25	45%
	Perikanan	2073,1	25	99%
2	Limbah Domestik	767,5	30	96%
	Pertanian	262,65	25	90%
3	Drainase	9,81	1,3	87%
4	Limbah Domestik	13	13	0%
	Drainase	112,5	20	82%
5	Perikanan	5,5	5,5	0%
6	Pertanian	2125	25	99%
7	Anak Sungai 2	430,3	40	91%
	Anak Sungai 3	368,35	37	90%

Sumber : Analisa data, 2022.

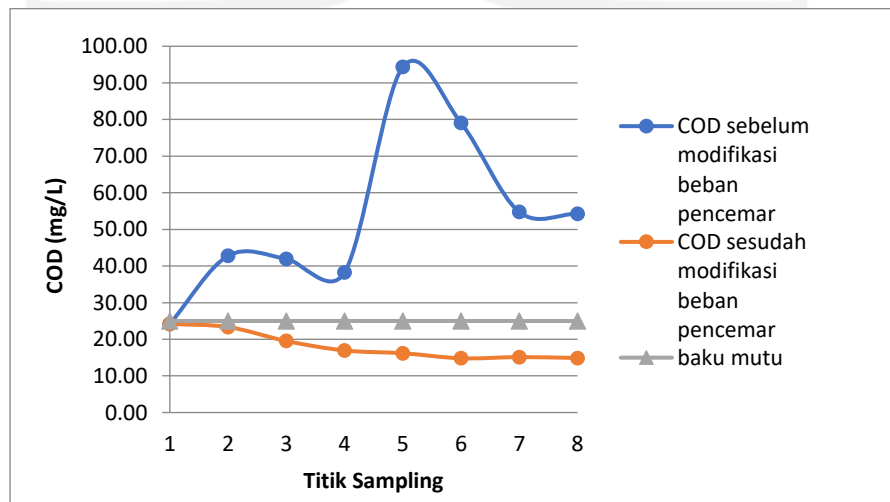
Persentase penurunan pada tabel 4.18 merupakan hasil *trial error* yang digunakan pada simulasi 1 ini hingga kualitas air sungai memenuhi baku mutu. Persentase penurunan yang paling tinggi adalah limbah perikanan di segmen 1 (*point source*) dan limbah pertanian di segmen 6 (*non-point source*) dengan 99%. Ini berarti limbah perikanan dan limbah pertanian merupakan penyumbang terbesar konsentrasi TSS di Sungai Winongo. Budidaya perikanan meningkatkan konsentrasi TSS dari akumulasi hasil sisa pakan ikan dan ekskresi ikan (Setyorini,

2018). Sumber lain masuknya TSS ke sungai berasal aktivitas domestik, pelapukan batuan, proses erosi dan sedimentasi di sepanjang aliran sungai yang menghasilkan endapan lumpur juga pasir halus yang akan terbawa menuju aliran sungai (Hermawan & Wardhani, 2021).

Untuk hasil simulasi skenario 1 pada parameter COD adalah berikut.



**Gambar 4.17** Hasil Simulasi 1 Parameter COD



**Gambar 4.18** Perbandingan COD sebelum dan sesudah Simulasi 1

Gambar 4.17 merupakan hasil model dan gambar 4.18 menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD sebelum dan sesudah dilakukannya simulasi. Konsentrasi awal konsentrasi COD di titik 2 adalah 42,77 mg/L lalu turun menjadi 23,35 mg/L. Di titik 3 dari 41,97 mg/L menjadi 19,53 mg/L, di titik 4 dari 38,24 mg/L menjadi 16,95 mg/L, di titik 5 dari 94,36 mg/L menjadi 16,19 mg/L, di titik 6 dari 79,05 mg/L menjadi 14,82 mg/L, di titik 7 dari 54,77 mg/L menjadi 15,14 mg/L dan di titik 8 dari 54,25 mg/L menjadi 14,89 mg/L.

Penurunan konsentrasi COD terjadi karena dilakukannya *trial error* COD effluent di sumber pencemar hingga konsentrasi COD berada di bawah baku mutu air kelas II yaitu 25 mg/L. Agar konsentrasi COD memenuhi baku mutu, pada simulasi skenario 1 dilakukan pengurangan beban pencemar dengan nilai yang tertera pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Modifikasi COD effluent

Segmen	Sumber Pencemar	COD (mg/L)		Persentase Penurunan
		Sebelum Simulasi	Sesudah Simulasi	
1	Anak Sungai 1	59,2	24,2	59%
	Perikanan	70,4	23,29	67%
2	Limbah Domestik	47,46	17,56	63%
	Pertanian	43,63	25	43%
3	Drainase	61,14	15,25	75%
4	Limbah Domestik	532	25	95%
	Drainase	59,23	15,03	75%
5	Perikanan	70,4	25	64%
6	Pertanian	43,6	13,31	69%
7	Anak Sungai 2	25	12,67	49%
	Anak Sungai 3	25	12,46	50%

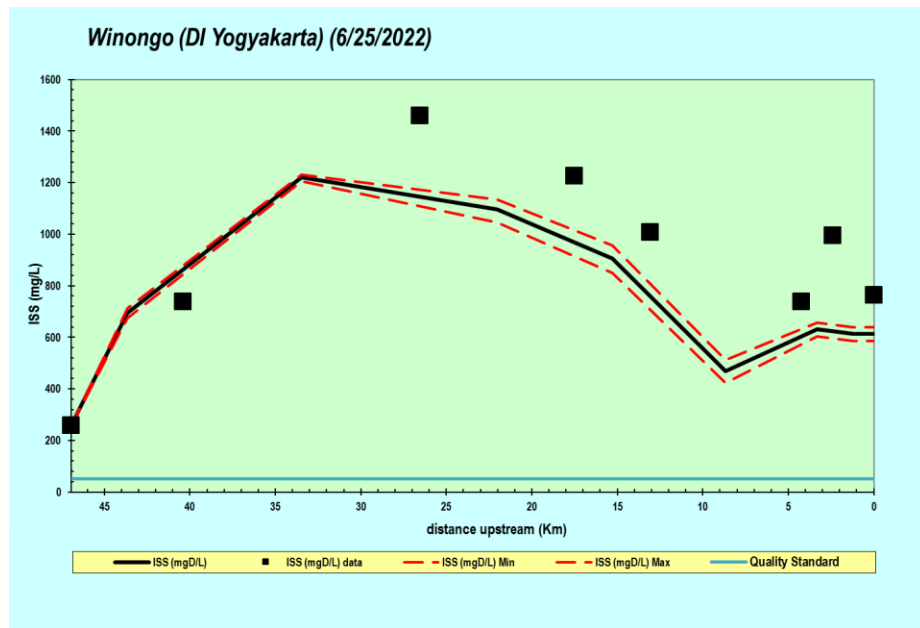


Sumber : Analisa Data, 2022.

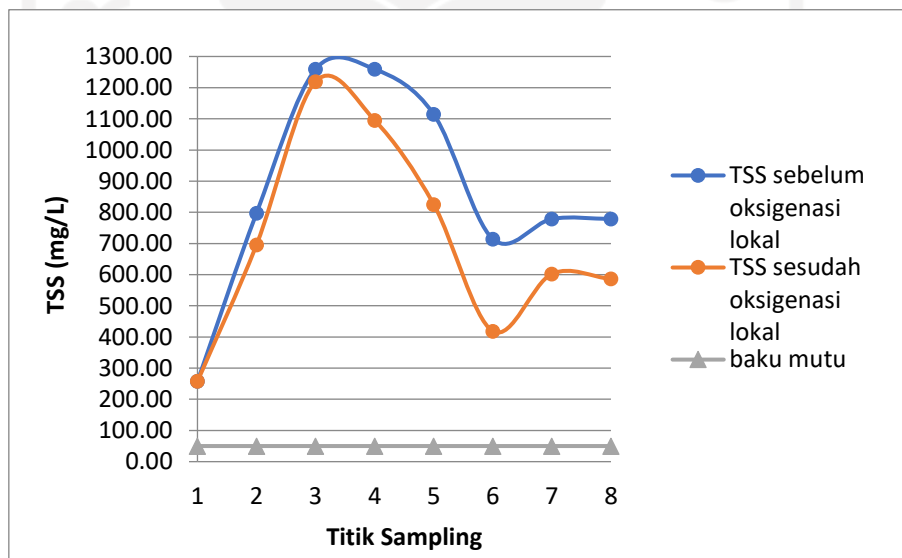
Dari tabel 4.18 dapat diketahui persentase penurunan beban pencemar agar konsentrasi COD di Sungai Winongo masih berada di batas baku mutu yang diperbolehkan. Persentase penurunan yang paling tinggi adalah limbah domestik di segmen 4 dengan 95%. Hal ini berarti limbah domestik di segmen 4 paling banyak menyumbang polutan yang menyebabkan tingginya konsentrasi COD. Sejalan dengan penelitian Fleifle *et al* (2014) yang menyebutkan bahwa masukan polutan organik ke sungai yang meningkatkan konsentrasi COD paling banyak berasal dari limbah domestik dan saluran drainase kawasan perkotaan. Penyebab lain meningkatnya konsentrasi COD adalah disebabkan masuknya limbah peternakan dan aliran anak sungai yang mengandung kadar polutan organik yang tinggi, sehingga jika limbah yang masuk ke perairan lebih sedikit maka konsentrasi COD akan lebih rendah dibandingkan perairan yang menerima banyak beban pencemar (Anhwange *et al*, 2012).

**b) Simulasi Model Skenario 2**

Simulasi model skenario 2 adalah oksigenasi lokal, yaitu dengan mengasumsikan penempatan terjunan di semua titik. Menurut Ranjith *et al* (2019), dengan adanya penempatan terjunan dapat meningkatkan jumlah oksigen terlarut yang dapat menurunkan polutan di sungai. Simulasi skenario ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan penempatan terjunan terhadap penurunan konsentrasi TSS dan COD. Hasil dari simulasi model skenario 2 dapat dilihat di bawah ini.



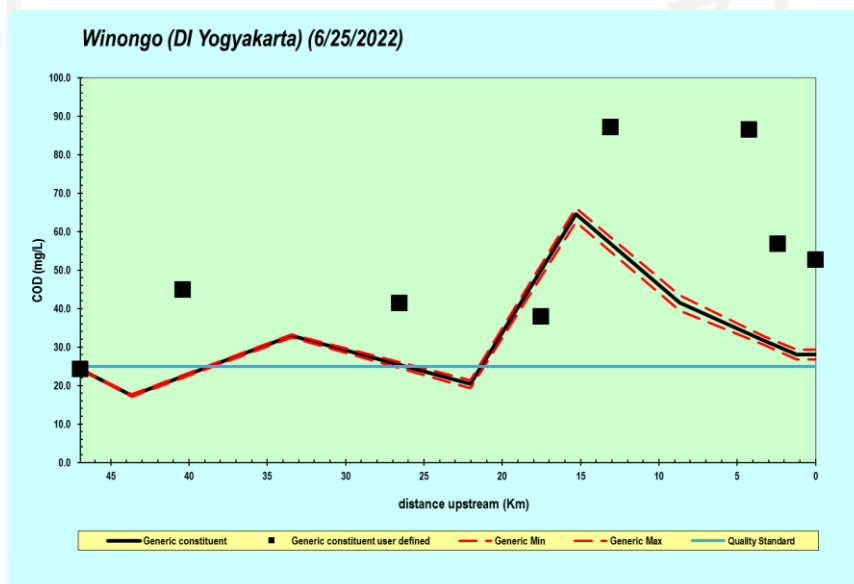
**Gambar 4.19** Hasil Simulasi 2 Parameter TSS



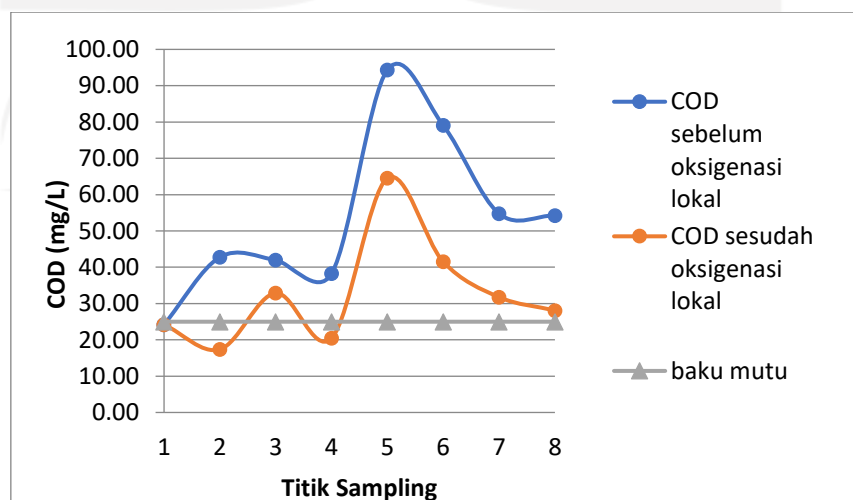
**Gambar 4.20** Perbandingan TSS sebelum dan sesudah Simulasi 2

Dari gambar 4.19 dan 4.20 dapat ditarik kesimpulan bahwa simulasi skenario 2 mampu menurunkan konsentrasi pencemar TSS di Sungai Winongo. Pada gambar 4.20 menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi TSS sebelum dan sesudah dilakukannya skenario. Sebelum dilakukan skenario, konsentrasi TSS awal di titik 2 adalah 797,47 mg/L turun menjadi 695,98 mg/L. Di titik 3 dari 1259,10 mg/L turun menjadi 1219,76 mg/L, di titik 4 dari 1259,09 mg/L turun

menjadi 1095,20 mg/L, di titik 5 dari 1114,44 mg/L turun menjadi 825,38 mg/L, di titik 6 dari 714,44 mg/L turun menjadi 418,70 mg/L, di titik 7 dari 778,68 mg/L turun menjadi 602,31 mg/L dan titik 8 dari 778,68 mg/L turun menjadi 586,13 mg/L. Penurunan konsentrasi TSS terjadi karena penempatan terjunan di semua titik yang menyebabkan terjadinya kontak udara dengan air (aerasi), sehingga timbul efek oksigenasi lokal (Rajith *et al*, 2019). Menurut Arsawan dkk (2007), kontak udara dengan air dapat menghancurkan padatan tersuspensi yang menggumpal sehingga konsentrasi TSS menurun.



**Gambar 4.21** Hasil Simulasi 2 Parameter COD

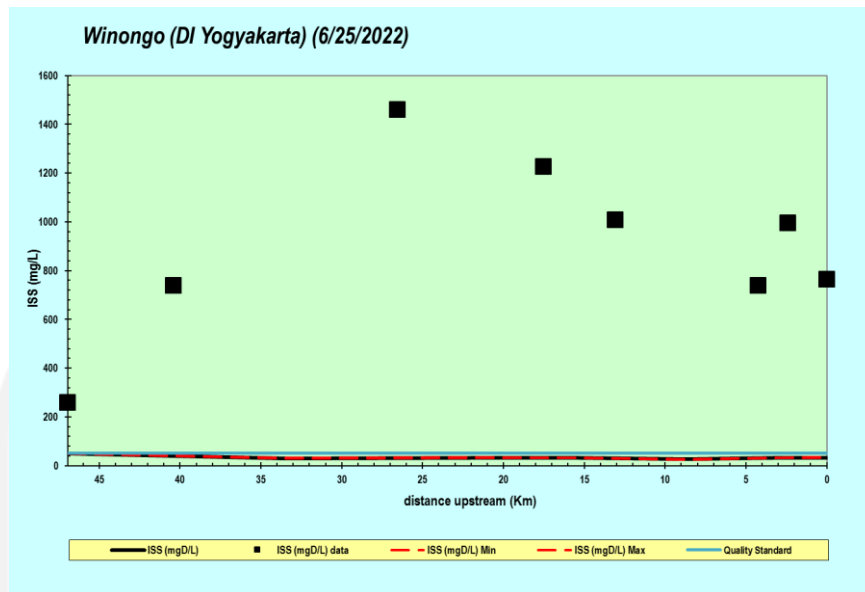


#### **Gambar 4.22** Perbandingan COD sebelum dan sesudah Simulasi 2

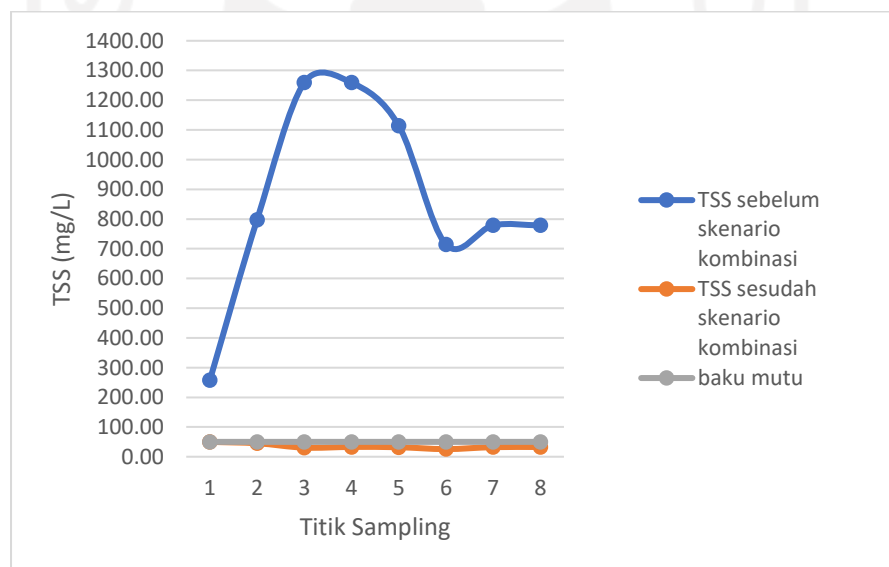
Dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat ditarik kesimpulan bahwa simulasi skenario 2 mampu menurunkan konsentrasi pencemar COD di Sungai Winongo. Pada gambar 4.22 menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD sebelum dan sesudah dilakukannya skenario. Konsentrasi awal COD di titik 2 adalah 42,77 mg/L lalu turun menjadi 17,38 mg/L. Di titik 3 dari 41,97 mg/L menjadi 32,89 mg/L, di titik 4 dari 38,24 mg/L menjadi 20,44 mg/L, di titik 5 dari 94,36 mg/L menjadi 64,53 mg/L, di titik 6 dari 79,05 mg/L menjadi 41,51 mg/L, di titik 7 dari 54,77 mg/L menjadi 31,76 mg/L dan di titik 8 dari 54,25 mg/L turun menjadi 28,09 mg/L. Penurunan konsentrasi COD dapat terjadi karena adanya efek oksigenasi lokal dengan penempatan terjunan di semua titik. Penempatan terjunan dapat meningkatkan kadar oksigen, sehingga proses penguraian bahan organik oleh bakteri lebih efektif, yang menyebabkan efisiensi penurunan COD meningkat (Chen *et al*, 2007).

#### **c) Simulasi Model Skenario 3**

Simulasi model skenario 3 adalah skenario kombinasi skenario 1 dan skenario 2, yaitu dengan modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal. Simulasi skenario ini bertujuan untuk mengetahui apakah dengan mengkombinasikan dua skenario dapat mengurangi konsentrasi TSS dan COD secara efektif. Hasil dari simulasi skenario 3 pada parameter TSS dapat dilihat pada gambar 4.23 dan 4.24.



**Gambar 4.23** Hasil Simulasi 3 Parameter TSS



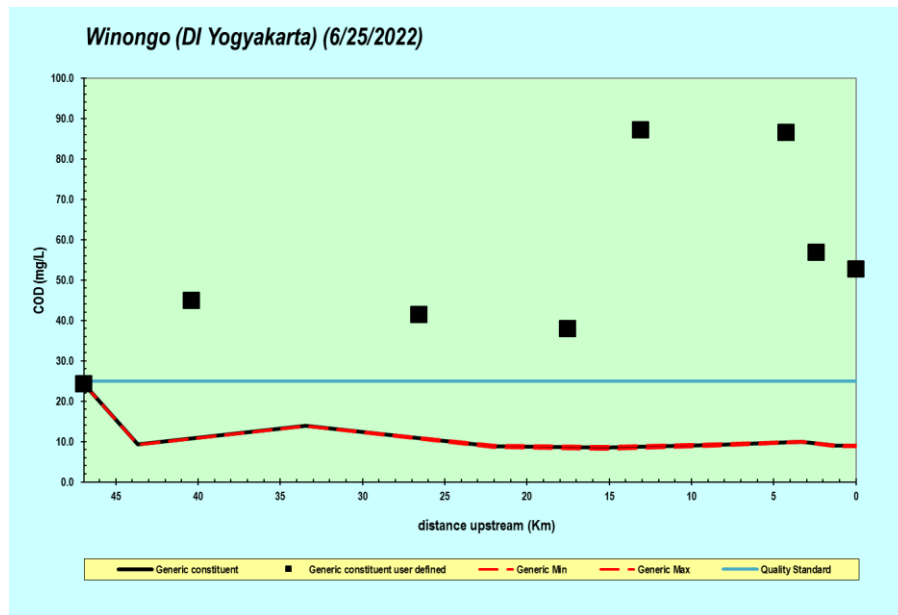
**Gambar 4.24** Perbandingan TSS sebelum dan sesudah Simulasi 3

Dari gambar 4.23 dan 4.24 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan dilakukannya simulasi skenario 3 dapat menurunkan konsentrasi TSS di Sungai Winongo. Konsentrasi TSS awal di titik 1 adalah 257,5 mg/L turun menjadi 50 mg/L, di titik 2 dari 797,47 mg/L turun menjadi 45,34 mg/L. Di titik 3 dari 1259,10 mg/L menjadi 30,58 mg/L, di titik 4 dari 1259,09 menjadi 33,06 mg/L,

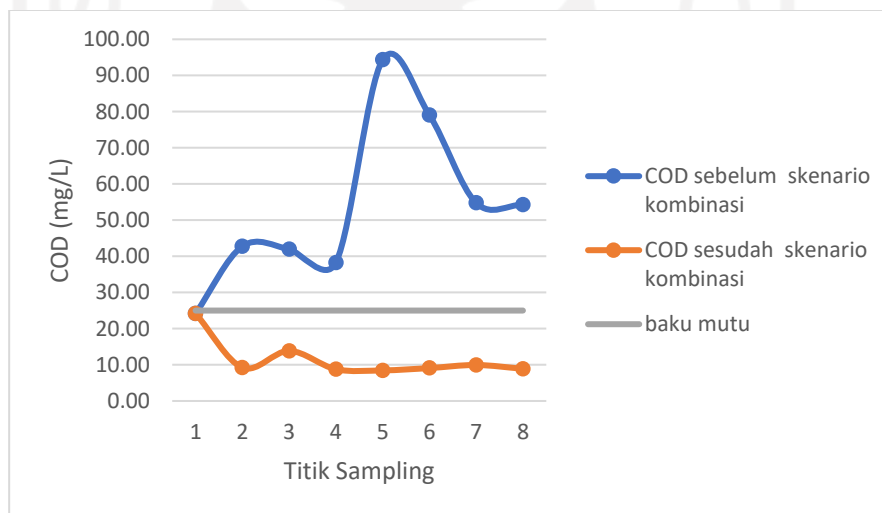
di titik 5 dari 1114,44 mg/L menjadi 31,96 mg/L, di titik 6 dari 714,44 menjadi 25,73 mg/L, di titik 7 dan titik 8 dari 778,68 menjadi 32,29 mg/L. Penurunan konsentrasi TSS terjadi karena pengurangan beban pencemar menggunakan persentase sesuai pada tabel 4.18. Konsentrasi TSS yang paling banyak mengalami penurunan berada di titik 2, titik 3 dan titik 4. Hal ini terjadi karena di titik 2 terdapat sumber pencemar *point source* berupa limbah perikanan dan masukan anak sungai, sedangkan di titik 3 dan titik 4 terdapat masukan beban pencemar berupa limbah domestik dan limbah saluran drainase. Sumber pencemar tersebut merupakan titik sumber pencemar yang dominan, sehingga dengan adanya pengurangan beban pencemar memungkinkan penurunan konsentrasi TSS yang signifikan (Chowdury et al, 2022).

Sebab lain adalah karena adanya terjunan di tiap titik sampling, yang menyebabkan gumpalan endapan akan hancur karena adanya kontak udara dengan air atau proses aerasi. Sehingga oksigen akan lebih mudah diserap dan bakteri aerob yang menguraikan endapan yang tergumpal akan tumbuh dengan baik, sehingga konsentrasi TSS akan menurun (Ayoub & El-Morsy, 2021). Namun penempatan terjunan tidak begitu berpengaruh banyak terhadap penurunan konsentrasi TSS. Dengan melakukan simulasi skenario 3, didapat hasil bahwa konsentrasi TSS di Sungai Winongo menurun hingga berada di bawah baku mutu air kelas II yaitu 50 mg/L.

Untuk hasil simulasi skenario 3 pada parameter COD dapat dilihat pada gambar 4.25 dan 4.26.



**Gambar 4.25** Hasil Simulasi 3 Parameter COD



**Gambar 4.26** Perbandingan COD sebelum dan sesudah Simulasi 3

Dari gambar 4.26 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan dilakukannya simulasi skenario 3, konsentrasi COD di Sungai Winongo mengalami penurunan. Konsentrasi COD awal di titik 2 adalah 42,77 mg/L turun menjadi 9,25 mg/L. Di titik 3 dari 41,97 mg/L menjadi 13,85 mg/L, di titik 4 dari 38,24 mg/L menjadi 8,79 mg/L, di titik 5 dari 94,36 mg/L menjadi 8,46 mg/L, di titik 6 dari 79,05 mg/L menjadi 9,1 mg/L, di titik 7 dari 54,77 mg/L menjadi 9,95 mg/L dan di titik

8 dari 54,25 mg/L menjadi 8,91 mg/L. Konsentrasi COD menurun karena adanya pengurangan beban pencemar menggunakan persentase sesuai pada tabel 4.18.

Penurunan konsentrasi COD paling banyak di titik 4 dan titik 5, karena terdapat masukan beban pencemar dari *point source* berupa limbah domestik dan saluran drainase yang besar. Jumlah beban pencemar yang masuk mempengaruhi jumlah konsentrasi COD di Sungai Winongo. Adanya kegiatan yang menghasilkan limbah akan meningkatkan konsentrasi COD di sungai (Prambudy et al, 2019). Sehingga dengan melakukan pengendalian beban pencemar yang masuk akan menurunkan konsentrasi COD di Sungai Winongo. Menurut Angello et al (2021), pengendalian pencemaran di sumber titik (*point source*) sangat berperan dalam pengelolaan kualitas air sehingga polutan dalam air akan berkurang atau bahkan hilang. Penyebab lain menurunnya COD adalah karena penempatan terjunan di tiap titik sampling. Terjunan menyebabkan bertambahnya oksigen ke air sungai sehingga kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme dalam mengoksidasi bahan kimia dalam air terpenuhi, sehingga dapat menurunkan konsentrasi COD (Arsawan dkk, 2007).

Setelah simulasi skenario 3 dilakukan, dapat diketahui bahwa konsentrasi COD di Sungai Winongo mengalami penurunan, bahkan turun hingga di bawah baku mutu air kelas II.

#### 4.5 Perbandingan 3 Skenario Simulasi

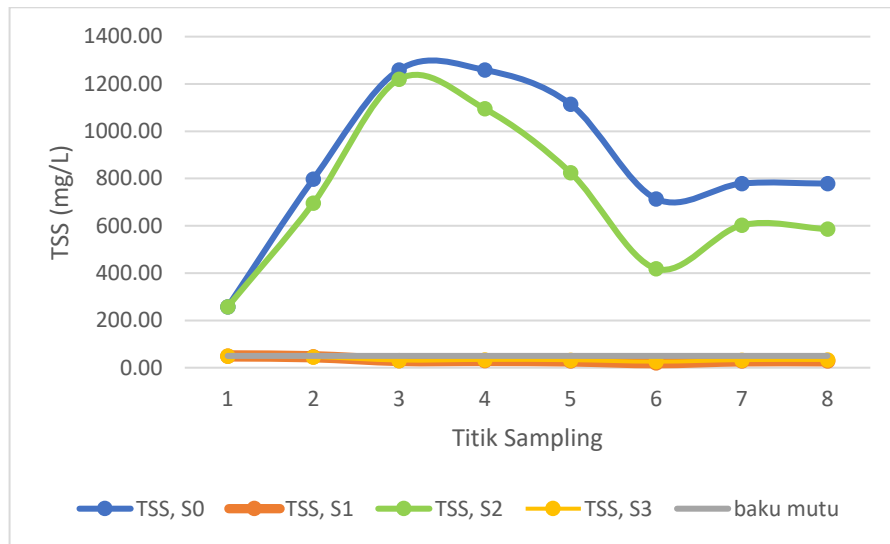
Dari simulasi skenario yang telah dilakukan, ketiganya memiliki kinerja pengurangan konsentrasi TSS dan COD yang berbeda. Berikut merupakan grafik perbandingan 3 skenario dan persentase kinerja pengurangan polutan masing – masing skenario.

**Tabel 4.20** Skenario Simulasi

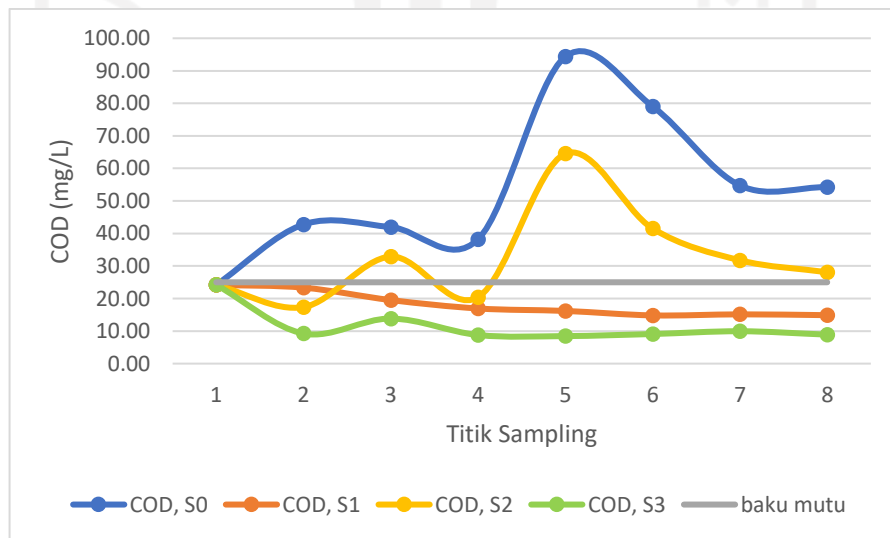
Skenario	Deskripsi
S0	Kondisi Eksisting
S1	Modifikasi beban pencemar



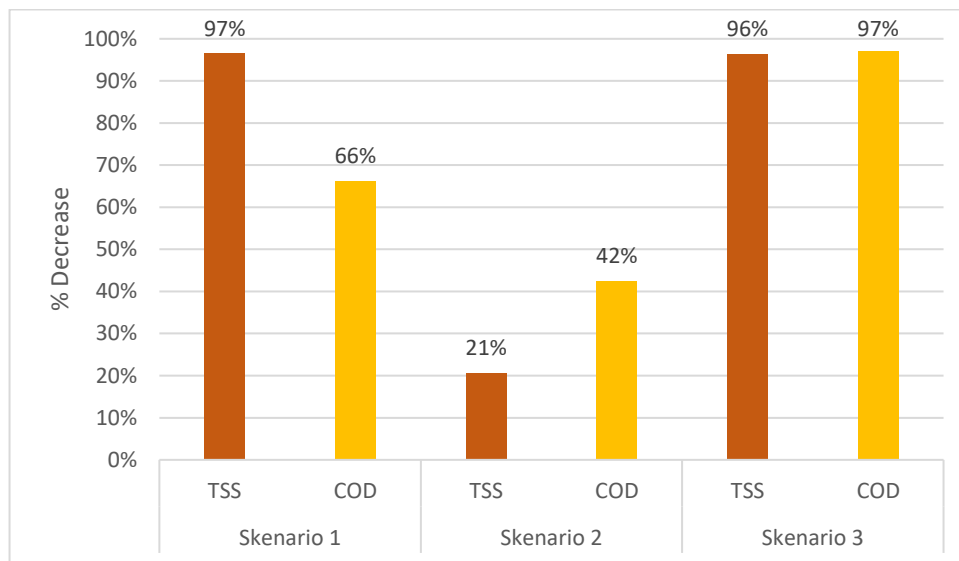
S2	Oksigenasi lokal
S3	Kombinasi (S1+S2)



**Gambar 4.27** Perbandingan 3 Skenario Terhadap TSS



**Gambar 4.28** Perbandingan 3 Skenario Terhadap COD



**Gambar 4.29** Persentase Perbandingan 3 Skenario

Gambar 4.27 dan 4.28 menunjukkan bahwa ketiga skenario mampu menurunkan konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo. Namun, pada skenario 2 penurunan konsentrasi TSS dan COD tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan dua skenario lainnya. Dari gambar 4.29 yang disajikan diketahui persentase penurunan konsentrasi TSS dan COD dari tiap skenario. Penurunan konsentrasi TSS pada skenario 1 adalah 97% dan penurunan konsentrasi COD adalah 66%. Sedangkan skenario 2 mampu menurunkan 21% TSS dan 42% COD. Dan untuk skenario 3, penurunan konsentrasi TSS adalah 96% dan konsentrasi COD adalah 97%. Konsentrasi TSS dan COD mengalami banyak penurunan pada skenario 3, yaitu dengan modifikasi beban pencemar dan asumsi penempatan terjunan. Skenario dapat dikatakan efektif jika kinerja pengurangan konsentrasi TSS maupun COD diantara ketiga skenario adalah yang paling besar atau tinggi (Angelo *et al*, 2021). Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa skenario yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS dan COD di Sungai Winongo adalah skenario 3.

#### **4.6 Strategi Alternatif Pengelolaan Sungai Winongo**

Dari hasil pengamatan dan pengambilan sampel yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Sungai Winongo tercemar. Salah satu sebabnya adalah

karena dua dari sekian banyak parameter kualitas air, yaitu COD dan TSS melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Untuk mengantisipasi dan menangani hal tersebut maka perlu adanya strategi alternatif pengelolaan Sungai Winongo. Alternatif pengelolaan yang bisa dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Peningkatan kinerja dan pengoptimalan layanan IPAL Komunal untuk penduduk pada segmen 2, segmen 3 dan segmen 4 di DAS Sungai Winongo. Data eksisting IPAL Komunal di Kota Yogyakarta (segmen 2, segmen 3 dan segmen 4) berjumlah 23 unit namun 1 unit tidak berfungsi, dengan kapasitas pelayanan terbangun untuk 1.397 KK namun yang terpakai hanya 705 KK, sehingga perlu dioptimalkan layanannya (DPUPKP Kota Yogyakarta, 2021). Limbah yang dikelola terlebih dahulu dengan IPAL dapat menurunkan 62% COD dan 67% TSS (Mandi et al, 1998).
2. Penempatan terjunan di tiap segmen Sungai Winongo guna meningkatkan oksigen, agar *self purification* sungai menjadi maksimal. Terjunan dapat berupa bangunan maupun yang sederhana seperti batu yang disusun bertingkat. Dari hasil simulasi skenario 2, dengan menempatkan terjunan dapat menurunkan 21% TSS dan 42% COD.
3. Pengadaan bak sedimentasi untuk kolam budidaya ikan, sehingga lumpur dan padatan tersuspensi lainnya dapat mengendap sebelum masuk ke Sungai Winongo. Sehingga beban pencemar yang masuk ke sungai juga akan berkurang. (Setyorini, 2018). Menurut (Rahmah & Mulasari, 2015), 4
4. Penerapan sistem lahan basah buatan (*Constructed Wetland*). Dengan menggunakan kolam dangkal atau saluran yang isinya terdapat tanah/kerikil dan tanaman air, contohnya tanaman kayu apu. Polutan akan terserap melalui akar dan terjadi proses fotosintesis yang akan menghasilkan oksigen yang kemudian masuk ke dalam sungai. Sehingga polutan yang masuk ke Sungai Winongo juga akan berkurang (Tampubolon dkk, 2020). Sistem *Constructed Wetland* dapat menurunkan TSS dan COD hingga 88% (Khalifa et al, 2020).

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan bahwa :

1. Kondisi Sungai Winongo pada parameter TSS dan COD jika dibandingkan dengan Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air Kelas II, diperoleh data sebagai berikut :
  - a. Hasil dari parameter TSS yang didapat dari titik 1 hingga titik 8 berturut – turut adalah 257,5 mg/L, 737,5 mg/L, 1460 mg/L, 1225 mg/L, 1007,5 mg/L, 737,5 mg/L, 995 mg/L dan 762,5 mg/L. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi TSS di Sungai Winongo berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan yaitu 50 mg/l. Hal ini menyebabkan kualitas air Sungai Winongo menurun.
  - b. Hasil dari parameter COD yang didapat dari titik 1 hingga titik 8 berturut – turut adalah 24,2 mg/L, 44,8 mg/L, 41,37 mg/L, 37,9 mg/L, 86,06 mg/L, 86,5 mg/L, 56,8 mg/L dan 52,58 mg/L. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi COD di Sungai Winongo berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan yaitu 25 mg/l. Hal ini menyebabkan kualitas air Sungai Winongo menurun.
2. Menurunnya kualitas air Sungai Winongo disebabkan adanya masukan beban pencemar ke aliran sungai. Beban pencemar ini berasal dari sumber pencemar *point source* dan *non-point source*. Sumber pencemar *point source* meliputi saluran drainase di segmen 3 dan segmen 4, saluran perikanan di segmen 1 dan anak sungai di segmen 1 dan segmen 7. Sedangkan sumber pencemar *non-point source* meliputi limbah domestik di segmen 2 dan segmen 4, limbah pertanian di segmen 2 dan segmen 6 dan limbah perikanan di segmen 5.
3. Model QUAL2Kw dapat diterapkan pada Sungai Winongo dengan menggunakan skenario modifikasi beban pencemar, oksigenasi lokal dan

gabungan antara keduanya. Skenario yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS dan COD adalah skenario 3 yaitu skenario kombinasi antara modifikasi beban pencemar dengan pengurangan beban pencemar effluent dan adanya terjunan di tiap titik sampling. Alternatif pengelolaan kualitas air yang dapat digunakan adalah dengan pengadaan bak sedimentasi, penggunaan sistem *Constructed Wetland*, penempatan terjunan dan pengoptimalan layanan IPAL komunal di DAS Winongo,

## 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat masukan yang dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Perlu adanya peta tata guna lahan untuk mengidentifikasi sumber pencemar *point source* dan *non-point source* yang masuk ke Sungai Winongo.
2. Perlu adanya pemantauan kualitas air Sungai Winongo secara kontinyu untuk mengetahui kondisi kualitas air secara berkala, sehingga dapat meminimalisir maupun mencegah terjadinya pencemaran di Sungai Winongo.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Z. (2016). **Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Batanghari Pada Penggal Gasiang – Sungai Langkok Sumatera Barat.** *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2).
- Adella, S., Erwanto, Z. (2021). **Kajian Beban Pencemaran Limbah Cair pada Saluran Drainase Pabrik Pengalengan Ikan di Kecamatan Muncar.** *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) ke-VII*, 7(1).
- Agustiningsih, D., Sasongko, S.B., Sudarno. (2012). **Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal.**
- Al-Badaii, F., Othman, M.S., Gasim, M.B (2013). **Water Quality Assessment of The Semenyih River, Selangor, Malaysia.** *Journal of Chemistry*.
- Amneera, W.A., Najib, W.A.Z., Yusof, S.R.M., Ragunathan, S (2019). **Water Quality Index of Perlis River, Malaysia.** *International Journal of Civil Environmental Engineering*, 13(2).
- Amprin, Abdunnur, Masruhim, M.A. (2020). **Kajian Kualitas Air dan Laju Sedimentasi pada Saluran Irigasi Bendung Tanah Abang di Kecamatan Long Mesangat Kabupaten Kutai Timur.** *Jurnal Pertanian Terpadu*, 8(1):105-118.
- Andika, B., Wahyuningsih, P., Fajri, R (2020). **Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Baku Mutu Air Limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan.** Vol.2 (1).
- Angello, Z.A., Behailu, B.M., Tranckner, J. (2021). **Selection of Optimum Pollution Load Reduction and Water Quality Improvement Approaches Using Scenario Based Water Quality Modeling in Little Akaki River, Ethiopia.** *Water*, 13.
- Anhwange, B.A., Agbaji, E.B., Gimba, E.C. **Impact Assessment of Human Activities and Seasonal Variaton on River Benue, within Makurdi Metropolis.** *International Journal of Science and Technology*, 2(5).

- Antunes, I.M.H.R, Albuquerque, M.T.D., Oliveira, S.F., Sanz, G. **Predictive Scenarios for Surface Water Quality Simulation – a Watershed Case Study.** *Catena* 170:283-289.
- Arsawan, M., Suyasa, I.W.B., Suarna, W. (2007). **Pemanfaatan Metode Aerasi Dalam Pengolahan Limbah Berminyak.** *Ecotrophic*, 2(2).
- Atima, W (2015). **BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah.** *Jurnal Biology Science & Education*. 4(1).
- Aulia, G. N., Baharuddin., Dewi, I.P (2021). **Analisis Sebaran Total Suspended Solid (TSS) Menggunakan Citra Sentinel 2 di Perairan Teluk Tamiang Kabupaten Kotabari Provinsi Kalimantan Selatan.** *Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan*.
- Aydin, S., Nakiyingi, B.A., Esmen, C., Guneyasu, S., Ejjada, M. (2021). **Environmental Impact of Coronavirus (COVID-19) from Turkish Perceptive.** *Environmental, Development and Sustainability*, 23:7573-7580.
- Ayoub, M., El-Moursy, A. (2021). **Upgrading of an Extended Aeration System to Improve Wastewater Treatment.** *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences*, 81(1):23-35.
- Camargo, R.D.A., Calijuri, M.L., Santiago, A.D.F. (2010). **Water Quality Prediction Using QUAL2Kw Model in a Small Karstic Watershed in Brazil.** *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22(4):486-498.
- Chen, Xin, Sato, K., Wakatsuki, T., Masunaga, T. (2007). **Effect of Aeration and Material Composition in Soil Mixture Block on The Removal of Colored Substances and COD in Livestock Wastewater Using QUAL2Kw.** *Soil Science and Plant Nutrition*, 53:509-516.
- Chowdhury, M.S.U., Othman, F., Jaafar, W.Z.W., Mood., N.C., Adham, M.I (2018). **Assessment of Pollution and Improvement Measure of Water Quality Parameters using Scenarios Modeling for Sungai Selangor Basin.** *Sains Malaysiana*. 47(3).
- Darmanto, D., Sudarmadji. (2013). **Pengelolaan Sungai Berbasis Masyarakat Lokal di Daerah Lereng Selatan Gunung Api Merapi.** *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 20(2).

- Duhupo, D., Akili, R.H., Pinontoan, O.R (2019). **Perbandingan Analisis Pencemaran Air Sungai Dengan Menggunakan Parameter Kimia BOD dan COD di Kelurahan Ketang Baru Kecamatan Singkil Kota Manado Tahun 2018 dan 2019.**
- Fajaruddin, A.H., Sholichin, M., Prayogo, T.B (2017). **Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Brantas Ruas Kota Malang dengan Menggunakan Paket Program QUAL2Kw.** *Jurnal Teknik Pengairan*, 1(2).
- Febriyana, N.A (2016). **Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Kali Surabaya Segmen Tambangan Cangkir – Bendungan Gunung Sari Dengan Pemodelan QUAL2KW.** Thesis FTSP ITS.
- Fertrisinanda, F., Wahyono, H. (2012). **Pengaruh Saluran Drainase Terhadap Pencemaran Lingkungan Permukiman di Sekitar Kawasan Industri Genuk Kota Semarang.** *Jurnal Teknik PWK*. 1(1).
- Filliazati, M., Apriani, I., Zahara, T.A (2017). **Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Bioball dan Tanaman Kiambang.**
- Fisesa, E.D., Setyobudiandi, I., Krisanti, M (2014). **Water Quality Condition and Community Structure of Macrozoobenthos in Belumai River, Deli Serdang District, North Sumatera.** *Jurnal Ilmu – Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 3(1).
- Fleifle, A., Saavedra, O., Yoshimura, C., Elzeir, M., Tawfik, A. (2014). **Optimization of Integrated Water Quality Management for Agricultural Efficiency and Environmental Conservation.** *Environmental Science and Pollution Research*.
- Hardyanti, N., Nugraha, W.D., S.B.Edgar, V. (2020). **Analysis of The Impact of Industrial Activities Towards River Vacancy Viewed from BODS, CODS, and TSS Using The QUAL2KW Software Method Approach (Case Study: Klampok River, Semarang District).** *E3S Web of Conferences* 202.



- Haribowo, R., & Prayogo, T. B (2021). **Analisa Kualitas Air Sungai Tukad Badung, Denpasar, Bali Menggunakan Program QUAL2Kw.** *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*. 1(1), 40-51.
- Ibrahim, B., Sukarsa, D.R., Aryanti, L. (2012). **Pemanfaatan Rumput Laut *Sargassum* sp. Sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Rumah Tangga Perikanan.** *JPHPI*, 15(1).
- Islamawati, Darundiati, Y.H., Dewanti, N.A. (2018). **Studi Penurunan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Menggunakan Ferri Klorida (FeCl<sub>3</sub>) pada Limbah Cair Tapioka di Desa Ngemplak Margoyoso Pati.** *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6 (6).
- Iqbal, M.M., Shoaib, M., Farid, H.U., Lee, J.L. (2018). **Assessment of Water Quality Profile Using Numerical Modeling Approach in Major Climate Classes of Asia.** *International Journal of Environment Research and Public Health*, 15, 2258.
- Kamal, N.A., Muhammad, N.S., Abdullah, J. (2020). **Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS.** *Environmental Pollution*, 259.
- Kamarudin, M.K.A., Toriman, M.E., Wahab, N.A., Rosli, H., Ata, F.M., Faudzi, M.N.M (2017). **Sedimentation Study on Upstream Reach of Selected Rivers in Pahang River Basin, Malaysia.** *International Journal of Advanced Science, Engineering and Information Technology*.
- Kannel, Prakash Raj, Lee S, Lee Y. S, Kanel S. R, Pelletier G. J. (2007). **Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Management In The Bagmati River, Nepal.** *Ecological Modelling*. 202 (2007),Pp. 503-517.
- Karangan, J., Sugeng, B., Sukardi. (2019). **Uji Keasaman Air dengan Alat Sensor pH di STT Migas Balikpapan.** *Jurnal Kacapuri*, 2(1).
- Khalifa, M.E., El-Reash, Y.G.A., Ahmed, M.I., Rizk, F.W. (2020). **Effect of Media Variation on The Removal Efficiency of Pollutants From Domestic Wastewater in Constructed Wetland Systems.** *Ecological Engineering*, 143.

- Khattiyavong, C., Lee, H.S. (2019). **Performance Simulation and Assessment of an Appropriate Wastewater Treatment Technology in a Densely Populated Growing City in a Developing Country: A Case Study in Vientiane, Laos.**
- Kudubun, R., Kisworo, K., & Rahardjo, D. (2020). **Pengaruh tata guna lahan, tipe vegetasi riparian, dan sumber pencemar terhadap kualitas air Sungai Winongo di Daerah Istimewa Yogyakarta.** *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 6(1), pp. 392-400.
- Lesmana, D., Fauzi, M., Sujatmoko, B. (2021). **Analisis Kemiringan Lereng Daerah Aliran Sungai Kampar dengan Titik Keluaran Waduk PLTA Koto Panjang.** *Jom FTEKNIK*, 8(2).
- 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*, 8(2), 161-176.
- Maghfiroh, L. (2016). **Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Kalimas Surabaya (Segmen Taman Prestasi-Jembatan Petekan) Dengan Pemodelan QUAL2Kw.** Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mandi, L., Bouhoum, K., Ouazzani, N. (1998). **Application of Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment in an Arid Climate.** *Water Science and Technology*, 38 :379-387.
- Mardhia, D., Abdullah, V. (2018). **Studi Anslidid Kualits Air Sungai Brangbiji Sumbawa Besar.** *Jurnal Biologi Tropis*, 18 (2).
- Marlina, N., Hudori., Hafidh, R. (2017). **Pengaruh Kekasaran Saluran dan Suhu Air Sungai pada Parameter Kualitas Air COD, TSS di Sungai Winongo Menggunakan Software QUAL2Kw.** *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 9(2), 122-133.
- Marlina, N., Kasam., Juliani, N. (2015). **Evaluasi Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Menggunakan Model Kualitas Air (Studi Kasus : Sungai Winongo).** *Jurnal Inovasi dan Kewirausahaan*, 4(2), 78-86.

- Masduqi, A., Assomadi, A.F. (2011). **Application of QUAL2Kw Model for Water Quality Management of Brantas River.** *Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia*, 415-425.
- Ma'arif, N. L., & Hidayah, Z. (2020). **Kajian Pola Arus Permukaan Dan Sebaran Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Di Pesisir Pantai Kenjeran Surabaya.** *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(3), 417-426.
- Muchtar, A., Abdullah, N. (2007). **Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Debit Sungai Mamasa.** *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 2(1):174-187.
- Mustafa, A.S., Sulaiman, S.O., Shahooth, S.H. (2017). **Application of QUAL2K for Water Quality Modelling and Management in the lower reach of the Diyala River.** *Iraqi Journal of Civil Engineering*, 11(2), 66-80.
- Norhadi, A., Marzuki, A., Wicaksono, L., Yacob, R.A. (2015). **Studi Debit Aliran pada Sungai Antasan Kelurahan Sungai Andai Banjarmasin Utara.** *Jurnal Poros Teknik*, 7(1).
- Nugraha, A.A., Rudiyaniti, S., Haeruddin. (2014). **Efektivitas Penggunaan Ikan Sapu-Sapu (*Hypostomus plecostomus*) Untuk Meningkatkan Kualitas Air Limbah Pengolahan Ikan (Berdasarkan Nilai BOD, COD, TOM).** *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(4):15-23.
- Oktiawan, W., Hadiwidodo, M., Purwono, P. (2016). **Penggunaan Biocatalyst Electrolysis Dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD Limbah Domestik.** *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(2):81-87.
- Pangestu, R., Riani, E., Effendi, H. (2017). **Estimasi Beban Pencemaran Point Source dan Limbah Domestik di Sungai Kalibaru Timur Provinsi DKI Jakarta, Indonesia.** *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(3).
- Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Poppo, A., Mahendra, M.S., Sundra, I.K. (2007). **Studi Kualitas Perairan Pantai di Kawasan Industri Perikanan, Desa Pengambangan, Kecamatan**

- Negara, Kabupaten Jembrana. *Ecotrophic : Jurnal Ilmu Lingkungan*, 3(2).
- Prambudy, H., Supriyatin, T., Setiawan, F (2019). **The Testing of Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD) of River Water in Cipager Cirebon.** *International Symposium of Sciences, Engineering, and Technology*.
- Purba, R.H., Mubarak, Galib, M. (2018). **Sebaran Total Suspended Solid (TSS) di Kawasan Muara Sungai Kampar Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau.** *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 23(1).
- Puteri, M.F., Putra, Y.S., Adriat, R. (2019). **Penentuan Debit Aliran di Muara Sungai Pawan Kabupaten Ketapang berdasarkan Parameter Kecepatan Arus dan Kedalaman Sungai.** *Prisma Fisika*, 7(3):326-330.
- Qin, H.P., Su, Q., Khu, S.T., Tang, N. (2014). **Water Quality Changes during Rapid Urbanization in the Shenzhen River Catchment: An Integrated View of Socio-Economic and Infrastructure Development.** *Sustainability*, 6:7433-7451.
- Rahadian, R., Sutrisno, E., Sumiyati, S. (2017). **Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu.** *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3).
- Rahmah., Mulasari, S.A. **Pengaruh Metode Koagulasi, Sedimentasi dan Variasi Filtrasi Terhadap Penurunan Kadar TSS, COD dan Warna Pada Limbah Cair Batik.** *Chemica*, 2(1):7-12.
- Ranjith, S., Shivapur, A.V., Kumar, P.S.K., Hiremath, C.G., Dhungana, S. (2019). **Utilization of Water Quality Modelling and DO Control in River Tungabhadra, Karnataka (India).**
- Rezagama, A., Sarminingsih, A., Rahmadani, A.Y., Aini, A.N. (2019). **Pemodelan Peningkatan Kualitas Air Sungai Melalui Variasi Debit Suplesi.** *Teknik*, 40(2):106-114.
- Rizki, N., Sutrisno, E., Sumiyati, S. (2017). **Penurunan Konsentrasi COD dan TSS pada Limbah Cair Tahu dengan Metode Kolam (Pond) – Biofilm Menggunakan Media Biofilter Jaring Ikan dan Bioball.** *FSTL Undip*.

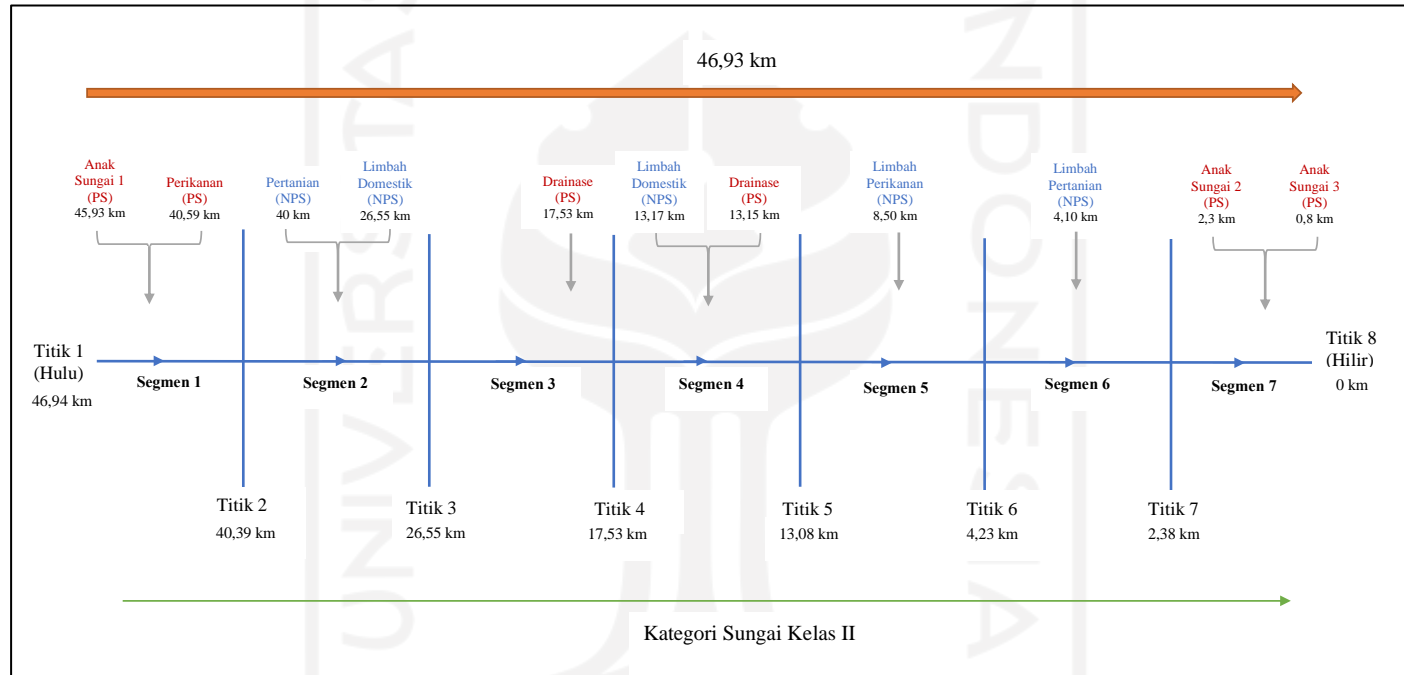
- Royani, S., Fitriana, A.S., Enarga, A.B.P., Bagaskara, H.Z. (2021). **Kajian COD dan BOD dalam Air di Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Kaliori Kabupaten Banyumas.** *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 13 (1).
- Safitri, M., Putri, M.R. (2012). **Kondisi Keasaman (pH) Laut Indonesia.** *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Poseidon ITB*.
- Sarkodie, S.A., Owusu, P.A. (2020). **Impact of Covid-19 Pandemic on Waste Management.** *Environment, Development and Sustainability*.
- Shraideh, H., Hasan, A., Samhan, S., Hasan, J. (2013). **Water Quality Modeling of Zimar Stream With Considerations of Current and Future Solutions.** *IWTC17*.
- Simanjuntak, D.S. (2019). **Penurunan Kadar TSS pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Rumput Vetiver (*Vetivera zizanioides* L).** *Regional Development Industry & Health Science, Technology and Art of Life*.
- Sisnayanti, S., Dewi, D.S., Apriani, R., Faizal, M. (2021). **Penurunan BOD, TSS, Minyak dan Lemak Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Proses Aerasi Plat Berlubang.** *JTK*, 27(2):38-45.
- Siswanto, A. D. (2010). **Analisa sebaran total suspended solid (TSS) di perairan pantai Kabupaten Bangkalan pasca jembatan suramadu.** *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 3(2), 91-97.
- Srinivas, R., Singh, A.P. (2018). **An Integrated Fuzzy-Based Advanced Eutrophication Simulation Model to Develop The Best Management Scenario For A River Basin.** *Environmental Science and Pollution Research*.
- Staddal, Ikrima, Haridjaja, O., Hidayat, Y. (2017). **Analisis Debit Aliran Sungai DAS Bila, Sulawesi Selatan.** *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(2):117-130.
- Sulaxono, R.W.F., Indrayatie, E.R., Syarifuddin. (2020). **Analisis Debit Air di Sub DAS Nahiyah DAS Asam-Asam Kabupaten Tanah Laut.** *Jurnal Sylva Scientiae*, 3(4).

- Supriyantini, E., Nuraini, R.A.T., Fadmawati, A.P (2017). **Studi Kandungan Bahan Organik pada Beberapa Muara Sungai di Kawasan Ekosistem Mangrove, di Wilayah Pesisir Panati Utara Kota Semarang , Jawa Tengah.** *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1):29-38.
- Susana, T. (2009). **Tingkat Keasaman (pH) dan Oksigen Terlarut Sebagai Indikator Kualitas Perairan Sekitar Muara Sungai Cisadane.** *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5 (2).
- Suyarto, I.D.P.G.A.D., Trigunasih, N.M. (2019). **Pengaruh Morfometri DAS terhadap Debit dan Sedimentasi DAS Yeh Ho.** *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 8 (1).
- Syafrudin., Sudarno., Atmaja, W.K.E.Y. (2012). **Studi Pengaruh Variasi Debit Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Domestik Black Water Menggunakan Reaktor UASB.** *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- Syahril. (2016). **Sumber Polusi Titik Dan Tersebar (Point and Nonpoint Source Polution) Terhadap Pencemaran Air bawah Permukaan.** *Prosiding Seminar Nasional "Pelestarian Lingkungan & Mitigasi Bencana*.
- Tampubolon, R.A.P., Febrina, L., Mulyawati, I. (2020). **Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Pada Air Limbah Domestik dengan Sistem *Construvted Wetland* Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*).** *Jurnal SEOI*, 2(1).
- Tran, C.N., Yossapol, C., Tantemsapaya, N., Kosa, P., Kongkhiaw, P. (2022). **Water Quality Simulation and Dissolved Oxygen Change Scenarios in Lam Takhong River in Thailand.** *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 10(1).
- Triatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- Ulfa, Q.A. (2021). **Analisis Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Winongo Berdasarkan Parameter BOD dan COD Menggunakan Model Qual2Kw.** Tugas Akhir FTSP UII.
- Winarsih., Emiyarti., Afu, L.O.A. (2016). **Distribusi Total Suspended Solid Permukaan di Perairan Teluk Kendari.** *Jurnal Sapa Laut*, 1 (2).

- Yogafanny, E. (2015). **Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo.** *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7(1), 41-50.
- Yohannes, B., Utamo, S.W., Agustina, H. (2019). **Kajian Kualitas Air Sungai dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air (Studi di Sungai Krukut, Jakarta Selatan).** *Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, 4(2).
- Yulianti, D.A. (2019). **Perbedaan Kadar TSS pada Air Sungai Nguneng Sebelum dan Sesudah Tercemar Limbah Cair Tahu.** *Jurnal Laboratorium Medis*, 01 (01).
- Zakaria, A., Sauri, S., Fadela, D.M., Wardhani, P.S.A. (2021). **Efisiensi Penurunan Kadar COD, TS, TSS, Kekeruhan dan TDS pada Air Limbah Industri Pangan Menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chloride dengan Metode Jar Test.** *Warta Akab*, 45(2):98-104.
- Zeb, B.S., Malik, A.H., Waseem, A., Mahmood, Q. (2011). **Water Quality Assessment of Siran River, Pakistan.** *International Journal of The Physical Sciences*, Vol 6 (34).
- Zhang, R., Qian, X., Zhu, W., Gao, H., Hu, W., Wang, J. (2014). **Simulation and Evaluation of Pollution Load Reduction Scenarios for Water Environmental Management: A Case Study of Inflow River of Taihu Lake, China.** *Int. J. Environ. Res. Public Health*.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Sketsa Sumber Pencemar Sungai Winongo





**Lampiran 2 Data Hidrolik Sungai Winongo**

Titik	Q (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	B (m)	V (m/s)	Elevasi	
					Upstream	Downstream
Titik 1 (headwater)	0,28	0,42	2,7	0,25		325
Titik 2	0,64	0,4	4,4	0,36	325	300
Titik 3	9,03	0,66	11,4	1,2	300	112,5
Titik 4	4,83	0,46	21	0,5	112,5	100
Titik 5	3,33	1,15	22,3	0,13	100	87,5
Titik 6	5,1	0,31	11	1,5	87,5	62,5
Titik 7	8,46	2,35	15	0,24	62,5	42,5
Titik 8	5,38	1,73	17,8	0,175	42,5	25

**Lampiran 3 Data Klimatologis Sungai Winongo**

Titik	temp udara (°C)	kecepatan angin (m/s)	tutupan awan (%)	persen radiasi (%)	titik embun (°C)
Titik 1 (headwater)	27	2,2	77	13	23
Titik 2	27	1,66	79	19	23
Titik 3	28	1,38	82	14	24
Titik 4	27	0,83	88	21	24
Titik 5	25	0,55	95	13	24
Titik 6	27	1,66	87	19	25
Titik 7	30	2,22	76	12	25
Titik 8	30	2,22	74	14	25

**Lampiran 4** Data Kualitas Air Sungai Winongo

<b>Titik Pengambilan Sampel</b>	<b>Kode</b>	<b>COD (mg/L)</b>	<b>Baku mutu (mg/L)</b>	<b>TSS (mg/L)</b>	<b>Baku mutu (mg/L)</b>
Titik 1	T1	24,20	25	257,5	50
Titik 2	T2	44,80	25	737,5	50
Titik 3	T3	41,37	25	1460	50
Titik 4	T4	37,90	25	1225	50
Titik 5	T5	86,06	25	1007,5	50
Titik 6	T6	86,50	25	737,5	50
Titik 7	T7	56,80	25	995	50
Titik 8	T8	52,58	25	762,5	50

Lampiran 5 Dokumentasi Sampling



الجمعة، الأستد الاندو



الجامعة الإسلامية  
الاستدراكية



الجامعة الإسلامية  
الاستدراكية

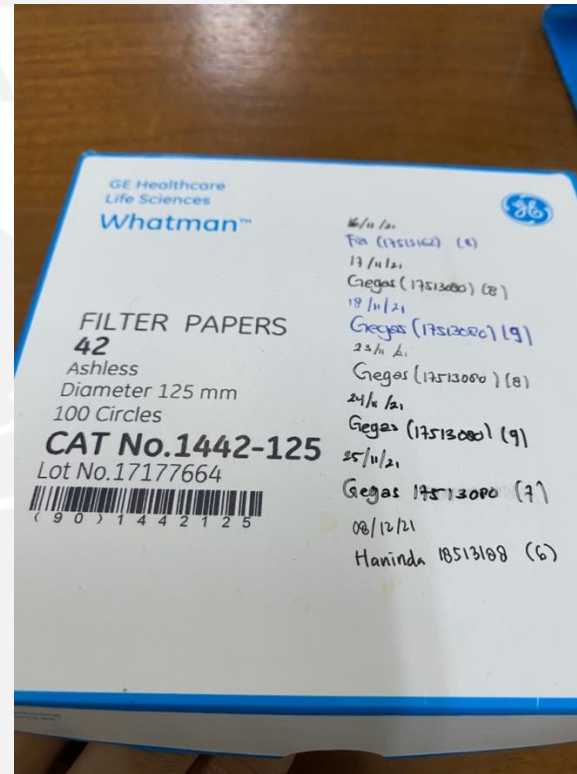


UNIVERSITY OF  
ASIA  
الجامعة الإسلامية  
الاستدراكية

**Lampiran 6** Dokumentasi Uji TSS dan COD di Laboratorium FTSP UII



الجامعة الإسلامية  
الاستاذ الدكتور



الجمهورية العربية السورية  
الجامعة اللبنانية



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bekasi, 20 April 2000. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Imam Suprpto dan Khalimatus Sa'adah. Penulis menempuh pendidikan di SDIT Annur pada tahun 2006 – 2012 di Cikarang Baru, Bekasi. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMPIT As-Syifa Boarding School pada tahun 2012 – 2015 dan di SMAIT As-Syifa Boarding School pada tahun 2015 – 2018 di Jalancagak, Subang, Jawa Barat. Salah satu kegiatan yang penulis lakukan saat menjadi siswa adalah mengikuti Kejuaraan Nasional Tapak Suci kategori remaja pada tahun 2016 di UMM, Malang dan mengikuti kepanitiaan acara tahunan sekolah. Setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan studi di Universitas Islam Indonesia dengan mengambil Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan pada tahun 2018. Beberapa kegiatan yang penulis lakukan saat menjadi mahasiswa adalah aktif dalam mengikuti kepanitiaan acara kampus dan mengikuti pelatihan QHSE Awareness. Pada Maret 2021, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Tunas Makmur Jaya Aabadi dengan topik pembahasan Monitoring Evaluasi Limbah B3. Kemudian pada bulan Maret – Desember 2022 penulis melakukan penelitian terkait Pemodelan Kualitas Air Permukaan Sungai pada Parameter TSS & COD Menggunakan *Software* QUAL2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo), sebagai syarat menyelesaikan studi strata 1 di Teknik Lingkungan UII.