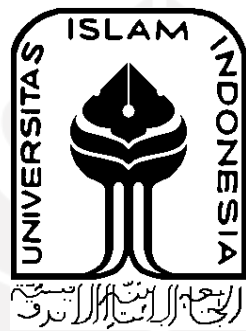


TA/TL/2022/1465


TUGAS AKHIR
PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI BERDASARKAN
PARAMETER DO DAN BOD MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
QUAL2KW (STUDI KASUS: SUNGAI WINONGO, PROVINSI DIY)


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




RADHITA RAHMI
18513187

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Nelly Marlina, S.T. M.T
NIK. 125130401
Tanggal: 15 Juli 2022


Dr. Suphia Rahmawati, S.T. M.T
NIK. 155131313
Tanggal: 15 Juli 2022

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal : 28 Juli 2022

HALAMAN PENGESAHAN*

**PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI BERDASARKAN
PARAMETER DO DAN BOD MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
QUAL2KW (STUDI KASUS: SUNGAI WINONGO, PROVINSI
DIY)**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

**Hari : Senin
Tanggal : 15 Juli 2022**

Disusun Oleh:

**RADHITA RAHMI
18513187**

Tim Penguji :


Nelly Marlina., S.T. M.T


(NellyTM)

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


(SuphiaTM)

Dr.Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng


(AwaluddinTM)

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 April 2022

Yang membuat pernyataan,




Radhita Rahmi

NIM: 18513187

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini dengan judul “Pemodelan Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter DO dan BOD Menggunakan *Software* Qual2kw (Studi Kasus : Sungai Winongo Provinsi DIY)” berhasil diselesaikan.

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 Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan kepada penulis.
3. Bapak Hasbullah dan Ibu Zainab selaku orangtua penulis yang telah memberikan doa dan support selama perkuliahan ini.
4. Junio Gestimades selaku support system yang telah ikut membantu dan memberikan semangat serta doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Mas Heri selaku staf jurusan teknik lingkungan yang telah membantu penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.
6. Seluruh staf laboratorium Kualitas Air FTSP UII yang telah membantu penulis selama di laboratorium.
7. Bima dan Iceng selaku teman perkuliahan yang telah membantu penulis dalam pengambilan sampel di Sungai Winongo.
8. Haninda dan Citra selaku team tugas akhir yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Dea, Sagita, Sindi, Ajeng, Dhita, Izaz, Fira dan teman-teman penulis yang telah memberikan semangat serta doanya dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 15 April 2022

Radhia Rahmi



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

RADHITA RAHMI. Pemodelan Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter DO dan BOD Menggunakan *Software* Qual2kw (Studi Kasus : Sungai Winongo, Provinsi DIY). Dibimbing oleh Nelly Marlina,. S.T. M.T dan Dr. Suphia Rahmawati,. S.T. M.T.

Lokasi penelitian berada di Sungai Winongo sepanjang 46,93 km yang melewati daerah Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan berakhir di Kabupaten Bantul. Sungai Winongo menerima sumber pencemar seperti limbah domestik, limbah pertanian, limbah perikanan, saluran drainase dan masukan anak sungai sehingga terjadinya pencemaran sungai. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kualitas air dengan sumber pencemar *point source* dan *non point source* pada parameter BOD dan DO di Sungai Winongo, dan mendapatkan strategi alternatif terhadap pengelolaan kualitas air sungai Winongo dari hasil simulasi pemodelan Qual2kw yang dapat meningkatkan konsentrasi DO dan menurunkan konsentrasi BOD. Penggunaan model Qual2kw dimulai dari menginput data pada software Qual2kw lalu melakukan kalibrasi dengan *trial and error* hingga grafik model mendekati data lapangan, serta melakukan validasi dengan menghitung nilai error model dan berakhir pada tahap simulasi. Hasil validasi menunjukkan model dapat diterima menggunakan metode RPD nilai error debit sebesar 11%, DO sebesar 14% dan BOD sebesar 3%. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadinya pencemaran pada Sungai Winongo, dibuktikan dengan rata-rata konsentrasi BOD yang melebihi baku mutu kelas II sebesar 4,45 mg/L dan konsentrasi DO sebesar 5,38 mg/L. Hasil simulasi dengan skenario modifikasi beban pencemar (menurunkan 20% BOD effluent) efektif dalam menurunkan konsentrasi BOD sehingga terjadi peningkatan terhadap konsentrasi DO pada Sungai Winongo. Juga pada skenario oksigenasi lokal (penempatan terjunan pada titik kritis) efektif dalam meningkatkan konsentrasi DO. Serta pada skenario penambahan debit (kombinasi antara penurunan 20% BOD effluent dan penggunaan debit yang tinggi) efektif dalam menurunkan konsentrasi BOD namun tidak efektif dalam peningkatan konsentrasi DO.

Kata kunci: BOD, DO, Pemodelan Kualitas Air, Sungai Winongo, Qual2kw

ABSTRACT

RADHITA RAHMI. River Water Quality Modeling on DO and BOD Parameters Using Qual2kw Software (Case Study: Winongo River, DIY Province). Supervised by Nelly Marlina, S.T. M.T and Dr. Suphia Rahmawati, S.T. M.T.

The research location is on the Winongo River along 46.93 km which passes through the Sleman Regency, Yogyakarta City and ends in Bantul Regency. The Winongo River receives sources of pollution such as domestic waste, agricultural waste, fishery waste, drainage channels and tributary inputs, resulting in river pollution. The purpose of this study was to analyze water quality with point source and non-point source pollutant sources on BOD and DO parameters in the Winongo River, and obtain alternative strategies for managing water quality in the Winongo river from the simulation results of Qual2kw modeling which can increase DO concentrations and decrease BOD concentrations. The use of the Qual2kw model starts from inputting data into the Qual2kw software then calibrates by trial and error until the model graph approaches the field data, and performs validation by calculating the model error value and ends at the simulation stage. The validation results show that the model can be accepted using the RPD method with a debit error of 11%, DO of 14% and BOD of 3%. Based on the results of the study, it was shown that the occurrence of pollution in the Winongo River, as evidenced by the average BOD concentration that exceeded the class II quality standard was 4.45 mg/L and the DO concentration was 5.38 mg/L. The simulation results with the modified pollutant load scenario (reducing 20% BOD effluent) are effective in reducing the BOD concentration so that there is an increase in DO concentration in the Winongo River. Also in the local oxygenation scenario (placement of the plunge at the critical point) it is effective in increasing the DO concentration. And in the scenario of increasing the discharge (a combination of a 20% decrease in BOD effluent and the use of a high discharge) it is effective in reducing the concentration of BOD but is not effective in increasing the concentration of DO.

Keywords: BOD, DO, Qual2kw, Water Quality Modeling, Winongo River



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pencemaran Sungai	6
2.2 Sumber Pencemar	6
2.3 Parameter Kualitas Air Sungai	8
2.3.1 BOD (Biochemical Oxygen Demand).....	8
2.3.2 DO (Dissolved Oxygen).....	9
2.3.3 pH atau Derajat Keasamaan	9
2.3.4 Temperatur Air	10
2.4 Baku Mutu Air Sungai	10
2.5 Pemodelan Kualitas Air	11
2.5.1 <i>Software</i> Qual2kw	13
2.6 Sungai Winongo	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	17
3.2 Metodologi Penelitian.....	18
3.2.1 Observasi Lapangan dan Segmentasi Sungai	18
3.2.2 Pengumpulan Data.....	21

3.2.3 Analisis Data Menggunakan <i>Software</i> Qual2kw.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Gambaran Umum Lokasi dan Titik Sampling Sungai Winongo.....	33
4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Winongo	40
4.2.1 Debit Sungai Winongo	42
4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai Winongo	43
4.3.1 Temperatur Air	43
4.3.2 Derajat Keasaman (pH)	46
4.3.3 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO).....	48
4.3.4 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD).....	51
4.4 Pemodelan Kualitas Air menggunakan Qual2kw	54
4.4.1 Hasil Kalibrasi Model.....	54
4.4.2 Hasil Validasi Model.....	58
4.4.3 Hasil Simulasi Model	63
4.5 Strategi Alternatif Pengelolaan Sungai Winongo.....	73
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Simpulan.....	76
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN	83



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 3.1 Lokasi penelitian	20
Tabel 3.2 Parameter uji kualitas air	22
Tabel 3.3 <i>Worksheet</i> Qual2kw.....	27
Tabel 4.1 Titik lokasi sampling Sungai Winongo	35
Tabel 4.2 Kondisi Lokasi Titik Sampling Sungai Winongo	36
Tabel 4.3 Data Hidrolik Sungai Winongo	41
Tabel 4.4 Data <i>Slope</i> Sungai Winongo.....	41
Tabel 4.5 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2020.....	44
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Temperatur Air Sungai Winongo.....	45
Tabel 4.7 pH Sungai Winongo Tahun 2016-2020.....	46
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran pH Sungai Winongo.....	47
Tabel 4.9 Konsentrasi DO Sungai Winongo Tahun 2016-2020.....	49
Tabel 4.10 Hasil pengukuran DO Sungai Winongo	50
Tabel 4.11 Konsentrasi BOD Sungai Winongo Tahun 2016-2020.....	51
Tabel 4.12 Hasil perhitungan BOD Sungai Winongo	52
Tabel 4.13 Hasil validasi data debit dengan RMSPE.....	59
Tabel 4.14 Hasil validasi data DO dengan RMSPE	59
Tabel 4.15 Hasil validasi data BOD dengan RMSPE	60
Tabel 4.16 Hasil validasi data debit dengan Chi square.....	61
Tabel 4.17 Hasil validasi data DO dengan Chi square	61
Tabel 4.18 Hasil validasi data BOD dengan Chi square	61
Tabel 4.19 Hasil validasi data debit dengan RPD	62
Tabel 4.20 Hasil validasi data DO dengan RPD	63
Tabel 4.21 Hasil validasi data BOD dengan RPD.....	63



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَشْكُرَهُ لَوْلَا رَحْمَتُ اللَّهِ عَلَيْنَا لَكُنَّا مِنَ الْخَاسِرِينَ

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sketsa Sumber Pencemar Sungai Winongo	83
Lampiran 2 Data sekunder Debit Sungai Winongo.....	84
Lampiran 3 Data Hidrolik Sungai Winongo.....	84
Lampiran 4 Analisis Data Kualitas Air Sungai Winongo DO dan BOD	85
Lampiran 5 Data Klimatologis Titik Sampling Sungai Winongo	85
Lampiran 6 Data Sekunder Klimatologis Titik Sampling Sungai Winongo	86
Lampiran 7 Dokumentasi Kegiatan Sampling.....	87
Lampiran 8 Dokumentasi Pengujian BOD di Laboratorium.....	89
Lampiran 9 Baku mutu air kelas II.....	90
Lampiran 10 Tabel x^2 metode Chi Square	91



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan sumber daya air yang dimanfaatkan oleh manusia sehingga harus dijaga kualitasnya agar tidak terjadi pencemaran terhadap sungai. Namun realitanya jumlah limbah cair yang dibuang ke sungai semakin lama semakin meningkat sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran sungai dan terjadinya penurunan terhadap kualitas air sungai (Saily, 2020). Penurunan kualitas air sungai tersebut disebabkan oleh peningkatan aktivitas manusia seperti pertanian, perikanan dan permukiman, sehingga kondisi kualitas air sungai menurun dan tidak dapat dimanfaatkan secara optimal (Anwariani 2019).

Penelitian ini dilakukan di salah satu sungai yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta, yakni Sungai Winongo dari hulu hingga hilir. Sungai Winongo digunakan oleh masyarakat sekitar untuk mencuci, mandi, mengairi daerah pertanian dan perikanan. Akan tetapi pemanfaatan sungai dari waktu ke waktu mulai tidak terkontrol sehingga menyebabkan terjadinya penurunan terhadap kualitas air Sungai Winongo (Kubudun dkk, 2020). Menurunnya kualitas air Sungai Winongo disebabkan oleh sumber pencemar *point source* dan *non point source* yang berasal dari limbah domestik, saluran drainase, limbah perikanan, dan limbah pertanian. Sehingga pada penelitian ini menggunakan parameter pencemar air BOD dan DO yang dapat mewakili kondisi kualitas air di Sungai Winongo. Berdasarkan hasil pemantauan kualitas air sungai yang dilakukan oleh DLH DIY pada tahun 2020, menunjukkan bahwa kondisi kualitas air Sungai Winongo menurun, hal tersebut dibuktikan dengan konsentrasi BOD yang telah melebihi baku mutu air kelas II yaitu sebesar 4,31 mg/L.

Pengambilan sampel air sungai dapat menggambarkan kualitas air sungai yang lebih akurat tetapi membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang tinggi. Sehingga dilakukannya pemodelan sungai yang bertujuan untuk meminimalisir biaya observasi dan waktu. Pemodelan yang tepat untuk menyederhanakan kondisi kualitas air sungai adalah model Qual2kw. Model Qual2kw merupakan pemodelan modern yang dapat menyimulasikan dan menyederhanakan kondisi kualitas air sungai yang disajikan dalam bentuk grafik. Aspek pendukung lain dalam pemilihan pemodelan dengan metode Qual2kw karena Qual2kw memiliki nilai validasi yang cukup baik untuk merepresentasikan kualitas air sungai (Rezagama, et al, 2019).

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan di Sungai Winongo menggunakan pemodelan Qual2kw. Pada penelitian (Ulfa, 2021) pemodelan Qual2kw digunakan untuk menentukan daya tampung beban pencemar pada Sungai Winongo menggunakan parameter COD dan BOD. Pada penelitian (Marlina dkk, 2017) pemodelan Qual2kw digunakan untuk mengetahui pengaruh kekasaran saluran dan suhu air sungai menggunakan parameter COD dan TSS.

Penjelasan di atas memberikan ketertarikan bagi peneliti untuk melakukan penelitian terkait pemodelan Qual2kw pada Sungai Winongo menggunakan parameter DO dan BOD dengan simulasi atau skenario yang berbeda. Terdapat 3 skenario pada penelitian ini yaitu dengan modifikasi beban pencemar, penambahan debit dan oksigenasi lokal. Skenario tersebut bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi DO dan menurunkan konsentrasi BOD untuk pengelolaan kualitas air Sungai Winongo. Judul penelitian ini adalah “Pemodelan Kualitas Air Permukaan Sungai Berdasarkan Parameter BOD dan DO Menggunakan Software Qual2kw (Studi Kasus: Sungai Winongo Provinsi DIY)”.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan penelitian ini, sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi kualitas air di sungai Winongo pada parameter BOD dan DO dengan sumber pencemar *point source* dan *non point source* yang masuk ke aliran Sungai Winongo ?
2. Bagaimana strategi alternatif terhadap pengelolaan kualitas air sungai Winongo yang dapat meningkatkan konsentrasi DO dan menurunkan konsentrasi BOD?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan analisa kualitas air dengan sumber pencemar *point source* dan *non point source* pada parameter BOD dan DO di Sungai Winongo.
2. Mendapatkan strategi alternatif terhadap pengelolaan kualitas air sungai Winongo dari hasil simulasi pemodelan Qual2kw yang dapat meningkatkan konsentrasi DO dan menurunkan konsentrasi BOD.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait penerapan metode Qual2kw sebagai *software* yang dapat digunakan untuk pemodelan kualitas air pada Sungai Winongo.
2. Memberikan rekomendasi kepada pihak DLH Provinsi Yogyakarta terkait cara mengatasi permasalahan pencemaran di Sungai Winongo dengan simulasi model yang digunakan.
3. Memberikan informasi bagi peneliti selanjutnya mengenai kualitas air Winongo.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup atau batasan pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di sepanjang Sungai Winongo Provinsi D.I.Yogyakarta (dari hulu hingga hilir).
2. Pengambilan sampel dimulai di Jembatan Giriharjo Kecamatan Pakem hingga Jembatan Gading Kecamatan Kretek.
3. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2021 hingga Januari 2022.
4. Pengambilan sampel air Sungai Winongo mengacu pada SNI 9689.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan.
5. Parameter pencemar air yang di uji adalah DO dan BOD.
6. Pengujian sampel parameter BOD yang dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UII mengacu pada SNI 6989: 72:2009 tentang Cara Uji Kebutuham BOD.
7. Baku mutu air sungai kelas II berdasarkan Pergub DIY No 20 Tahun 2008.
8. *Software* yang digunakan untuk pemodelan air sungai adalah Pemodelan Qual2kw versi 5.1.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Sungai

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu yang dapat menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Menurut Agustiniingsih (2012) air dapat dikatakan tercemar ketika kualitas air tersebut menurun sampai ke tingkat tertentu. Hal tersebut dikarenakan kadar senyawa yang terdapat di dalam air sudah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga tidak dapat digunakan sesuai peruntukannya.

Pencemaran air sungai merupakan perubahan kualitas pada suatu perairan yang disebabkan oleh aktivitas manusia, yang pada akhirnya akan merugikan kehidupan manusia itu sendiri ataupun makhluk hidup lainnya seperti tumbuhan dan hewan. Perubahan kualitas air sungai tersebut disebabkan oleh beberapa aktivitas manusia seperti kegiatan domestik, kegiatan industri dan kegiatan pertanian (Anwariani 2019).

2.2 Sumber Pencemar

Berdasarkan bentuk sebarannya, sumber pencemaran air dibagi menjadi 2, yaitu :

a. *Point Source*

Sumber pencemaran *point source* adalah sumber pencemaran yang sumbernya dapat diketahui dengan jelas. Sumber pencemaran *point source* berasal dari titik-titik di sepanjang badan air (sungai). Sumber pencemaran tersebut biasanya berasal dari pipa pembuangan seperti pipa pembuangan limbah industri, saluran drainase dan juga berasal dari pipa buangan hasil pengolahan limbah di IPAL yang tidak memenuhi syarat baku mutu air

limbah sesuai dengan yang telah ditetapkan (Syahril 2016). Limbah industri merupakan sisa dari kegiatan industri yang berasal dari proses industri misalnya air sisa pencucian alat industri dan air bekas proses industri. Anak sungai termasuk kedalam sumber pencemaran *point source* dikarenakan anak sungai berasal dari suatu aliran kecil yang mengalir sehingga masuk ke aliran sungai utama (Abdi, 2010).

b. *Non Point source*

Sumber pencemaran *non point source* adalah sumber pencemaran yang sumbernya tidak terlokalisasi dengan jelas. Sumber pencemaran tersebut tersebar dari beberapa tempat dan tidak langsung mencemari badan air (sungai), tetapi terlebih dahulu mencemari air tanah lalu kemudian masuk ke badan air (sungai). Sumber pencemaran *non point source* berasal dari limbah pertanian, peternakan, daerah pinggiran kota, kota-kota besar dan rumah-rumah pedesaan (Syahril 2016). Limbah pertanian merupakan salah satu limbah yang dapat mencemari sungai. Limbah pertanian berasal dari penggunaan pupuk organik, pupuk anorganik dan pestisida. Pupuk tersebut akan larut dan terbawa bersamaan dengan air hujan yang turun sehingga mengalir menuju sungai. Pupuk tersebut juga dapat mengkontaminasi air sungai melalui aliran yang mengalir pada saluran drainase (Yusuf, 2014). Limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari aktivitas rumah tangga seperti mencuci pakaian, mencuci piring dan mandi. Limbah domestik yang terdiri dari bahan organik, anorganik dan gas dapat menyebabkan pencemaran sungai apabila konsentrasinya sangat tinggi. Menurut South (2016) kadar pencemaran pada limbah domestik lebih kecil dibandingkan limbah yang berasal dari kegiatan industri.

2.3 Parameter Kualitas Air Sungai

Penentuan kualitas air Sungai Winongo dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter yang dapat mengidentifikasi adanya pencemaran di Sungai Winongo. Parameter kimia yang digunakan adalah BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan DO (*Dissolved Oxygen*). Parameter tersebut digunakan sebagai indikator pencemaran yang disebabkan oleh pertanian, permukiman dan perikanan yang dibuang ke badan sungai.

2.3.1 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Biochemical Oxygen Demand atau disingkat dengan BOD adalah parameter yang menggambarkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan pencemar yang terdapat di dalam sungai. BOD juga merupakan parameter yang dapat menunjukkan bahwa terjadinya pencemaran pada sungai. Parameter BOD tersebut banyak digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran suatu air limbah. Penentuan parameter BOD sangat penting untuk mengetahui aliran pencemaran dari hulu hingga hilir sungai. Faktor yang berpengaruh terhadap tinggi atau rendahnya BOD yaitu pertama suhu air, BOD dapat meningkat apabila suhu air pada sungai tersebut bertambah, karena meningkatnya dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Faktor kedua adalah pencemaran limbah, pada sungai tingkat pencemarannya tinggi maka konsentrasi BOD pada sungai tersebut meningkat dikarenakan besarnya kadar oksigen yang digunakan mikroba dalam mendegradasi bahan organik. Begitu juga ketika tingkat pencemarannya rendah menyebabkan berkurangnya konsentrasi BOD pada sungai tersebut. Pada sungai yang memiliki konsentrasi BOD rendah karena berkurangnya masukan limbah, maka sungai tersebut dapat melakukan pemurnian diri sendiri atau yang disebut dengan *self purification*. Ketika konsentrasi BOD tinggi pada suatu sungai, hal itu memperlihatkan bahwa sungai tersebut telah terjadi pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri, pertanian dan permukiman pada umumnya (Rahmazywati 2011).

2.3.2 DO (Dissolved Oxygen)

Dissolved Oxygen atau disingkat dengan DO adalah parameter yang menggambarkan oksigen terlarut di dalam air yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk metabolisme dan respirasi, sehingga oksigen terlarut ini sangat penting bagi berlangsungnya kehidupan biota air (Maghfiroh, 2016). DO juga dibutuhkan oleh bakteri dalam mendegradasi beban masukan berupa bahan organik. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi DO yaitu kedalaman sungai, pada kondisi sungai yang dangkal oksigen yang tersedia cukup tinggi dikarenakan mudahnya udara masuk kedalam air sehingga konsentrasi DO meningkat. Sedangkan pada kondisi sungai yang dalam, oksigen yang tersedia berkurang dikarenakan sulitnya udara masuk kedalam air yang menyebabkan menurunnya konsentrasi DO. Faktor kedua yaitu suhu air, DO dapat menurun salah satunya disebabkan oleh suhu air yang meningkat. Karena kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air meningkat dan meningkatnya konsumsi oksigen oleh mikroba yang menyebabkan berkurangnya kadar oksigen. Sebaliknya kondisi sungai dengan suhu air rendah menyebabkan konsentrasi DO meningkat karena kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air menurun. Faktor yang ketiga yaitu vegetasi disekitar sungai. Pada kondisi sungai dengan vegetasi yang masih banyak maka konsentrasi DO dapat meningkat karena berasal dari hasil fotosintesis tumbuhan disekitar sungai tersebut. Sehingga DO dan BOD memiliki hubungan yang berkebalikan. Semakin tinggi BOD di dalam air maka DO akan semakin rendah. Dengan berkurangnya DO di dalam air, menunjukkan bahwa kualitas air itu semakin buruk (Saily Randhi, 2020).

2.3.3 pH atau Derajat Keasamaan

Derajat keasaman (pH) merupakan pengukuran yang dilakukan untuk menunjukkan asam atau basanya suatu perairan. Pada skala 0 – 14, pH yang bernilai 7 menandakan bahwa perairan tersebut dalam kondisi netral. pH bernilai dibawah 7 menandakan perairan dalam kondisi asam dan pH bernilai diatas 7 menandakan perairan dalam kondisi basa (Singh dkk, 2015). Berdasarkan

Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008, baku mutu kelas II untuk parameter pH yaitu 6 – 8,5. Pada perairan dengan pH rendah maka perairan tersebut dalam kondisi asam dan korosif, proses nitrifikasi terhambat dan toksitas logam akan meningkat (Effendi, 2003). Pada sungai dengan kondisi pH rendah, banyak ditemukan hidrogen sulfida yang bersifat toksik kehidupan ikan di sungai. Namun pembentukan hidrogen sulfida dapat menurun apabila kadar oksigen didalam sungai meningkat. Kandungan oksigen yang meningkat dapat menyebabkan sulfur teroksidasi dalam bentuk ion seperti sulfat. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya pH dapat menurunkan persentase hidrogen sulfida di dalam sungai (Henny, 2012).

2.3.4 Temperatur Air

Temperatur air merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan kondisi kualitas air sungai. Temperatur air merupakan parameter yang penting bagi kehidupan organisme perairan. Temperatur air memberikan pengaruh terhadap metabolisme dan perkembangbiakan organisme di sungai. Perubahan temperatur air berdampak langsung terhadap aktivitas organisme sungai seperti pertumbuhan, metabolisme bahkan kematian organisme perairan. Apabila temperatur air meningkat dapat menurunkan kadar oksigen dalam sungai. Hal tersebut dikarenakan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air yang meningkatnya konsumsi oksigen oleh mikroba sehingga menyebabkan berkurangnya kadar oksigen. Begitu juga sebaliknya, pada kondisi sungai dengan temperatur air rendah, kadar oksigen yang tersedia tinggi. Mardhia (2018) mengatakan bahwa rentang nilai optimum dalam keberlangsungan hidup bagi organisme perairan berada pada nilai 25 °C – 30 °C.

2.4 Baku Mutu Air Sungai

Baku mutu air sungai merupakan suatu batas ukuran suatu unsur pencemar, senyawa, makhluk hidup atau komponen yang berada didalam air yang kadarnya harus berada di rentang yang telah ditetapkan. Apabila suatu parameter sungai

melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, dapat dikatakan pada sungai tersebut terjadi pencemaran oleh berbagai sumber pencemar. Berdasarkan Pergub DIY Nomor 20 tahun 2008 tentang baku mutu air di Provinsi DIY menetapkan klasifikasi mutu air menjadi 4 kelas yaitu :

- a) Kelas I : Air sungai yang peruntukkannya digunakan untuk air baku atau air minum. Juga peruntukkan lain yang mempersyaratkan baku mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
- b) Kelas II : Air sungai yang peruntukkannya digunakan untuk sarana / prasarana rekreasi air, peternakan, air untuk mengairi tanaman, pembudidayaan ikan tawar dan peruntukan lain yang mempersyaratkan baku mutu air sama dengan kegunaan tersebut
- c) Kelas III : Air sungai yang peruntukkannya digunakan untuk pembudidayaan ikan tawar, untuk mengairi tanaman, peternakan dan yang sesuai dengan kegunaan tersebut
- d) Kelas IV : Air sungai yang peruntukkannya digunakan untuk mengairi tanaman juga peruntukkan lain yang mempersyaratkan baku mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

Sehingga berdasarkan Pergub DIY Nomor 20 tahun 2008, Sungai Winongo termasuk kedalam kelas II yang sesuai dengan peruntukkannya.

2.5 Pemodelan Kualitas Air

Model didefinisikan sebagai gambaran suatu sistem kompleks yang disederhanakan. Pemodelan kualitas air merupakan pemodelan yang bisa diterapkan dalam menyederhanakan kondisi nyata di suatu sumber air seperti sungai, danau atau waduk serta muara. Pemodelan kualitas air bertujuan untuk menggantikan kondisi nyata sehingga memungkinkan untuk mengukur dan bereksperimen dengan cara yang mudah (Kurniawan, 2010). Hal tersebut juga diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 yang menyatakan bahwa diperbolehkan menggunakan model atau metode

perhitungan yang sudah teruji secara ilmiah berdasarkan pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Tahapan yang pada umumnya dilakukan dalam pemodelan kualitas air yaitu:

- 1) Mengidentifikasi model yang bertujuan untuk mengetahui konsep pemodelan yang paling sederhana dalam mempresentasikan hal penting yang berpengaruh pada persebaran polutan di sungai.
- 2) Menetapkan *desgin* model yang terdiri atas batas wilayah, luasan wilayah dan waktu yang akan dimodelkan.
- 3) Penggunaan berbagai skenario dalam simulasi model yang akan dilakukan. Karakteristik fisik sungai yang akan dimodelkan tentunya dapat berubah-ubah, sifat sumber pencemar juga belum diketahui, sehingga dilakukan simulasi dengan menggunakan berbagai skenario. Simulasi model dilakukan dengan pertimbangan keakuratan hasil yang diinginkan dan melihat kelebihan serta kekurangan model tersebut.
- 4) Melakukan Kalibrasi model dengan menyesuaikan antara grafik model dan data lapangan. Juga menyesuaikan dengan hasil analisis di laboratorium misalnya pada parameter kualitas air.
- 5) Melakukan validasi model yang bertujuan untuk menghitung perbandingan antara grafik model dengan data lapangan. Pada validasi model menggunakan metode validasi yang terdapat rumus untuk menghitung perbandingan atau nilai *error* model. Model dapat dikatakan berhasil apabila nilai *error* memenuhi syarat metode validasi model.
- 6) Menganalisis hasil pemodelan yang bertujuan untuk menjelaskan hasil pemodelan dengan menggunakan berbagai referensi teori ilmiah juga membandingkan dengan kondisi *real* di lapangan.

Pada penelitian ini pemodelan kualitas air sungai digunakan untuk mendapatkan skenario yang tepat untuk pengelolaan Sungai Winongo, agar terjadinya peningkatan konsentrasi DO dan penurunan konsentrasi BOD menggunakan Qual2kw. Kelebihan dari metode Qual2kw ini karena lebih memudahkan dalam mensimulasikan kualitas air sungai dengan kondisi lapangan

yang ada serta meminimalkan biaya. Oleh karena itu metode Qual2kw dipilih menjadi metode untuk mengetahui kondisi kualitas air Sungai Winongo yang mampu memprediksi kualitas air sungai jika limbah tersebut melebihi baku mutu. Metode inilah yang dapat digunakan untuk memudahkan dalam pengelolaan air sungai.

2.5.1 Software Qual2kw

Software Qual2kw adalah model yang menggunakan program *Microsoft Excel* dengan bahasa pemrograman *Visual basic Application (VBA)*. *Qual2kw* merupakan pemodelan kualitas air dengan menggunakan pendekatan aliran tunak atau *steady* (aliran yang sifat-sifat dari partikel pada sungai tidak berubah terhadap waktu atau dapat dikatakan konstan). *Software Qual2kw* juga merupakan aliran satu dimensi (aliran yang arus partikel Bergeraknya diwakili oleh garis lurus) (Pelletier, 2008). Pemodelan kualitas air sungai menggunakan *Qual2kw* bermaksud untuk menyederhanakan kondisi lapangan sehingga memungkinkan untuk dilakukannya pengukuran dengan cara yang mudah dan murah ketika pengukuran di laboratorium tidak mungkin dilakukan karena membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. Metode *Qual2kw*, membagi sungai menjadi beberapa bagian perhitungan. Setiap bagian yang disebut segmen atau *reach* dalam sejumlah unsur perhitungan yang masing-masing mengandung kesetimbangan hidrologi, kesetimbangan panas dan suhu dan kesetimbangan konsentrasi (Baherem, 2014). Metode *Qual2kw* juga menunjukkan sungai berdasarkan dampak dari sumber yang berasal dari *point sources* dan *non point sources*. Kelebihan dari *software Qual2kw* adalah lebih mudah digunakan dalam mensimulasikan kualitas air dengan adanya masukan dari polutan menggunakan *trial and error* namun *Qual2kw* ini tidak bisa mensimulasikan parameter logam berat (Pelletier, 2006). Sehingga hasil simulasi pengaplikasian *Qual2kw* itu nanti didapatkan strategi pengelolaan sungai dalam menurunkan beban pencemar (Zolfagharipoor&Ahmadi,2016).

Terdapat beberapa penelitian terkait pemodelan kualitas air menggunakan *software* Qual2kw yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Kannel et al	2007	<i>Application of Automated Qual2kw For Water Quality Modelling and Management in thr Bagmati River, Nepal</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan pemodelan Qual2kw untuk menentukan alternatif pengelolaan sungai. • Hasil penelitian menunjukkan nilai BOD 30 mg/L, nilai TN 5 mg/L dan nilai TP 0,25 mg/L. • simulasi dengan modifikasi beban pencemar, penambahan aliran dan oksigenasi lokal sangat efektif untuk menjaga kualitas sungai pada parameter BOD
	Mustafa, et al	2017	<i>Application of Qual2kw for Water Quality Modeling and Management in the lower reach of the Diyala river</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan pemodelan Qual2kw untuk menentukan alternatif pengelolaan sungai. • Hasil penelitian menunjukkan konsenstrasi DO sebesar 2,51 – 4,8 mg/L. • Simulasi dengan modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal efektif dalam peningkatan konsentrasi DO. Sedangkan simulasi penambahan debit tidak efektif dalam meningkatkan konsentrasi DO.
3	Aulia, Qori Ulfa	2021	Analisis Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Winongo Berdasarkan Parameter BOD dan COD Menggunakan Model Qual2kw	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan pemodelan Qual2kw untuk menentukan daya tampung beban pencemar sungai. • Hasil penelitian menunjukkan daya tampung yang berlebih yaitu pada pada titik 3 nilai BOD - 180,59 kg/hari dan titik 5 nilai BOD -302,4 kg/hari dan pada parameter COD pada titik 10 nilai COD -56,16 kg/hari. • Simulasi 1 bertujuan melihat kondisi eksisting air sungai, simulasi 2 bertujuan melihat kondisi kualitas sungai pada tahun 2026, simulasi 3 bertujuan melihat kondisi air sungai dengan polutan maksimum dan simulasi 4 bertujuan melihat kondisi sungai tanpa adanya polutan yang masuk.
4	Marlina, et al.	2015	Evaluasi Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Menggunakan Model Kualitas Air (Studi Kasus : Sungai Winongo)	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan pemodelan Qual2kw untuk evaluasi daya tampung beban pencemar pada sungai Winongo. • Simulasi 1 dengan kondisi hulu berupa data eksisting dan sumber pencemar dari <i>point source</i>, simulasi 2 kondisi dulu berupa data eksisting dengan sumber pencemar reduksi dari beban pencemar pada <i>point source</i> dan pada simulasi 3 kondisi hulu sesuai dengan BMA kelas I dengan sumber pencemar reduksi <i>point source</i> 20% lebih ketat dari BMAL.

2.6 Sungai Winongo

Sungai Winongo adalah salah satu sungai yang mengalir di Yogyakarta, yang bermata air di Lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak. Sungai Winongo memiliki 46,93 km yang mengalir melintasi kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Panjang sungai Winongo yang melintasi wilayah Sleman adalah 22,6 km, panjang sungai Winongo yang melintasi Kota Yogyakarta adalah 7,64 km dan panjang Sungai Winongo yang melintasi wilayah Bantul adalah 18,46 km. Sungai winongo memiliki 3 hulu yang terdiri dari sungai Denggung, sungai Doso dan sungai Duren. Aktivitas manusia sangat berkaitan dengan DAS Winongo, setiap daerah lintasan sungai itu dipengaruhi oleh kondisi penggunaan lahan oleh manusia seperti permukiman, aktivitas industri dan pertanian, yang dapat menyebabkan turunnya kualitas air Sungai Winongo.

Berdasarkan penelitian Ekha (2015) menunjukkan bahwa tingginya konsentrasi dari beberapa parameter kualitas air di Sungai Winongo disebabkan oleh aktifitas masyarakat sekitar DAS Winongo yang tidak memperhatikan lingkungan dan tidak menjaga kelestarian Sungai Winongo. Berdasarkan laporan akhir konservasi Sungai Winongo tahun 2020 menunjukkan bahwa kelas mutu Sungai Winongo termasuk dalam kategori kelas D (kelas yang paling buruk) yang juga merupakan kondisi sungai yang tercemar berat.

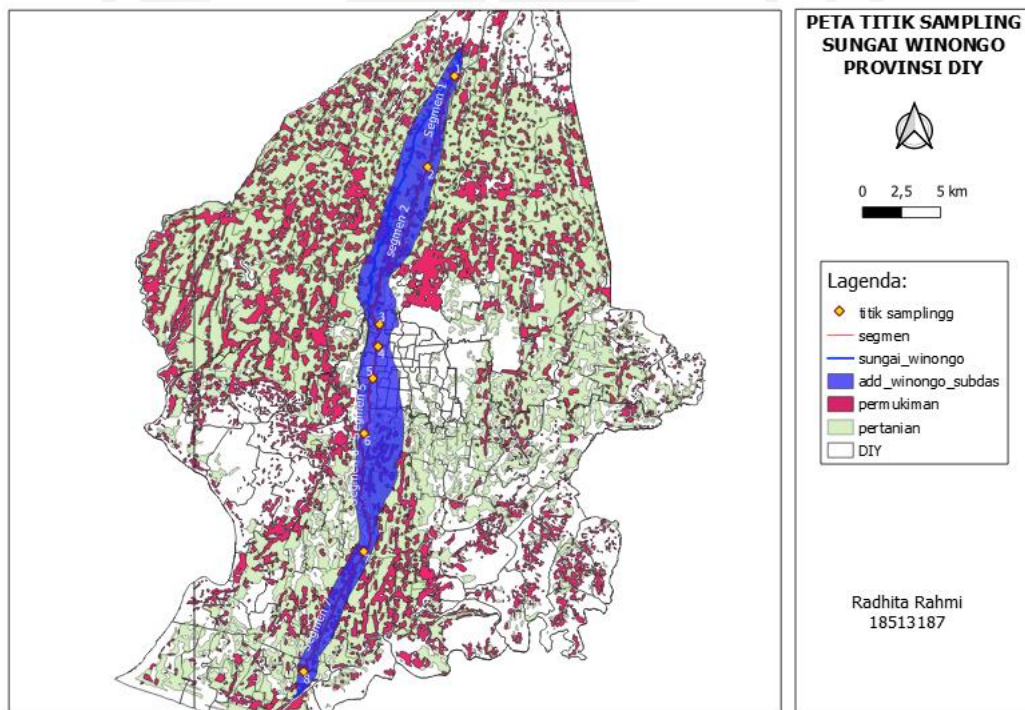
Penelitian terkait pemodelan Qual2kw pada Sungai Winongo terdapat pada penelitian Qori (2021) dan Marlina dkk (2017) menggunakan skenario yang berbeda-beda. Sehingga pada penelitian ini menggunakan skenario modifikasi beban pencemar, penambahan debit dan oksigenasi lokal dikarenakan belum adanya penelitian menggunakan skenario tersebut dan belum pernah dilakukan di sungai Indonesia khususnya Sungai Winongo.



BAB III METODE PENELITIAN

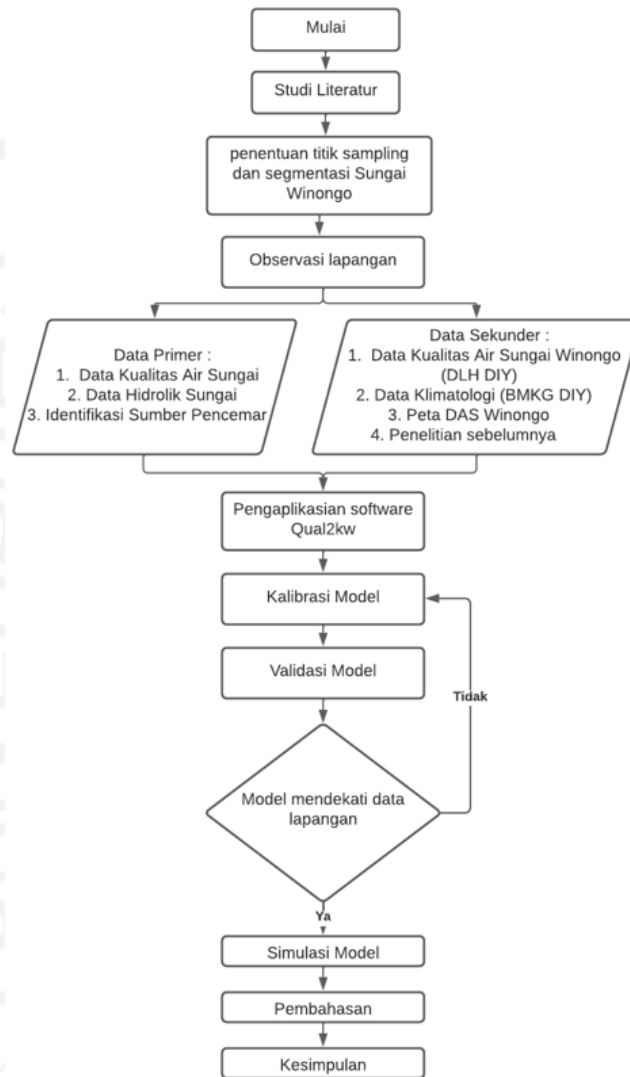
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Provinsi DIY Tepatnya disungai Winongo bagian hulu hingga hilir. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2021 sampai bulan Maret 2022. Penelitian dilakukan di Sungai Winongo yang terdapat beberapa titik sampling. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta titik penelitian Sungai Winongo

3.2 Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 Tahapan penelitian

3.2.1 Observasi Lapangan dan Segmentasi Sungai

Tujuan dari Observasi lapangan adalah untuk mengetahui keadaan Sungai Winongo sehingga mendapatkan gambaran bagaimana lingkungan dan permasalahan di sekitar Sungai Winongo secara langsung. Dengan dilakukannya observasi lapangan, Sungai Winongo dapat dibagi menjadi beberapa segmen atau bagian. Observasi lapangan yang dilakukan adalah pada sumber pencemar yang akan digunakan sebagai *point source* dan *nonpoint source* pada penelitian ini.

Tujuan dilakukannya observasi lapangan sumber pencemar adalah untuk mengetahui dan melihat bagaimana sumber pencemar tersebut sampai ke aliran Sungai Winongo sehingga dapat mencemari Sungai Winongo. Selanjutnya observasi lapangan titik sampling bertujuan agar mengetahui kondisi sekitar saat dilakukannya pengambilan sampel.



Tabel 3.1 Lokasi penelitian

No	Titik	Lokasi	Koordinat
1	Titik 1	Purwobinangun, Pakem, Sleman	LS -7.631592 BT 110.399742
2	Titik 2	Denggung, Donokerto, Sleman	LS -7.659041 BT 110.383255
3	Titik 3	Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta	LS -7.776609 BT 110.356011
4	Titik 4	Jlagaran, Bumijo, Yogyakarta	LS -7.789838 BT 110.356560
5	Titik 5	Tamansari, Wirobrajan, Yogyakarta	LS -7.808202 BT 110.353629
6	Titik 6	Dongkelan, Kasihan, Bantul	LS -7.840225 BT 110.348602
7	Titik 7	Bakulan, Jetis, Bantul	LS -7.908928 BT 110.348317
8	Titik 8	Gading, Kretek, Bantul	LS -7.978733 BT 110.313395

Pengambilan sampel air sungai tersebut mengacu pada SNI 9689.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Pengambilan sampel air sungai dilakukan satu kali di setiap titik (*grab sample*). Kedelapan titik pengambilan sampel air sungai ditentukan berdasarkan titik pantau yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Bantul tahun 2020. Sampling dilakukan pada musim Hujan. Tujuan dilakukannya segmentasi adalah untuk memudahkan dalam pembagian kegiatan-kegiatan yang terdapat di sekitar sungai Winongo. Sehingga mempermudah dalam melakukan identifikasi sumber pencemar. Sumber pencemar yang terdapat pada Sungai Winongo yaitu *point source* (anak sungai, saluran perikanan dan saluran drainase) maupun *non point source* (limbah pertanian, limbah domestik dan limbah perikanan).

3.2.2 Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data menggunakan 2 teknik yaitu data primer dan data sekunder

A. Data Primer

Data primer adalah data yang diambil langsung ketika observasi lapangan, pada penelitian ini terdapat 3 macam data primer, yaitu :

1. **Data Kualitas Air**

Pada penelitian ini, data kualitas air sungai didapatkan dari hasil uji yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Parameter pencemar air yang akan di uji adalah DO dan BOD. Untuk pengujian parameter BOD mengacu pada SNI 6989.72:2009 tentang Cara Uji Kebutuhan BOD. Berikut terdapat parameter kualitas air yang di uji dan metodenya:

Tabel 3.2 Parameter uji kualitas air

No	Parameter	Alat	Metode	SNI
1	BOD	Buret	Titrasi iodometri	SNI 6989.72:2009
2	DO	DO Meter	Pengukuran langsung	SNI 06-6989. 14 – 2004
3	pH	pH meter	Pengukuran langsung	SNI 06-6989. 11 – 2004
4	Kecepatan aliran	1 set pengukuran kecepatan aliran	Pengukuran langsung	SNI 8066:2015
5	Temperatur air	Thermometer	Pengukuran langsung	SNI 06-6989. 23 – 2005

2. Data Hidrolik Sungai

Data hidrolik sungai merupakan data kondisi sungai Winongo seperti debit, kedalaman, kecepatan aliran dan lebar sungai. Pengukuran hidrolik sungai secara langsung mengacu pada SNI 9689.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Data hidrolik Sungai Winongo diperoleh dengan beberapa cara.

Pengukuran kondisi hidrolik Sungai Winongo dilakukan secara simplifikasi. Artinya untuk kondisi sungai yang tidak memungkinkan untuk dijangkau, pengukuran kedalaman sungai, kecepatan dan lebar sungai diukur secara sederhana atau manual. Untuk pengukuran kedalaman sungai, dilakukan dengan cara memasukkan tongkat dasar sungai lalu mengukur bagian tongkat yang basah menggunakan meteran. Pada kondisi sungai yang tidak dapat dijangkau, pengukuran kedalaman sungai dilakukan dengan cara memasukkan tali yang sudah diberi pemberat batu kedalam sungai lalu mengukur bagian tali yang basah menggunakan meteran. Untuk pengukuran lebar sungai dilakukan dengan cara mengukur lebar jembatan menggunakan meteran, dikarenakan setiap

lokasi titik sampling berada dibawah jembatan. Sedangkan untuk pengukuran kecepatan aliran sungai, dengan menggunakan gabus yang dialirkan sepanjang 10 meter lalu dihitung waktu tempuhnya, sehingga untuk menghitung kecepatan aliran sungai menggunakan rumus :

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

Keterangan:

V = Kecepatan (m/s)

S = Jarak tempuh (meter)

t = Waktu tempuh (detik)

Setelah didapatkan nilai kedalaman sungai dan kecepatan aliran sungai, selanjutnya dapat menghitung nilai debit sungai. Untuk pengukuran luas penampang sungai diperoleh dari hasil perkalian antara kedalaman sungai dan lebar sungai, sehingga untuk menghitung debit sungai menggunakan rumus :

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

Keterangan :

Q = Debit sungai (m³/s)

V = Kecepatan aliran sungai (m/s)

A = luas penampang sungai (m²)

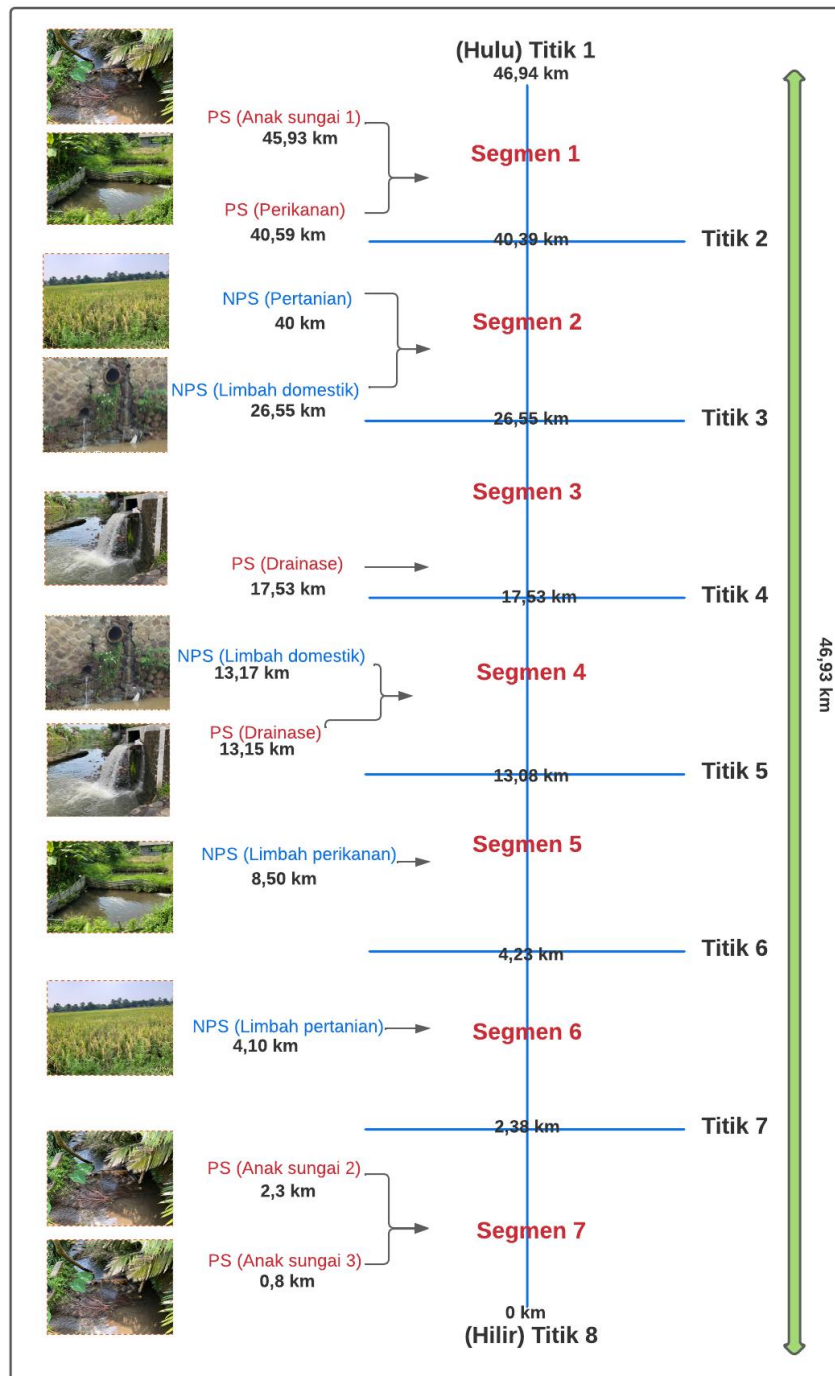
Selain data kedalaman sungai, kecepatan aliran dan debit sungai, diperlukan juga data kemiringan atau *slope* yang dapat diperoleh berdasarkan data elevasi dan jarak. Nilai kemiringan atau *slope* didapatkan dengan rumus :

$$Slope = \frac{\text{Elevasi hulu} - \text{Elevasi Akhir}}{\text{jarak per segmen}} \quad (3)$$

3. Identifikasi Sumber Pencemar

Pada lokasi penelitian, terdapat 6 sumber pencemar yang digunakan sebagai perwakilan beban pencemaran yang masuk ke sungai

Winongo, dimana 3 adalah sumber pencemar *point source* dan 3 sumber pencemar *non point source*. Berikut merupakan sketsa sumber pencemar yang dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Sketsa Sumber Pencemar Sungai Winongo

Berdasarkan gambar sketsa pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa pada segmen 1 dengan panjang aliran sungai sebesar 6,55 km terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu anak sungai 1 dan limbah kolam ikan. Pada segmen 2 dengan panjang aliran sungai sebesar 13,84 km terdapat sumber pencemar *non point sources* yaitu limbah pertanian dan limbah domestik. Pada segmen 3 dengan panjang aliran sungai sebesar 9,02 km terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu saluran drainase. Pada segmen 4 dengan panjang aliran sungai sebesar 4,45 km terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu saluran drainase dan sumber pencemar *non point sources* yaitu limbah domestik. Sedangkan pada segmen 5 dengan panjang aliran sungai sebesar 8,85 km terdapat sumber pencemar *non point sources* yaitu limbah perikanan. Pada segmen 6 dengan panjang aliran sungai sebesar 1,85 km terdapat sumber pencemar *non point sources* yaitu limbah pertanian. Pada segmen 7 dengan panjang aliran sungai sebesar 2,38 km terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu anak sungai 2 dan anak sungai 3.

B. Data Sekunder

Data sekunder adalah data-data yang diperoleh dari literatur yang sudah ada serta dari instansi terkait seperti BMKG DIY, dan DLH DIY. Data sekunder dari BMKG DIY berupa data klimatologi berupa temperature udara, kecepatan angin, tutupan awan, dan persen radiasi. Data sekunder dari DLH DIY berupa data pemantauan kualitas air sungai Winongo 5 tahun yang lalu. Data sekunder juga dapat digunakan untuk mengamati tata guna lahan melalui peta tata guna lahan dari google earth dan peta DAS winongo.

3.2.3 Analisis Data Menggunakan *Software* Qual2kw

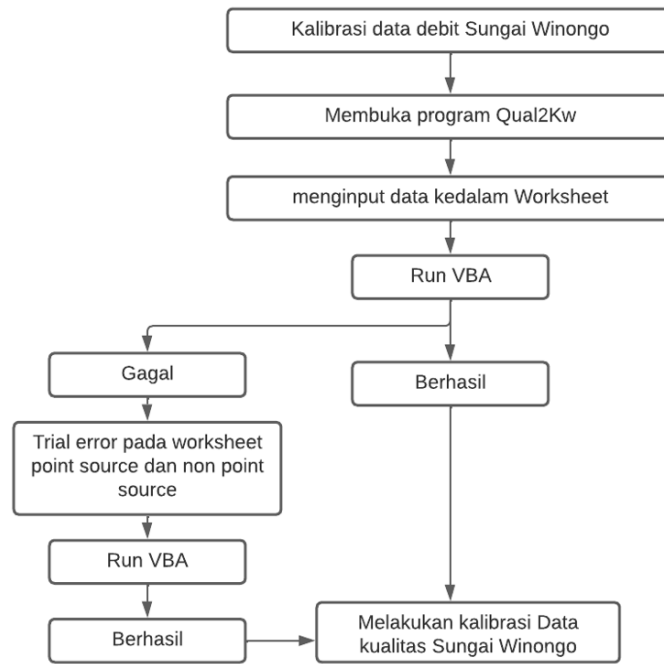
Setelah data primer dan sekunder didapatkan dan dikumpulkan maka langkah selanjutnya adalah meng-*input* data pada *software* Qual2kw. Terdapat beberapa *worksheet* yang akan di *input*, berikut adalah *worksheet* yang di *input* dalam penelitian kali ini:



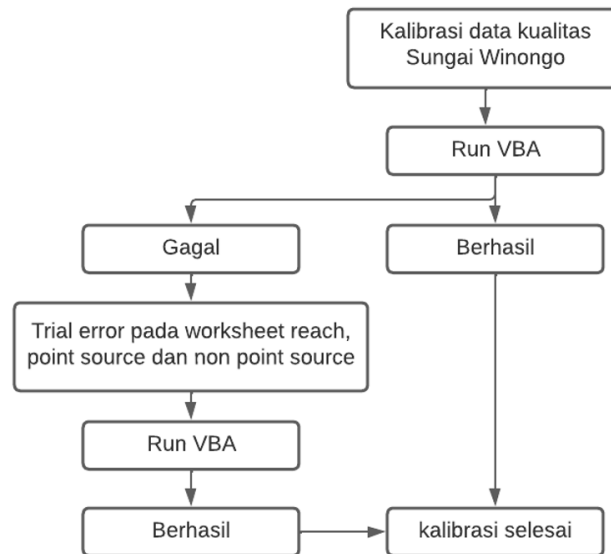
Tabel 3.3 *Worksheet Qual2kw*

No	input data Qual2kw	Fungsi
1	<i>Qual2kw Worksheet</i>	Untuk memasukkan informasi dan keterangan umum yang berhubungan dengan pengaplikasian model. Data yang dimasukkan berupa nama sungai, nama file, tanggal simulasi, waktu matahari terbit dan want matahari terbenam.
2	<i>Headwater Worksheet</i>	Untuk memasukkan data debit dan kualitas air pada hulu sungai.
3	<i>Reach worksheet</i>	Untuk memasukkan data pembagian segmen, panjang segmen, koordinat segmen, kedalaman, n manning, elevasi dan terjunan.
4	<i>Air temperature worksheet</i>	Untuk memasukkan temperatur udara pada setiap reach sungai
5	<i>Wind speed worksheet</i>	Untuk memasukkan data kecepatan angin pada setiap reach sungai
6	<i>Cloud Cover worksheet</i>	Untuk memasukkan data tutupan awan pada setiap reach worksheet
7	<i>Solar radiation worksheet</i>	Untuk memasukkan data radiasi sinar matahari pada setiap reach sungai
8	<i>point source worksheet</i>	Untuk memasukkan data point source berupa konsentrasi pencemar dan debit
9	<i>Diffuse source worksheet</i>	Untuk memasukkan data diffuse source berupa konsentrasi pencemar dan debit
10	<i>Hydraulic data worksheet</i>	Untuk memasukkan data hidrolis seperti debit, kedalaman sungai, kecepatan aliran pada setiap titik sampling sungai.
11	<i>temperature data worksheet</i>	Untuk memasukkan data temperatur air pada setiap titik sampling sungai.
12	<i>WQ data worksheet</i>	Untuk memasukkan angka kualitas air pada setiap titik sampling sungai.

Berikut merupakan tahapan dalam penggunaan *software* Qual2kw dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6



Gambar 3.5 Penggunaan Qual2kw dalam kalibrasi data debit sungai



Gambar 3.6 Penggunaan Qual2kw dalam kalibrasi data kualitas air sungai

a) Kalibrasi Model

Kalibrasi adalah tahapan penentuan nilai koefisien yang paling sesuai sehingga perbandingan hasil model dengan data di lapangan menunjukkan nilai yang paling baik dilihat secara statistik (Marlina dkk, 2015). Kalibrasi data pada metode Qual2kw bertujuan dalam pembentukan model. Kalibrasi pembentukan model dilakukan dengan cara *trial and error* serta running program secara berulang-ulang sehingga didapatkan model yang mendekati kondisi sesungguhnya atau di lapangan. Berdasarkan penelitian (Fajaruddin, 2017) Kalibrasi untuk data debit sungai, menggunakan proses *trial and error* dengan mengubah debit yang masuk dan debit yang keluar pada *worksheet point source* dan *nonpoint source* sedangkan untuk kalibrasi data kualitas air mengubah konsentrasi DO dan BOD sumber pencemar pada *worksheet point source* dan *nonpoint source* dan mengubah nilai n manning pada *worksheet reach*.

b) Validasi Model

Validasi model bertujuan untuk mengukur nilai error model dengan nilai kualitas air hasil pengukuran. Validasi harus dilakukan karena terdapat variabilitas data dalam waktu yang berbeda (Fatmawati, Masrevaniah, and Solichin 2012). Validasi model dilakukan dengan menghitung nilai error menggunakan 3 metode agar mendapatkan hasil yang akurat, 3 metode tersebut yaitu :

a) *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE). RMSPE adalah salah satu persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung nilai error model. RMSPE dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

St = nilai simulasi pada waktu t

At = nilai aktual pada waktu t

n = jumlah pengamatan

Model dapat diterima dan digunakan jika nilai RMSPE dibawah 50% (Dekissa, 2004).

b) Chi Square. Metode chi square juga dapat menentukan nilai error dari suatu model menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

x^2 = nilai uji statistik

n = jumlah sampel

r = sampel ke-n

syarat model diterima, apabila hasil perhitungan $< x^2$ tabel chi square dengan $\alpha = 0,95$ (Lusiana et al. 2020).

c) *Relative Precentage Difference* (RPD). RPD merupakan persamaan yang digunakan untuk mengevaluasi kalibrasi dan validasi pada model Qual2Kw pada data parameter air sungai. Berikut merupakan persamaan RPD yaitu :

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

Keterangan :

C_{sim} = konsentrasi simulasi (mg/L)

C_{obs} = konsentrasi observasi (mg/L)

Apabila Nilai RPD < 25 % maka model tersebut dapat diterima dan dilanjutkan ke simulasi (Ahmad Kamal, Muhammad, and Abdullah 2020).

c) Simulasi Model

Setelah model tersebut di terima dengan menggunakan 3 metode validasi, selanjutnya dilakukan simulasi model yang tujuannya untuk mendapatkan gambaran objek sesuai dengan beberapa kondisi. Dalam penelitian kali ini, dilakukan tiga skenario pengembangan model sebagai berikut :

- a. Modifikasi beban pencemar (skenario 1)
- b. Penambahan debit (skenario 2)
- c. Oksigenasi lokal (skenario 3)

Pemilihan 3 skenario tersebut berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Mustafa, Sulaiman, and Shahooth 2017) yang menunjukkan skenario modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal tersebut efektif dalam meningkatkan konsentrasi DO di Sungai Diyala Irak, Serta belum adanya penelitian di Indonesia mengenai pemodelan sungai yang menggunakan skenario modifikasi beban pencemar, penambahan debit dan oksigenasi lokal. Sehingga pada penelitian kali ini, menggunakan 3 skenario tersebut dengan tujuan membuktikan keefektifan dari 3 skenario tersebut dengan dilakukannya pada sungai di Indonesia khususnya Sungai Winongo.

Simulasi Model Skenario 1

Simulasi skenario 1 merupakan skenario dengan memodifikasi beban pencemar BOD5 dengan menurunkan konsentrasi BOD5. Konsentrasi BOD5 yang diasumsikan adalah konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan data lapangan. Skenario ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penurunan konsentrasi BOD terhadap peningkatan konsentrasi DO.

Simulasi Model Skenario 2

Simulasi skenario 2 merupakan skenario dengan tetap menggunakan asumsi modifikasi beban pencemar yang konsentrasi BOD nya menggunakan asumsi yang sama dengan skenario 1 (menurunkan konsentrasi BOD). Pada

skenario 2 ini ditambah dengan mengasumsikan debit yang masuk pada aliran Sungai Winongo merupakan debit pada musim hujan. Sehingga skenario 2 ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh modifikasi beban pencemar dan debit yang tinggi terhadap peningkatan DO.

Simulasi Model Skenario 3

Simulasi skenario 3 merupakan skenario dengan asumsi penempatan terjunan di Sungai Winongo. Penempatan terjunan pada titik sampling yang menghasilkan konsentrasi DO yang rendah, yaitu pada titik 2 dikarenakan adanya sumber pencemar *point source* berupa limbah perikanan. Pada titik 5, terdapat sumber pencemar *point source* (saluran drainase) dan *non point source* (limbah domestik). Tujuan dari skenario tersebut adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penempatan terjunan terhadap peningkatan konsentrasi DO (Mustafa dkk., 2017). Berdasarkan penelitian (Agnes Dyah Novitasari Lestari, 2013) adanya terjunan dapat menyebabkan terjadinya aerasi, hal tersebut mengakibatkan munculnya efek oksigenasi lokal.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi dan Titik Sampling Sungai Winongo

Lokasi penelitian berada di Sungai Winongo Provinsi DIY, tepatnya sepanjang hulu hingga hilir Sungai Winongo. Aliran Sungai Winongo melewati Kabupaten Sleman (bagian hulu), Kota Yogyakarta (bagian tengah) dan Kabupaten Bantul (bagian hilir). Pada bagian hulu Sungai Winongo terdapat sumber pencemar berupa limbah pertanian dan limbah perikanan, ketika masuk pada bagian tengah Sungai Winongo yakni Kota Yogyakarta yang merupakan daerah padat penduduk sehingga terdapat sumber pencemar berupa saluran drainase dan limbah domestik. Menurut Irsanda et al (2014) limbah domestik bersumber dari permukiman warga yang melakukan kegiatan mencuci pakaian, mandi, buang air besar dan membuang sampah pada pinggir sungai. Pada bagian hilir Sungai Winongo terdapat limbah pertanian dan anak sungai masuk ke dalam aliran Sungai Winongo. Hal tersebut yang menyebabkan terjadinya pencemaran pada Sungai Winongo yang akhirnya dapat menurunkan kualitas air sungai Winongo.





Lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini berjumlah 8 titik sungai utama Winongo. Lokasi pengambilan sampel dimulai pada bagian hulu yaitu berlokasi di Purwobinangun, Pakem, Sleman, selanjutnya masuk pada bagian tengah yang berlokasi di Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta dan berakhir pada bagian hilir yang lokasinya berada di Gading, Kretek, Bantul. Total panjang Sungai Winongo pada penelitian ini dari titik 1 hingga titik 8 sebesar 46,94 km. Pengukuran Jarak dan elevasi antar segmen menggunakan bantuan *software* QGIS versi 3.14.16. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak satu kali pada tanggal 7 dan 9 Desember 2021. Pada tanggal 7 Desember 2021 dilakukan pengambilan sampel yang dimulai pada titik 6, titik 7, dan titik 8. Selanjutnya pada tanggal 9 Desember 2021 dilanjutkan pengambilan sampel pada titik 5, titik 4, titik 3, titik 2, dan berakhir di titik 1. Pengambilan sampel dimulai pada waktu pagi hari hingga





siang hari. Pengambilan sampel dilakukan pada saat musim hujan sehingga sehari sebelum dilakukannya sampling terjadinya hujan di daerah tersebut. Terdapat sumber pencemar *point source* dan *non point source* pada penelitian ini. Sumber pencemar *point source* berupa 3 titik anak sungai, 1 titik limbah perikanan dan 2 titik limbah drainase yang masuk ke aliran Sungai Winongo. Sedangkan untuk sumber pencemar *non point source* terdiri dari 1 titik limbah pertanian, 2 titik limbah domestik, dan 1 titik limbah perikanan. Pengamatan kondisi lokasi sampling pada masing-masing titik pengambilan sampel merupakan cara untuk mengetahui kualitas Sungai Winongo yang dapat dilihat berdasarkan kondisi eksisting pada masing-masing titik disungai tersebut. Terdapat titik lokasi sampling pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 sedangkan kondisi lokasi titik sampling Sungai Winongo dapat dilihat pada Tabel 4.2.





Tabel 4.1 Titik lokasi sampling Sungai Winongo

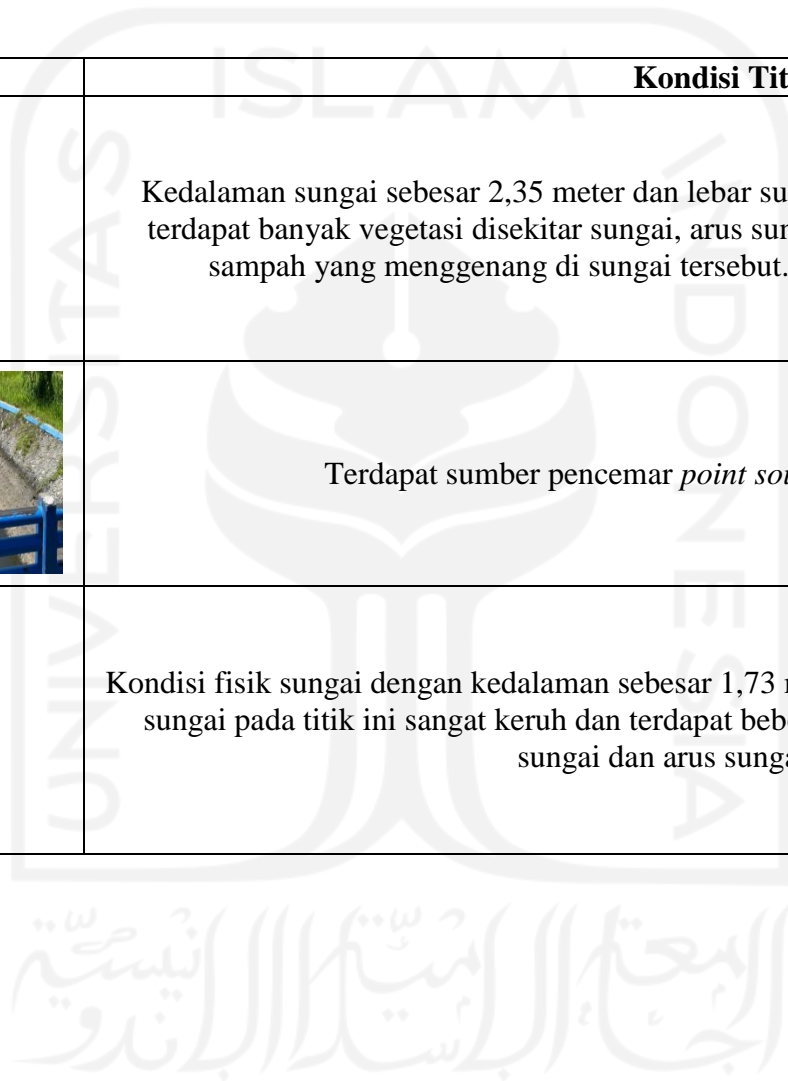
Segmen	Panjang (km)	Titik	Jarak (km)	Lokasi	Koordinat		Elevasi (m)	
					LS	BT	Upstream	Downstream
Segmen 1 (T1 - T2)	6,55	titik 1	46,94	Purwobinangun, Pakem, Sleman	-7.631.592	110.399.742	-	325
		titik 2	40,39	Denggung, Donokerto, Sleman	-7.659.041	110.383.255	325	300
Segmen 2 (T2 - T3)	13,84	titik 3	26,55	Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta	-7.776.609	110.356.011	300	112,5
Segmen 3 (T3 - T4)	9,02	titik 4	17,53	Jlagaran, Bumijo, Yogyakarta	-7.789.838	110.356.560	112,5	100
Segmen 4 (T4 - T5)	4,45	titik 5	13,08	Tamansari, Wirobrajan, Yogyakarta	-7.808.202	110.353.629	100	87,5
Segmen 5 (T5 - T6)	8,85	titik 6	4,23	Dongkelan, Kasihan, Bantul	-7.840.225	110.348.602	87,5	62,5
Segmen 6 (T6 - T7)	1,85	titik 7	2,38	Bakulan, Jetis, Bantul	-7.908.928	110.348.317	62,5	50
Segmen 7 (T7 - T8)	2,38	titik 8	0	Gading, Kretek, Bantul	-7.978733	110.313.395	50	25

Tabel 4.2 Kondisi Lokasi Titik Sampling Sungai Winongo

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
Titik 1		<p>Kondisi lingkungan di titik ini terdapat banyak vegetasi, tidak terdapat sampah disekitar aliran sungai namun terdapat perkebunan sawit disekitarnya, air sungai yang mengalir bersih dan jernih. Meskipun sampling dilakukan pada saat musim hujan, namun arus sungai pada titik 1 tidak deras, dikarenakan volume air yang mengalir juga tidak terlalu besar. Kondisi fisik pada titik 1 memiliki kedalaman sungai sebesar 0,42 meter dan lebar sungai sebesar 2,7 meter. Pada saat sampling cuaca dititik 1 cerah dan berawan.</p>
Segmen 1		<p>Terdapat sumber pencemar <i>point source</i> anak sungai 1 dan limbah perikanan</p>
Titik 2		<p>Kondisi lingkungan pada titik 2 ini terdapat sumber pencemar berupa pipa saluran limbah perikanan, yang masuk tepat ke aliran sungai Winongo dilokasi titik 2 tersebut. Terdapat banyak vegetasi disekitar sungai dan juga air sungai yang mengalir jernih dan bersih. Arus aliran sungai cukup tenang dan tidak curam. Kondisi fisik pada titik 2 kedalaman sungai sebesar 0,4 meter dan lebar sungai sebesar 4,4 meter.</p>
Segmen 2		<p>Terdapat sumber pencemar <i>nonpoint source</i> limbah pertanian dan limbah domestik</p>

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
Titik 3		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 2 memiliki kedalaman sungai sebesar 0,66 meter dan lebar sungai sebesar 11,4 meter. Kondisi air sungai pada titik ini cukup keruh. Pada titik 3 juga merupakan daerah yang padat penduduk sehingga terdapat aktivitas mencuci dan mandi oleh warga sekitar di sungai tersebut.</p>
Segmen 3		<p>Terdapat sumber pencemar <i>point source</i> saluran drainase</p>
Titik 4		<p>Kondisi fisik kedalaman sungai sebesar 0,46 meter dan lebar sungai sebesar 21 meter. Kondisi air sungai pada titik ini sedikit keruh dan juga terdapat sumber pencemar saluran drainase yang dapat dilihat pada gambar 4.4. Adanya aktivitas mencuci dan mandi oleh warga sekitar. Arus sungai pada titik ini cukup deras dikarenakan volume air sungai yang banyak dan pada hari sebelumnya juga terjadi hujan di lokasi ini.</p>
Segmen 4		<p>Terdapat sumber pencemar <i>point source</i> saluran drainase dan <i>nonpoint source</i> limbah domestik</p>

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
Titik 5		<p>Kedalaman sungai sebesar 1,15 meter dan lebar sungai sebesar 22,3 meter. Kondisi sungai pada titik ini terdapat sumber pencemar saluran drainase yang masuk ke aliran Sungai Winongo. Adanya aktivitas memancing dan tambak ikan oleh warga sekitar. Kondisi air sungai dititik ini keruh dan juga berbau. Tentunya pada titik ini dikelilingi oleh rumah warga yang sangat padat penduduk. Arus sungai pada titik ini tenang dan tidak deras.</p>
Segmen 5		<p>Terdapat sumber pencemar <i>nonpoint source</i> limbah perikanan</p>
Titik 6		<p>Kedalaman sungai sebesar 0,31 meter dan lebar sungai sebesar 11 meter. Kondisi air sungai cukup keruh dan arus sungai sedikit deras, dikarenakan terjadinya hujan satu hari sebelum dilakukannya pengambilan sampel.</p>
Segmen 6		<p>Terdapat sumber pencemar <i>nonpoint source</i> limbah pertanian</p>



4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Winongo

Berdasarkan pengukuran dan perhitungan yang dilakukan pada saat penelitian tanggal 7 dan 9 Desember 2021, didapatkan data hidrolik Sungai Winongo. Data tersebut terdiri dari kecepatan alir, debit dan kedalaman. Pengukuran dan perhitungan dilakukan secara langsung oleh peneliti di 8 titik lokasi sampling. Data hidrolik Sungai Winongo merupakan data yang akan di input kedalam *software* Qual2kw. Data hidrolik tersebut diperlukan untuk proses kalibrasi dalam pemodelan Qual2kw.

Data hidrolik Sungai Winongo diperoleh dengan beberapa cara. Pengukuran kondisi hidrolik Sungai Winongo dilakukan secara simplifikasi. Artinya untuk kondisi sungai yang tidak memungkinkan untuk dijangkau, pengukuran kedalaman sungai, kecepatan dan lebar sungai diukur secara sederhana atau manual. Untuk pengukuran kedalaman sungai, dilakukan dengan cara memasukkan tongkat ke dasar sungai lalu mengukur bagian tongkat yang basah menggunakan meteran. Pada kondisi sungai yang tidak dapat dijangkau, pengukuran kedalaman sungai dilakukan dengan cara memasukkan tali yang sudah diberi pemberat batu ke dalam sungai lalu mengukur bagian tali yang basah menggunakan meteran. Untuk pengukuran lebar sungai dilakukan dengan cara mengukur lebar jembatan menggunakan meteran, dikarenakan setiap lokasi titik sampling berada dibawah jembatan.

Berikut merupakan Data Hidrolik Sungai Winongo pada masing-masing titik sampling yang dapat dilihat pada tabel 4.2 :

Tabel 4.3 Data Hidrolik Sungai Winongo

Titik	Debit rata2 (m³/s)	Kedalaman Air rata2 (m)	Kecepatan rata2 (m/s)
titik 1 (headwater)	0,28	0,42	0,25
titik 2	0,64	0,4	0,36
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	0,17

Sumber : Hasil pengukuran Lapangan, 2021

Berikut merupakan data *slope* yang digunakan pada penelitian ini :

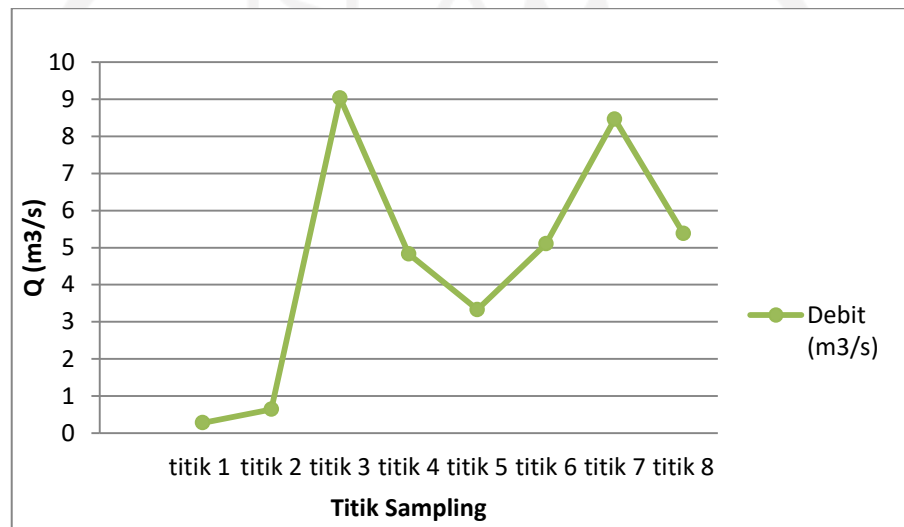
Tabel 4.4 Data *Slope* Sungai Winongo

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 : Analisis Data, 2022

4.2.1 Debit Sungai Winongo

Dalam pengukuran debit Sungai Winongo, Didapatkan nilai yang beragam berdasarkan kecepatan aliran sungai dan kedalaman sungai serta lebar sungai di masing-masing titik sampling Sungai Winongo. Berikut merupakan grafik nilai debit Sungai Winongo pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.9 :



Gambar 4.1 Nilai Debit Sungai Winongo

(Sumber : Analisis Data, 2022)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.9 menunjukkan nilai debit terkecil terdapat pada titik 1 atau T1 dengan nilai sebesar 0,28 m³/s. Hal ini disebabkan oleh topografi sungai dan arus aliran air sungai yang tenang serta lebar sungai yang kecil dan landai. Bentuk sungai yang sempit dan lahan yang landai memiliki laju aliran yang kecil dibandingkan bentuk sungai yang lebar dan kemiringannya curam (Staddal, Haridjaja, and Hidayat 2017). Sedangkan nilai debit terbesar terdapat pada titik 3 atau T3 dengan nilai sebesar 9,03 m³/s. Tingginya debit pada titik 3 dikarenakan kecepatan aliran sungai yang cukup deras juga dipengaruhi oleh bentuk sungai yang lebar. Bentuk sungai yang lebar dapat meningkatkan kecepatan aliran sehingga dapat menghasilkan debit yang besar (Staddal, Haridjaja, and Hidayat 2017). Kondisi pengambilan sampel pada saat musim hujan juga dapat berpengaruh terhadap besar atau kecilnya debit yang dihasilkan.

Pada saat musim hujan, debit yang dihasilkan lebih besar karena kecepatan aliran yang cepat.

4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai Winongo

Kondisi kualitas air Sungai Winongo merupakan gambaran dari hasil pengukuran dan pengujian yang diukur dari beberapa parameter. Pengukuran dilakukan dengan cara pengambilan sampel pada masing-masing titik sampling, selanjutnya sampel tersebut dilakukan pengukuran langsung untuk parameter derajat keasaman (pH), temperatur air dan DO. Selanjutnya dilakukan pengujian pada Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII untuk mendapatkan konsentrasi pada parameter BOD. Parameter DO dan BOD sebagai parameter yang ditinjau untuk mengetahui kondisi kualitas air sungai Winongo pada penelitian ini. Hasil pengujian kualitas air sungai Winongo tersebut dibandingkan dengan Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008. Berdasarkan Dinas Lingkungan Hidup DIY, Sungai Winongo termasuk dalam kriteria mutu air kelas II.

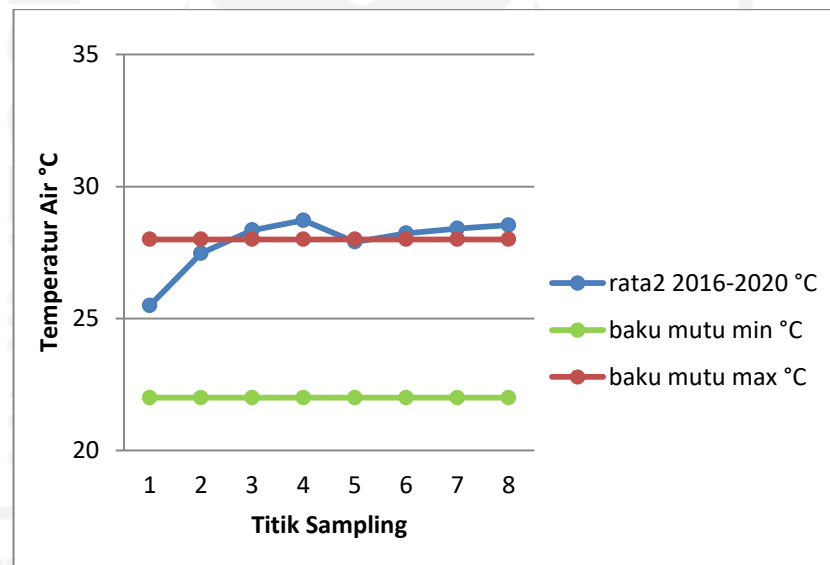
4.3.1 Temperatur Air

Temperatur air merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan kondisi kualitas air Sungai Winongo. . Temperatur air merupakan parameter yang penting bagi kehidupan organisme perairan. Temperatur air memberikan pengaruh terhadap metabolisme dan perkembangbiakan organisme di sungai. Perubahan temperatur air berdampak langsung terhadap aktivitas organisme sungai seperti pertumbuhan, metabolisme bahkan kematian organisme perairan Berikut merupakan data temperatur air di Sungai Winongo pada tahun 2016 – 2020 yang bersumber dari data DLH Pronsidi DIY.

Tabel 4.5 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2020

		Temperatur Air °C					Rata-rata °C	Baku mutu I °C	Baku mutu II °C	
Titik		2016	2017	2018	2019	2020				
Hulu	1	26,93	24,17	24,93	25,93	25,5	25,49	22	28	
	2	28,73	26,87	26,1	27,6	28,05				27,47
Tengah	3	28,8	27,93	26,97	29,23	28,8	28,35	22	28	
	4	29	28,47	27,47	29,87	28,8				28,72
	5	28,37	27,37	27,1	27,87	28,8				27,9
Hilir	6	28,47	27,6	28,3	28,5	28,3	28,23	22	28	
	7	28,2	28,2	27,8	28,3	29,55				28,41
	8	28,77	27,93	27,5	28,47	30,05				28,54

Sumber : DLH Provinsi DIY



Gambar 4.2 Rata-rata Temperatur Air Sungai Winongo 2016-2020

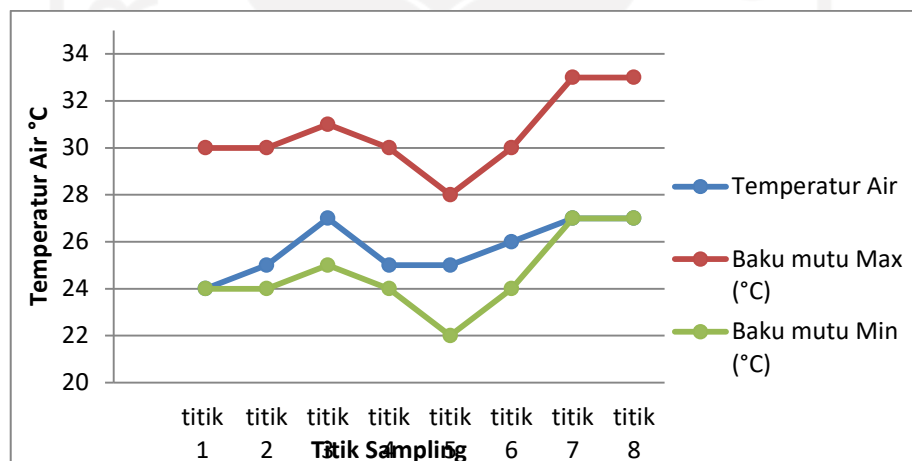
Berdasarkan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa temperatur air pada tahun 2016 – 2020 pada titik 3, titik 4, titik 6, titik 7 dan titik 8 berada diatas baku mutu max. Sehingga dapat menyebabkan terjadinya penurunan terhadap konsentrasi DO pada Sungai Winongo. Meningkatnya temperatur air tentunya disebabkan oleh temperatur udara yang tinggi dan juga pengambilan sampel dilakukan pada saat siang hari. Sehingga menyebabkan meningkatnya temperatur air pada Sungai Winongo.

Sedangkan hasil pengukuran temperatur air yang dilakukan pada saat pengambilan sampel pada masing-masing titik sampling yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Temperatur Air Sungai Winongo

titik	Temperatur Air	Baku mutu Max (°C)	Baku mutu Min (°C)
titik 1	24	30	24
titik 2	25	30	24
titik 3	27	31	25
titik 4	25	30	24
titik 5	25	28	22
titik 6	26	30	24
titik 7	27	33	27
titik 8	27	33	27

Sumber : Analisis Data, 2022



Gambar 4.3 Nilai Temperatur Air Sungai Winongo

(Sumber : Analisis Data, 2022)

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur air pada tabel 4.6, menunjukkan bahwa temperatur air pada Sungai Winongo bernilai 25 °C sampai 27°C. Dari gambar 4.3 tersebut, memperlihatkan bahwa temperatur air tertinggi berada pada titik 3, titik 7 dan titik 8. Hal itu dikarenakan pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu siang hari dengan kondisi cuaca yang panas, sehingga menyebabkan temperatur air menjadi meningkat. Sedangkan untuk temperatur terendah berada pada titik 1, dikarenakan titik 1 berlokasi di bagian hulu Sungai Winongo yang

terletak di daerah dataran tinggi dengan kondisi cuaca yang dingin. berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008 bahwa baku mutu kelas II untuk parameter temperatur air ± 3 dari temperatur udara di tiap titik sampling penelitian. Sehingga dari hasil pengukuran, temperatur air pada Sungai Winongo masih memenuhi baku mutu kelas II. Mardhia (2018) mengatakan bahwa rentang nilai optimum dalam keberlangsungan hidup bagi organisme perairan berada pada nilai $25\text{ }^{\circ}\text{C} - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal itu menunjukkan kondisi temperatur air pada penelitian ini masih memenuhi nilai optimum dalam rentang tersebut. Menurut Rosida (2014) pada temperatur air yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya penurunan terhadap konsentrasi DO dan mengganggu kehidupan biota perairan.

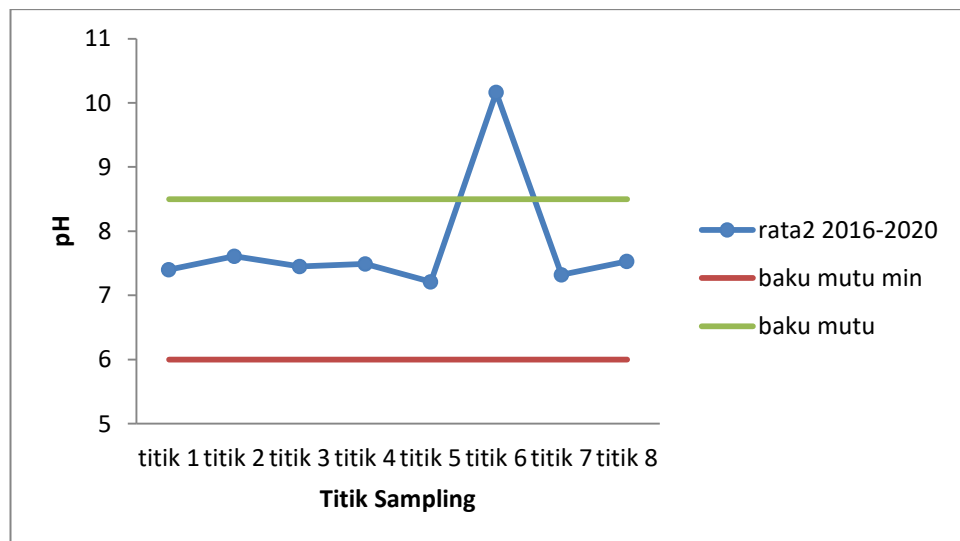
4.3.2 Derajat Keasaman (pH)

pH atau derajat keasaman merupakan pengukuran yang dilakukan untuk menunjukkan asam atau basanya suatu perairan. Pada skala 0 – 14, pH yang bernilai 7 menandakan bahwa perairan tersebut dalam kondisi netral. pH bernilai dibawah 7 menandakan perairan dalam kondisi asam dan pH bernilai diatas 7 menandakan perairan dalam kondisi basa (Singh dkk, 2015). Berikut merupakan data pH di Sungai Winongo pada tahun 2016 – 2020 yang bersumber dari data DLH Pronsi DIY.

Tabel 4.7 pH Sungai Winongo Tahun 2016-2020

pH Sungai Winongo 2016-2020						Rata-rata	Baku mutu min	Baku mutu max	
Titik	2016	2017	2018	2019	2020				
Hulu	1	7,27	7,67	7,29	7,37	7,38	7,4	6	8,5
	2	7,67	7,84	7,53	7,59	7,44	7,61	6	8,5
Tengah	3	7,43	7,55	7,48	7,51	7,27	7,45	6	8,5
	4	7,53	7,41	7,66	7,46	7,38	7,49	6	8,5
	5	7,13	7,29	6,97	7,48	7,18	7,21	6	8,5
Hilir	6	21,6	7,26	7,08	7,69	7,16	10,2	6	8,5
	7	7,07	7,44	7,14	7,26	7,7	7,32	6	8,5
	8	7,23	7,54	7,31	7,68	7,87	7,53	6	8,5

Sumber: DLH Provinsi DIY



Gambar 4.4 pH Sungai Winongo Tahun 2016-2020

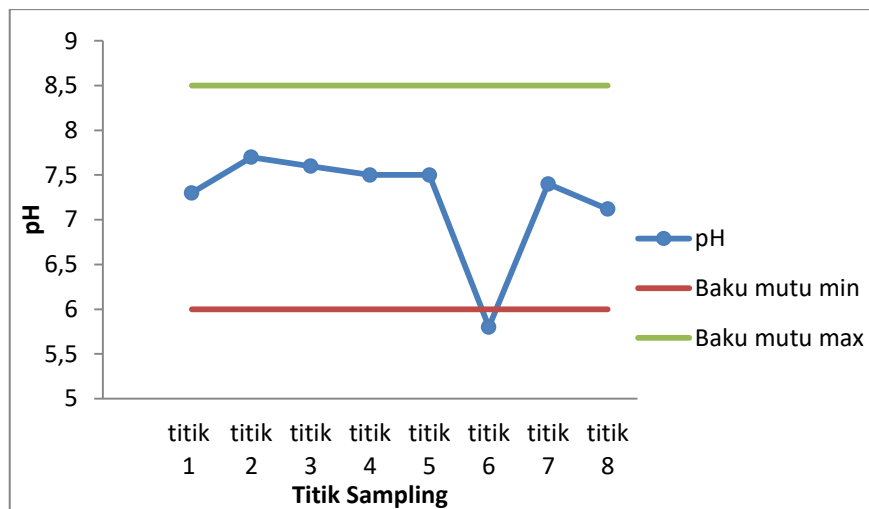
Berdasarkan Gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa pH tertinggi pada tahun 2016-2020 terdapat pada titik 6 sebesar 10,2. Juga pH pada titik 6 tersebut telah melebihi baku mutu yaitu sebesar 8,5. Hal ini menyebabkan ikan-ikan disungai dengan kondisi pH lebih dari 8,5 memiliki kandungan amonia yang tinggi.

Sedangkan hasil pengukuran yang dilakukan pada Sungai Winongo, yang diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan multimeter untuk mengukur pH pada masing-masing titik. Hasil pengukuran pada Sungai Winongo dapat dilihat pada Tabel 4.8 :

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran pH Sungai Winongo

Titik	pH	Baku mutu min	Baku mutu max
titik 1	7,3	6	8,5
titik 2	7,7	6	8,5
titik 3	7,6	6	8,5
titik 4	7,5	6	8,5
titik 5	7,5	6	8,5
titik 6	5,8	6	8,5
titik 7	7,4	6	8,5
titik 8	7,12	6	8,5

(Sumber : Analisis Data, 2022)



Gambar 4.5 Nilai pH Sungai Winongo

(Sumber : Analisis Data, 2022)

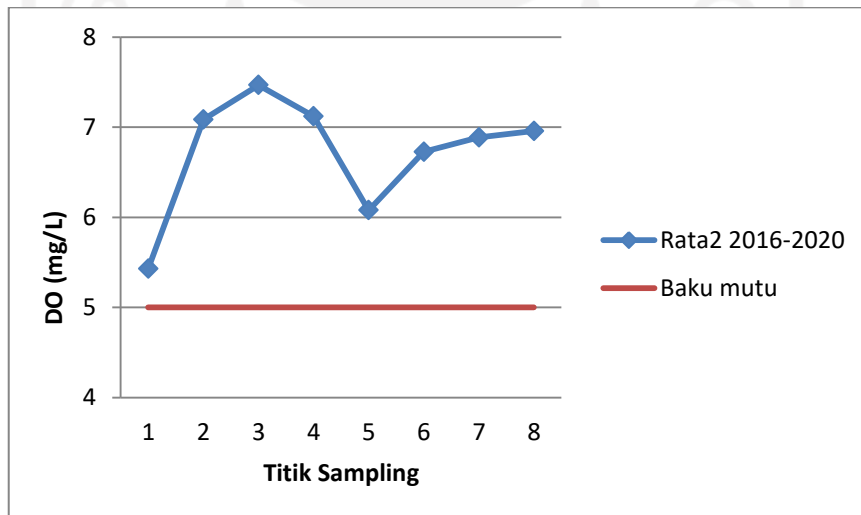
Berdasarkan tabel 4.8 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pH air Sungai Winongo bernilai 5,8 sampai 7,7. Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No.20 Tahun 2008, baku mutu kelas II untuk parameter pH yaitu 6 – 8,5. Ini menunjukkan bahwa hanya nilai pH pada titik 6 saja yang berada dibawah rentang nilai baku mutu yang telah ditetapkan yaitu sebesar 5,8. Hal tersebut menandakan kondisi perairan pada titik 6 bersifat asam. Kondisi asam pada Sungai Winongo, disebabkan oleh waktu pengambilan sampel yang dilakukan pada saat pagi hari. Kondisi cuaca yang dingin dan temperatur udara yang rendah, dapat mempengaruhi pH air menjadi turun sehingga bersifat asam. Biota Air menyukai kondisi sungai pada pH 7 - 7,5. Namun nilai pH pada titik lainnya masih memenuhi rentang baku mutu yang telah ditetapkan.

4.3.3 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut atau dikenal dengan DO merupakan kebutuhan dasar dalam kehidupan makhluk hidup didalam air. DO berasal dari proses fotosintesis tanaman air dan juga berasal dari udara yang masuk ke dalam air (Arief 2014). Berikut merupakan data konsentrasi DO Sungai Winongo pada tahun 2020 – 2016 bersumber dari DLH Provinsi DIY yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Konsentrasi DO Sungai Winongo Tahun 2016-2020

DO Sungai Winongo (mg/L)							Rata-rata	Baku mutu (mg/L)
Titik	2016	2017	2018	2019	2020			
Hulu	1	5,12	6,09	5,32	5,21	5,4	5,428	5
	2	7,5	6,17	7,08	5,62	9,05	7,084	5
Tengah	3	6,6	7,03	7,07	6,55	10,08	7,466	5
	4	7,07	6,9	7,1	5,86	8,67	7,120	5
	5	5,93	5,37	5,9	6,03	7,16	6,078	5
Hilir	6	6,23	6,43	6,27	6,5	8,2	6,726	5
	7	6,8	6,3	7,01	6,86	7,46	6,886	5
	8	6,63	6,2	6,14	6,3	9,51	6,956	5
rata-rata DO keseluruhan							6,718	



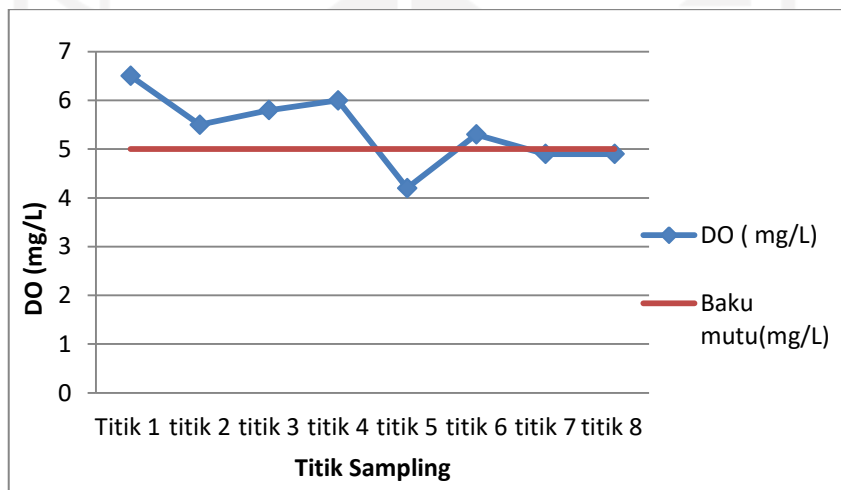
Gambar 4.6 Konsentrasi DO Sungai Winongo Tahun 2016-2020

Sedangkan hasil pengukuran konsentrasi DO pada penelitian ini diperoleh dari pengukuran langsung pada saat pengambilan sampel menggunakan multimeter. Berikut merupakan hasil pengukuran DO yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil pengukuran DO Sungai Winongo

Titik	DO (mg/L)	Baku mutu(mg/L)
Titik 1	6,5	5
titik 2	5,5	5
titik 3	5,8	5
titik 4	6	5
titik 5	4,2	5
titik 6	5,3	5
titik 7	4,9	5
titik 8	4,9	5

Sumber: Analisis Data, 2022



Gambar 4.7 Nilai DO Sungai Winongo

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat bahwa rentang nilai DO pada Sungai Winongo sebesar 4,2 mg/L sampai 6,5 mg/L. Konsentrasi DO tertinggi berada pada titik 1 sebesar 6,5 mg/L, dikarenakan titik 1 berada pada daerah dataran tinggi dengan kondisi cuaca yang dingin dan suhu yang tidak tinggi yaitu sebesar 24 °C, juga pada titik 1 belum banyak sumber pencemar dan tidak padat penduduk. Serta pada titik 1 kondisi sungai yang terbuka (tidak terhalang gorong-gorong) dan kondisi kedalaman sungai yang dangkal sebesar 0,42 meter, menyebabkan oksigen dapat masuk dengan mudah ke dalam sungai tersebut. Sedangkan konsentrasi DO terendah berada pada titik 5 sebesar 4,2 mg/L. Hal ini dipengaruhi oleh kedalaman sungai yang cukup dalam pada titik 5 sebesar 1,15 meter.

Menurut (Salmin, 2005) semakin dalamnya suatu sungai menyebabkan terjadinya penurunan terhadap konsentrasi DO, karena proses fotosintesis semakin berkurang dan udara cukup sulit untuk masuk ke sungai yang cukup dalam.

Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No.20 tahun 2008, batu mutu kelas II untuk parameter DO sebesar 5 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa nilai DO Sungai Winongo melebihi baku mutu pada titik 5, titik 7 dan titik 8. Rendahnya konsentrasi DO pada titik tersebut disebabkan oleh tingginya sumber pencemar yang masuk ke aliran Sungai Winongo yang menyebabkan mikroorganisme menggunakan oksigen sehingga jumlah konsentrasi DO menjadi menurun. Menurut (Arief 2014) konsentrasi DO yang rendah dapat mengakibatkan makhluk hidup didalam air menjadi mati, konsentrasi DO untuk kehidupan didalam air minimal 6 ppm.

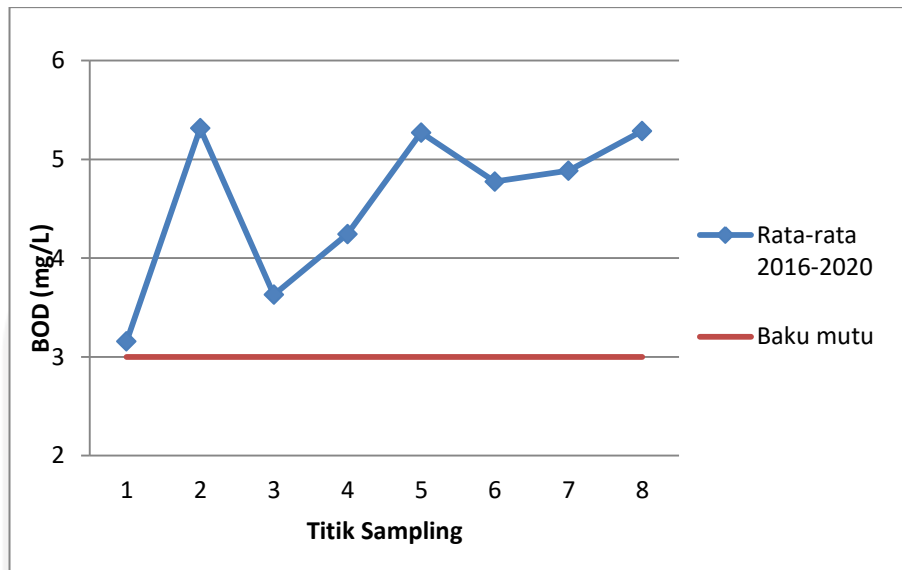
4.3.4 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah salah satu parameter yang dijadikan sebagai penentu tingkat pencemaran dalam suatu perairan. BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi bahan organik pada suatu perairan (Salmin, 2005). Berikut merupakan data konsentrasi BOD di Sungai Winongo pada tahun 2016 – 2020 yang bersumber dari data DLH Provinsi DIY.

Tabel 4.11 Konsentrasi BOD Sungai Winongo Tahun 2016-2020

BOD Sungai Winongo (mg/L)						Rata-rata	Baku mutu (mg/L)	
Titik	2016	2017	2018	2019	2020			
Hulu	1	3	3,8	3,92	1,18	3,87	3,154	3
	2	7,5	4,2	5,68	1,73	1,87	4,196	3
Tengah	3	3,7	3,8	5,8	1,96	2,88	3,628	3
	4	3,5	4,8	3,29	3,02	2,47	3,416	3
	5	4,4	4,1	5,22	4,66	3,65	4,406	3
Hilir	6	6,7	3,8	6,28	4,56	2,53	4,774	3
	7	7,5	4,7	5,88	4,47	1,87	4,884	3
	8	7,4	3,8	5,29	3,5	4,18	4,834	3
rata-rata BOD keseluruhan						4,1615		

Sumber: DLH Provinsi DIY



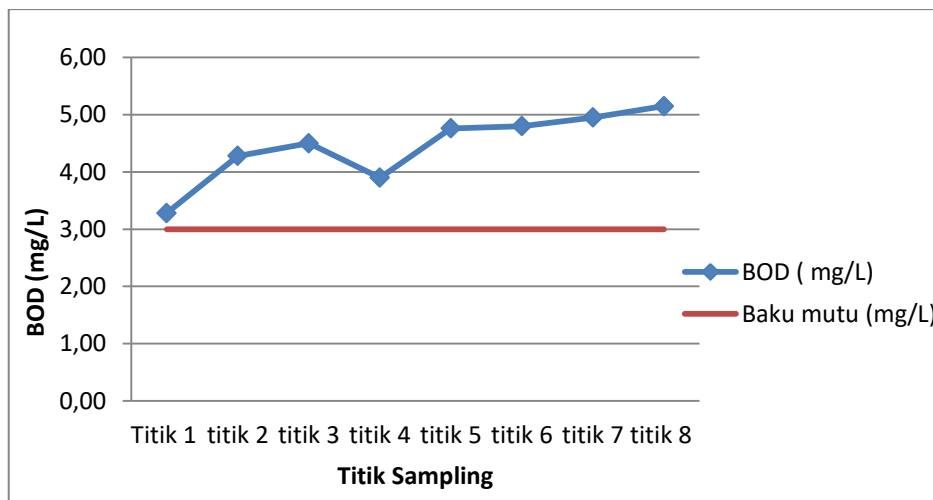
Gambar 4.8 BOD Sungai Winongo Tahun 2016-2020

Sedangkan nilai konsentrasi BOD pada penelitian ini merupakan analisis parameter BOD diperoleh melalui uji laboratorium menggunakan metode titrasi iodometri. Berikut merupakan hasil perhitungan BOD yang dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Hasil perhitungan BOD Sungai Winongo

Titik	BOD (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
Titik 1	3,28	3
titik 2	4,28	3
titik 3	4,50	3
titik 4	3,90	3
titik 5	4,76	3
titik 6	4,80	3
titik 7	4,95	3
titik 8	5,15	3

Sumber: Analisis Data, 2022



Gambar 4.9 Nilai BOD Sungai Winongo

Berdasarkan Gambar 4.9 menunjukkan bahwa konsentrasi BOD pada Sungai Winongo mengalami kenaikan dari titik 1 hingga titik 3 dan terjadi penurunan pada titik 4. Namun pada titik 5 hingga titik 8 mengalami kenaikan. Peningkatan konsentrasi BOD disebabkan oleh tingginya pencemaran yang berasal dari kegiatan disekitar Sungai Winongo seperti limbah domestik, limbah pertanian, limbah perikanan, masukan anak sungai dan saluran Drainase yang masuk ke aliran Sungai Winongo. Sedangkan penurunan konsentrasi BOD pada titik 4 disebabkan oleh proses dekomposisi zat organik yang dipengaruhi oleh DO (Effendi, 2003). Dengan tingginya tingkat pencemaran yang terjadi di Sungai Winongo menyebabkan konsentrasi BOD meningkat, sehingga konsentrasi DO di dalam sungai menurun karena oksigen digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik didalam sungai. Secara keseluruhan, menandakan bahwa konsentrasi BOD pada Sungai Winongo telah melebihi baku mutu air kelas II sebesar 3 mg/L. Hal ini menunjukkan kondisi Sungai Winongo tercemar dan menyebabkan turunnya kondisi kualitas air pada Sungai Winongo yang disebabkan oleh banyaknya air limbah yang masuk ke aliran sungai.

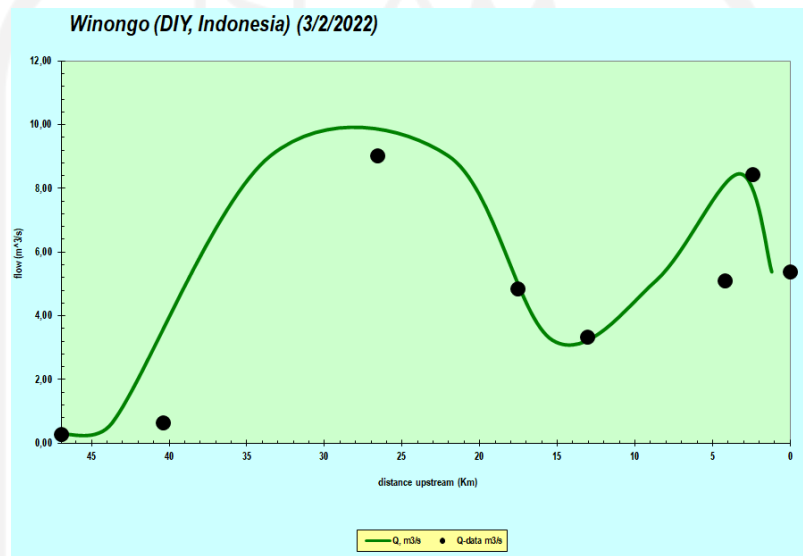
4.4 Pemodelan Kualitas Air menggunakan Qual2kw

Pemodelan kualitas air Winongo menggunakan *software* Qual2kw versi 5.1 dimulai dari menginput data-data yang diperoleh pada saat sampling. Data yang di input seperti *worksheet reach*, *Worksheet headwater*, *worksheet klimatologis*, *workshet point source*, *worksheet diffuse source*, *worksheet hydraulic data*, *worksheet temperatur data* dan *workheet WQ data*. Setelah menginput data, selanjutnya melakukan kalibrasi model dengan melakukan trial error agar grafik model mendekati data sampling atau data lapangan. Selanjutnya melakukan validasi model dengan menghitung nilai error model menggunakan 3 metode yaitu RPD, Chi square dan RMSPE. Apabila nilai error sesuai dengan syarat, maka model tersebut dapat di terima dan dilanjutkan pada tahap simulasi model. Simulai model pada penelitian ini menggunakan 3 skenario yang tujuannya untuk mengetahui apakah skenario tersebut efektif dalam penurunan konsentrasi BOD dan peningkatan konsentrasi DO pada Sungai Winongo.

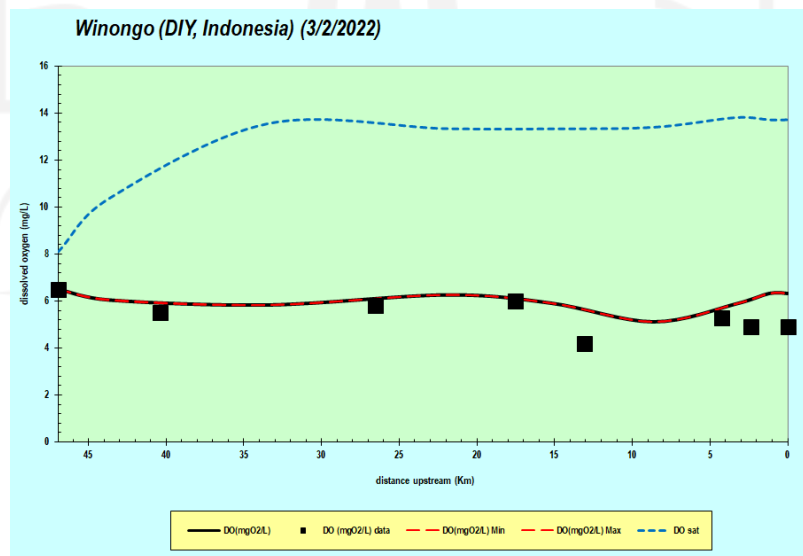
4.4.1 Hasil Kalibrasi Model

Kalibrasi pembentukan model dilakukan dengan cara *trial and error* serta running program secara berulang-ulang sehingga didapatkan model yang mendekati kondisi sesungguhnya atau di lapangan. Pembentukan kalibrasi model dilakukan terlebih dahulu pada model debit. Kalibrasi model debit dilakukan dengan cara *trial error worksheet point source* dan *worksheet diffuse source* pada data debit sehingga menghasilkan grafik model debit (garis hijau) dapat mendekati nilai lapangan (lingkaran hitam). Pada model DO kalibrasi dilakukan dengan cara *trial error worksheet reach* pada data n manning, *worksheet point source* dan *diffuse source* pada data konsentrasi DO sumber pencemar. Menurut (Nugraha 2007) nilai n manning yang mengecil dapat meningkatkan konsentrasi DO di dalam sungai . dan sebaliknya apabila nilai n manning diperbesar dapat menurunkan konsentrasi DO. Pada model BOD kalibrasi dilakukan dengan *trial error worksheet point source* dan *diffuse source* pada data konsentrasi BOD

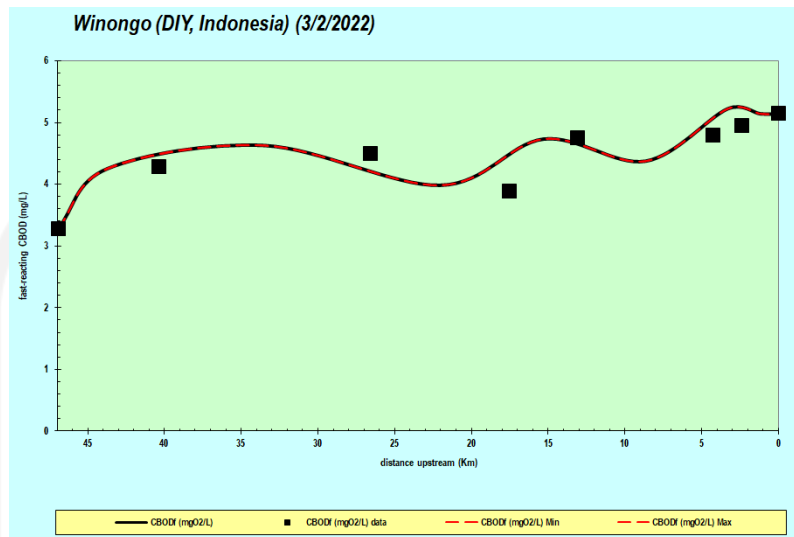
sumber pencemar sehingga menghasilkan grafik model (garis merah hitam) yang mendekati data lapangan atau data sebenarnya (kotak hitam). Berikut merupakan hasil kalibrasi model yang dilakukan dalam pemodelan Sungai Winongo yang dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.10 Hasil kalibrasi data debit Sungai Winongo



Gambar 4.11 Hasil kalibrasi data DO Sungai Winongo



Gambar 4.12 Hasil kalibrasi data BOD Sungai Winongo

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa grafik model debit menunjukkan nilai yang berfluktuasi dari titik 1 hingga titik 8. Besar kecil nya debit pada pemodelan ini dipengaruhi oleh kedalaman sungai, lebar sungai, kemiringan dan jumlah aliran yang masuk ke dalam sungai seperti effluen *point source* dan *non point source*, air hujan dan air tanah (Rosida 2014). Kecilnya debit yang dihasilkan pada titik 1 sebesar 0,28 m³/s dan titik 2 sebesar 0,64 m³/s, dikarenakan kondisi sungai yang tidak lebar. Lebar sungai titik 1 sebesar 0,4 m dan titik 2 sebesar 0,42 m. Bentuk sungai yang sempit dan lahan yang landai memiliki laju aliran yang kecil sehingga debit yang dihasilkan juga kecil (Staddal, Haridjaja, and Hidayat 2017). Peningkatan debit pada titik 3 (9,03 m³/s) dan titik 7 (8,46 m³/s) dapat terjadi karena kondisi sungai yang semakin lebar dibanding titik sebelumnya. Semakin lebarnya suatu sungai maka debit yang dihasilkan semakin besar karena air hujan yang ditangkap juga semakin banyak (Dharmananta, Suyanto, and Trigunasih 2019). Peningkatan debit juga terjadi pada titik 6 (5,1 m³/s) yang disebabkan oleh adanya penempatan terjunan pada titik tersebut. Adanya terjunan pada titik sampling dapat berpengaruh terhadap kuantitas debit tersebut (Rosida 2014). Sedangkan penurunan debit pada titik 4

(4,83 m³/s), titik 5 (3,33 m³/s) dan titik 8 (5,38 m³/s) disebabkan oleh kondisi aliran air yang cukup tenang adanya aliran air sungai yang keluar sehingga debit sungai berkurang.

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa grafik model DO memiliki nilai yang berfluktuasi. Besar kecilnya konsentrasi DO pada pemodelan ini dipengaruhi oleh kondisi hidrolis sungai, temperatur udara, temperatur air dan effluent yang masuk ke aliran sungai (Chen et al. 2018). Effluent tersebut seperti limbah perikanan, limbah pertanian, limbah domestik, saluran drainase dan masukan anak sungai. Tingginya pencemaran yang terjadi pada Sungai Winongo menyebabkan konsentrasi DO semakin turun karena oksigen yang tersedia digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik di dalam sungai. Pada suhu air yang tinggi menyebabkan konsentrasi DO menjadi turun dan sebaliknya. Pada titik 5 memiliki kedalaman sungai sebesar 1,15 meter, menunjukkan kondisi sungai yang cukup dalam. Kondisi sungai yang semakin dalam juga menyebabkan terjadinya penurunan terhadap konsentrasi DO di dalam sungai, karena kontak udara dengan air semakin kecil. Sedangkan peningkatan konsentrasi DO dapat terjadi karena adanya penempatan terjunan seperti halnya pada titik 6 akibat adanya terjunan terjadi peningkatan terhadap konsentrasi DO menjadi 5,3 mg/L. Adanya terjunan dapat menyebabkan terjadinya aerasi sehingga menghasilkan efek oksigenasi lokal (Dyah, dkk, 2013) . Meningkatnya konsentrasi DO juga disebabkan oleh semakin mengecilnya koefisien manning pada suatu sungai (Nugraha 2007).

Berdasarkan gambar 4.12 menunjukkan bahwa konsentrasi BOD dari hulu hingga hilir semakin meningkat. Namun hanya pada titik 4 terjadi penurunan konsentrasi BOD menjadi 3,9 mg/L. Peningkatan konsentrasi BOD disebabkan oleh semakin ke hilir makin banyaknya effluent yang masuk ke aliran Sungai Winongo. Karena Sungai Winongo yang berada di daerah padat penduduk serta banyaknya lahan pertanian yang menyebabkan Sungai Winongo menerima

masukannya. Meningkatnya konsentrasi BOD pada sungai juga diikuti dengan menurunnya jumlah oksigen yang tersedia di dalam air. Sehingga menyebabkan konsentrasi DO menurun. Sedangkan penurunan BOD pada titik 4 disebabkan oleh masih banyaknya vegetasi pada daerah tersebut yang menghasilkan oksigen dari proses fotosintesis tumbuhan. Sehingga menyebabkan konsentrasi DO meningkat pada titik 4. Ketika jumlah oksigen yang tersedia di dalam sungai banyak, maka dapat menurunkan konsentrasi BOD dikarenakan oksigen dapat mendegradasi bahan organik di dalam sungai.

4.4.2 Hasil Validasi Model

Setelah melakukan kalibrasi model dengan cara *trial and error*, selanjutnya melakukan proses validasi model dengan cara menghitung nilai error model dengan nilai lapangan. Perhitungan validasi model menggunakan 3 metode agar mendapatkan hasil yang akurat. 3 metode tersebut yaitu :

a) **Metode Root Mean Square Percentage Error (RMSPE)**

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai error menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

$$RMSPE : \sqrt{\frac{1}{n} [\sum_{n=1}^n (\frac{St-At}{At})^2]} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

St = nilai simulasi pada waktu t

At = nilai aktual pada waktu t

n = jumlah pengamatan

Model dapat diterima dan digunakan jika nilai RMSPE dibawah 50% (Dekissa, 2004).

Berikut merupakan hasil perhitungan validasi menggunakan metode RMSPE dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.13 Hasil validasi data debit dengan RMSPE

DEBIT				
titik	lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})}{\text{model}}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma(3)] \times 100\%)}$
1	0,280	0,28	0	16%
2	0,640	0,64	0	
3	9,03	9,03	3,86977E-32	
4	4,830	9,03	0,216333153	
5	3,330	3,23	0,000958506	
6	5,100	5,10	1,21317E-31	
7	8,460	8,46	0	
8	5,380	5,38	2,72544E-32	
Jumlah			0,217291659	

Tabel 4.14 Hasil validasi data DO dengan RMSPE

DO				
Titik	lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})}{\text{model}}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma(3)] \times 100\%)}$
1	6,50	6,50	0	15%
2	5,50	6,05	0,008200668	
3	5,80	5,83	3,51247E-05	
4	6,00	6,26	0,001741603	
5	4,20	5,92	0,084451297	
6	5,30	5,12	0,001267089	
7	4,90	5,89	0,028067324	
8	4,90	6,33	0,050887187	
Jumlah			0,174650293	

Tabel 4.15 Hasil validasi data BOD dengan RMSPE

BOD				
Titik	lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})}{\text{model}}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\sum(3)] \times 100\%)}$
1	3,28	3,28	8,87234E-30	4%
2	4,28	4,26	2,57466E-05	
3	4,50	4,63	0,000764652	
4	3,90	3,98	0,000433833	
5	4,76	4,73	3,36637E-05	
6	4,80	4,37	0,009476396	
7	4,95	5,22	0,002735137	
8	5,15	5,14	2,37098E-06	
Jumlah			0,0134718	

Berdasarkan hasil perhitungan pada 3 tabel diatas, menunjukkan bahwa model dapat diterima karena nilai perhitungan < 50 %. Untuk data debit sebesar 16%, data DO sebesar 15% dan data BOD sebesar 4 %.

b) Metode Chi Square

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai error menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

$$x^2 = \sum_{r=0}^n \frac{(\text{nilai observasi} - \text{nilai model})^2}{\text{nilai model}} \quad (5)$$

Keterangan :

x^2 = nilai uji statistik

n = jumlah sampel

r = sampel ke-n

syarat model diterima, apabila hasil perhitungan < x^2 tabel chi square dengan $\alpha = 0,95$ (Lusiana, dkk, 2020).

Berikut merupakan hasil perhitungan validasi menggunakan metode RMSPE dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.16 Hasil validasi data debit dengan Chi square

DEBIT				
Titik	lapangan	Model	$(\text{lapangan} - \text{Model})^2$	$(\text{lapangan} - \text{Model})^2 / \text{Model}$
1	0,280	0,28	0	0
2	0,640	0,64	0	0,000
3	9,030	9,03	3,15544E-30	0,0000
4	4,830	9,03	17,64	1,953
5	3,330	3,23	0,01	0,003
6	5,100	5,10	3,15544E-30	0,000
7	8,460	8,46	0	0,000
8	5,380	5,38	7,88861E-31	0,000
X² chi square				1,957

Tabel 4.17 Hasil validasi data DO dengan Chi square

DO				
titik	lapangan	Model	$(\text{lapangan} - \text{Model})^2$	$(\text{lapangan} - \text{Model})^2 / \text{Model}$
1	6,50	6,50	0	0
2	5,50	6,05	0,299932937	0,050
3	5,80	5,83	0,001195728	0,0002
4	6,00	6,26	0,068277592	0,011
5	4,20	5,92	2,960252262	0,500
6	5,30	5,12	0,033187768	0,006
7	4,90	5,89	0,972431823	0,165
8	4,90	6,33	2,037274753	0,322
X² chi square				1,054

Tabel 4.18 Hasil validasi data BOD dengan Chi square

BOD				
titik	lapangan	Model	$(\text{lapangan} - \text{Model})^2$	$(\text{lapangan} - \text{Model})^2 / \text{Model}$
1	3,28	3,28	0	0
2	4,28	4,26	0,000466887	0,0001
3	4,50	4,63	0,016377436	0,004
4	3,90	3,98	0,006882318	0,002
5	4,76	4,73	0,000753965	0,000
6	4,80	4,37	0,181316734	0,041
7	4,95	5,22	0,07461847	0,014
8	5,15	5,14	6,26911E-05	0,000
X² chi square				0,061

Berdasarkan hasil perhitungan metode Chi square menunjukkan bahwa hasil perhitungan x^2 untuk data debit sebesar 1,957, x^2 DO sebesar 1,054 dan x^2

BOD sebesar 0,061. Hal tersebut menunjukkan bahwa model dapat diterima karena hasil perhitungan $x^2 < x^2$ tabel Chi square (14,06).

c) Metode Relative Percentage Difference (RPD)

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai error menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

$$a) \quad RPD = \frac{C_{sim} - C_{obs}}{C_{obs}} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

C_{sim} = konsentrasi simulasi (mg/L)

C_{obs} = konsentrasi observasi (mg/L)

Apabila Nilai RPD < 25 % maka model tersebut dapat diterima dan dilanjutkan ke simulasi (Kamal dkk, 2020).

Berikut merupakan hasil validasi menggunakan metode RPD dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.19 Hasil validasi data debit dengan RPD

Debit		
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%
Average		11%

Tabel 4.20 Hasil validasi data DO dengan RPD

DO		
Data Lapangan	Data Model	cek error
6,50	6,50	0%
5,50	6,05	10%
5,80	5,83	1%
6,00	6,26	4%
4,20	5,92	41%
5,30	5,12	3%
4,90	5,89	20%
4,90	6,33	29%
Average		14%

Tabel 4.21 Hasil validasi data BOD dengan RPD

BOD		
Data Lapangan	Data Model	cek error
3,28	3,28	0%
4,28	4,26	1%
4,50	4,63	3%
3,90	3,98	2%
4,76	4,73	1%
4,80	4,37	9%
4,95	5,22	6%
5,15	5,14	0%
Average		3%

Berdasarkan perhitungan metode RPD didapatkan nilai error untuk data debit sebesar 11 %, data DO sebesar 14% dan data BOD sebesar 3%. Hal ini sesuai dengan syarat apabila hasil perhitungan < 25% maka model tersebut dapat diterima.

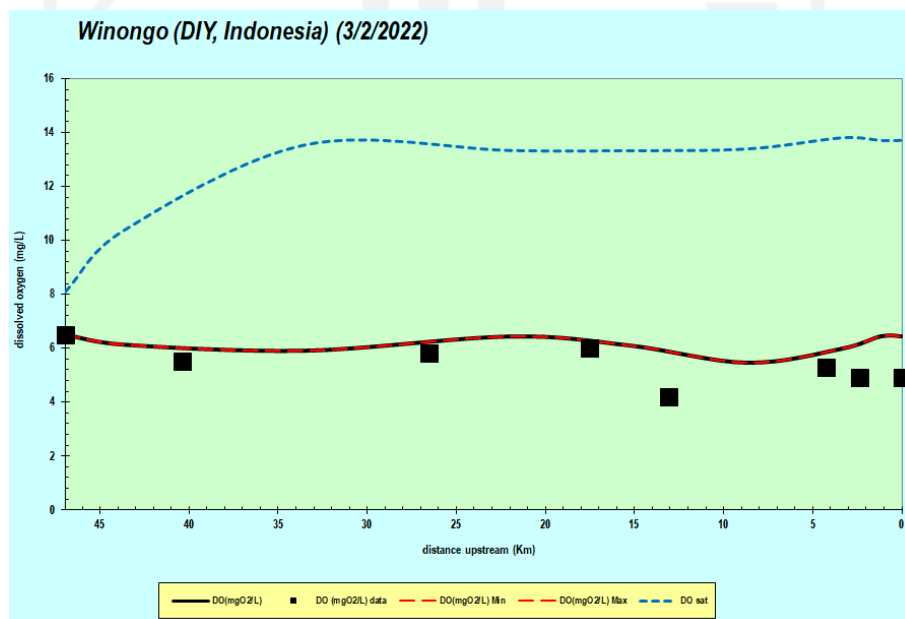
4.4.3 Hasil Simulasi Model

Simulasi yang dilakukan pada pemodelan ini menggunakan 3 skenario yaitu modifikasi beban pencemar, penambahan debit serta oksigenasi lokal. skenario tersebut merupakan skenario yang digunakan pada penelitian yang

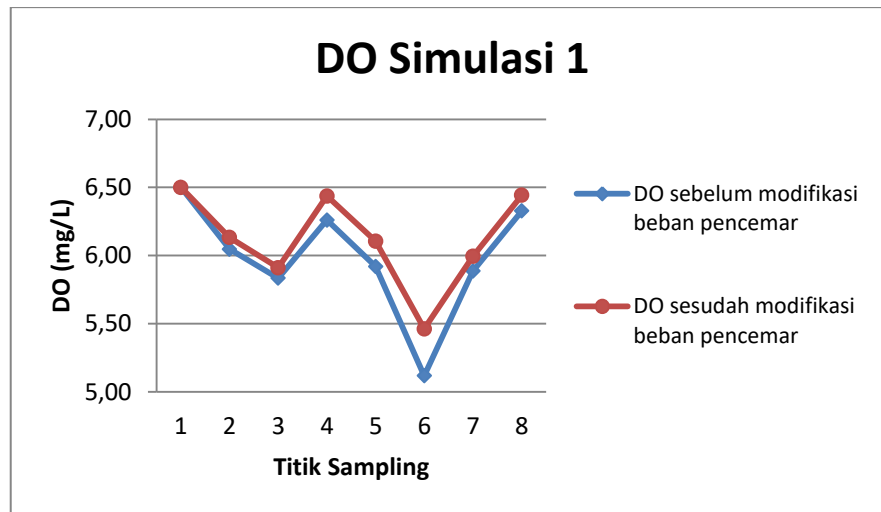
dilakukan oleh Mustafa dkk (2017) di Sungai Diyala Irak, menghasilkan skenario dengan modifikasi beban pencemar dan penambahan debit efektif dalam peningkatan DO. Skenario tersebut juga belum pernah diterapkan di Sungai Indonesia. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana keefektifkan skenario tersebut diterapkan pada Sungai Winongo.

a) **Simulasi Model Skenario 1**

Modifikasi beban pencemar pada simulasi model skenario 1 adalah dengan menurunkan nilai sumber pencemar yang masuk ke aliran Sungai Winongo pada konsentrasi BOD sebesar 20% pada *worksheet point source* dan *diffuse source* (Kannel dkk., 2007). Sehingga pada simulasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari menurunkan konsentrasi sumber pencemar pada parameter BOD sebesar 20% terhadap peningkatan konsentrasi DO serta penurunan konsentrasi BOD di dalam Sungai Winongo. Berikut merupakan hasil simulasi model skenario 1 pada parameter DO dan BOD :

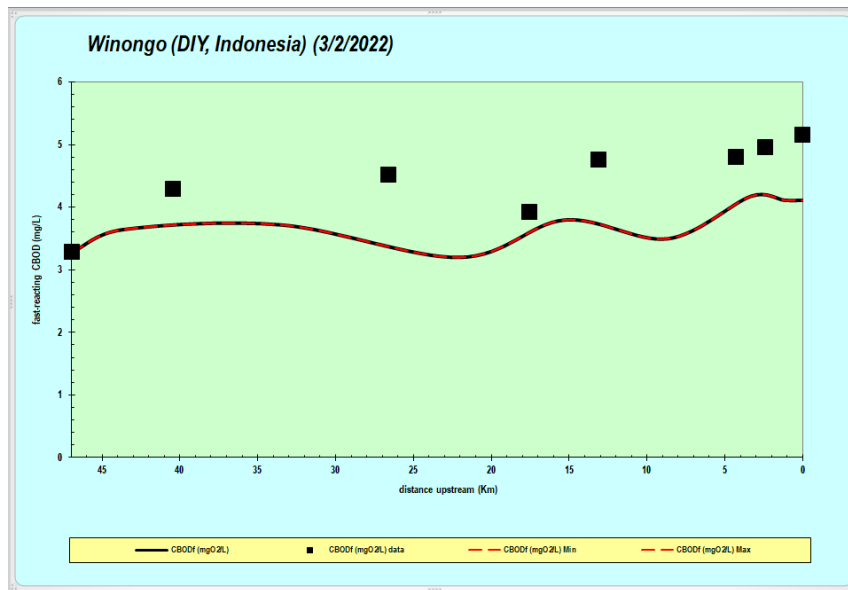


Gambar 4.13 Hasil simulasi 1 parameter DO

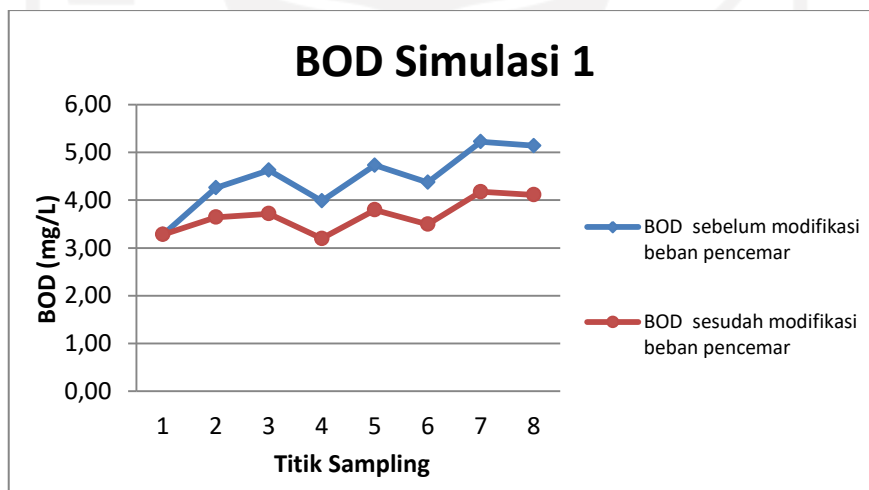


Gambar 4.14 Perbandingan DO sebelum dan sesudah Simulasi 1

Berdasarkan pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa hasil simulasi model skenario 1 efektif dalam meningkatkan konsentrasi DO pada Sungai Winongo. Dapat dilihat pada Gambar 4.14, terdapat perbandingan nilai DO sebelum skenario dan setelah dilakukannya skenario, yang menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi DO pada semua titik sampling. Peningkatan DO dapat terjadi karena pada skenario 1 dilakukan dengan cara menurunkan konsentrasi sumber pencemar pada parameter BOD sebesar 20%. Sehingga masukan effluent berkurang sebesar 20% yang menyebabkan konsentrasi BOD pada Sungai Winongo juga menurun. Ketika konsentrasi BOD menurun sejalan dengan meningkatnya konsentrasi DO di dalam sungai. Hal ini dapat terjadi karena pada konsentrasi BOD yang menurun, menandakan berkurangnya jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan pencemar, sehingga jumlah oksigen yang tersedia di Sungai Winongo dapat meningkat. Hasil simulasi model skenario 1 juga menunjukkan bahwa konsentrasi DO pada semua titik sampling telah sesuai dengan baku mutu air kelas II yaitu > 5 mg/L. Semakin tinggi konsentrasi DO menunjukkan suatu perairan dalam kondisi yang semakin baik (Rahmandani dkk, 2021).



Gambar 4.15 Hasil simulasi 1 parameter BOD



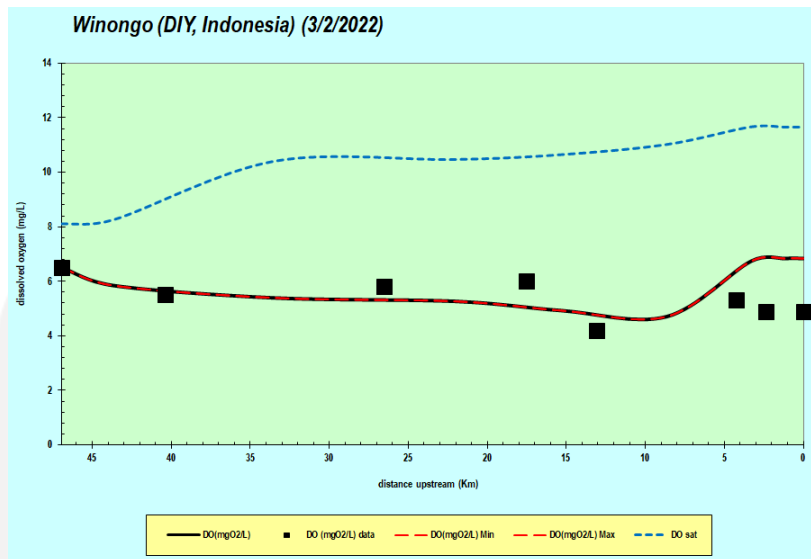
Gambar 4.16 Perbandingan BOD sebelum dan sesudah Simulasi 1

Berdasarkan pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa hasil simulasi model skenario 1 efektif dalam menurunkan konsentrasi BOD di Sungai Winongo. Dapat dilihat pada gambar 4.16, terdapat perbandingan nilai BOD sebelum skenario dan sesudah skenario, yang memperlihatkan terjadinya penurunan terhadap konsentrasi BOD pada semua titik sampling. Hal tersebut dikarenakan pada

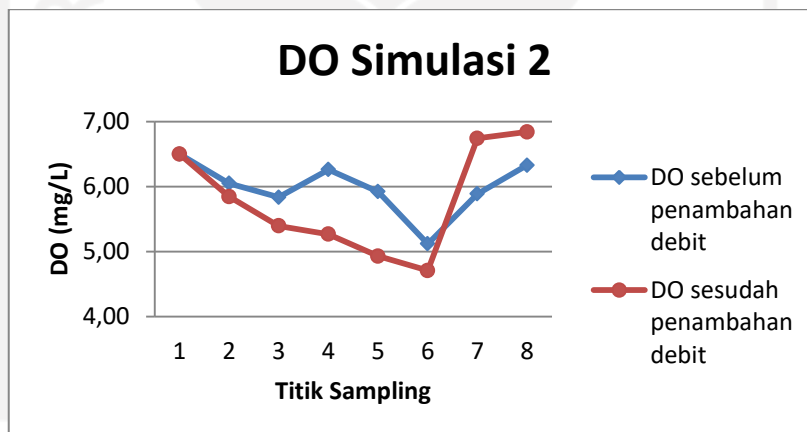
skenario 1 dilakukan dengan cara menurunkan konsentrasi sumber pencemar pada parameter BOD sebesar 20%. Sehingga masukan effluen berkurang sebesar 20% yang menyebabkan konsentrasi BOD pada sumber pencemar juga menurun. Ketika konsentrasi BOD menurun, menandakan berkurangnya nilai konsentrasi BOD dari sumber pencemar seperti limbah pertanian, limbah perikanan, limbah domestik dan lain-lain. Penurunan konsentrasi BOD ditandai dengan berkurangnya jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan pencemar, sehingga menyebabkan konsentrasi DO pada Sungai Winongo dapat meningkat.

b) Simulasi Model Skenario 2

Penambahan debit pada simulasi model skenario 2 dilakukan dengan kombinasi antara modifikasi beban pencemar dan menggunakan debit tertinggi pada data lapangan. Penambahan debit yang dimaksud adalah menggunakan debit tertinggi sebesar 9,03 m³/s (pada saat musim hujan). Debit tersebut di input pada *worksheet headwater* bagian data debit. Sebelum skenario debit pada *headwater* di input sebesar 0,28 m³/s lalu pada saat dilakukan skenario menggunakan debit tertinggi yaitu 9,03 m³/s. Tujuan dari penambahan debit ini adalah untuk mengetahui bagaimana keefektifan penggunaan debit yang tinggi terhadap peningkatan DO dan penurunan BOD pada Sungai Winongo tersebut. Berikut merupakan hasil simulasi model menggunakan skenario 2 :



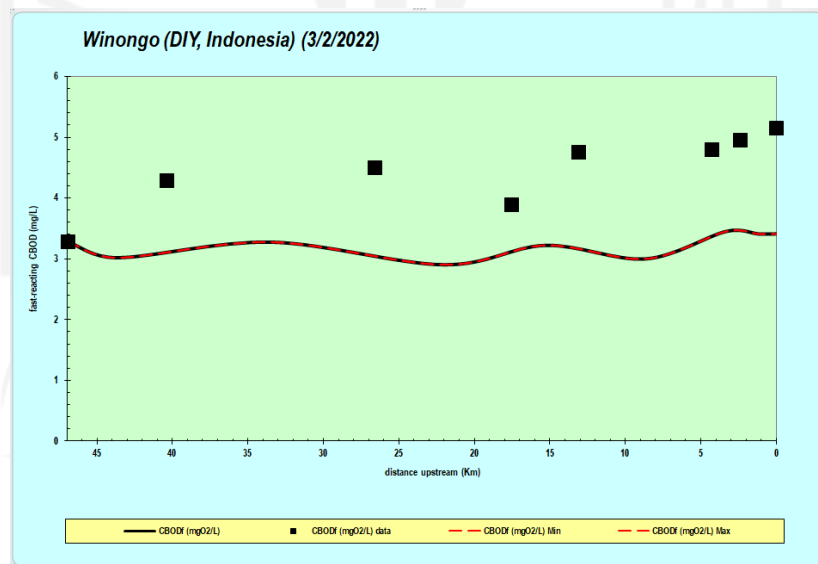
Gambar 4.17 Hasil simulasi 2 parameter DO



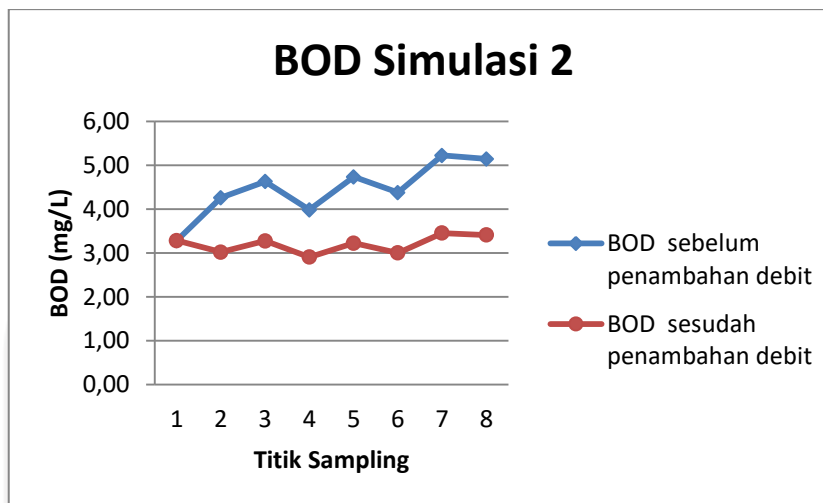
Gambar 4.18 Perbandingan DO sebelum dan sesudah simulasi 2

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan skenario 2, dapat dilihat pada gambar 4.17 bahwa model konsentrasi DO (garis merah hitam) mengalami penurunan dari data DO lapangan (kotak hitam). Dapat dilihat pada gambar 4.18, penurunan konsentrasi DO terjadi dari titik 2 hingga titik 6, lalu meningkat kembali pada titik 7 hingga titik 8. Peningkatan konsentrasi DO pada titik 7 hingga titik 8 dikarenakan adanya terjunan pada titik 6. Terjadinya penurunan terhadap konsentrasi DO disebabkan oleh nilai kekasaran saluran pada pemodelan ini melebihi 0,04.

Berdasarkan penelitian Gholipour A, dkk (2015) nilai kekasaran saluran yang lebih besar dari 0,04 dapat menurunkan nilai konsentrasi pada tiap parameter termasuk parameter DO ini. Sebelum skenario debit headwater yang digunakan sebesar 0,28 m³/s. Meskipun pada skenario 2 juga dilakukan penurunan 20% sumber pencemar pada parameter BOD, hal ini tidak dapat meningkatkan konsentrasi DO di sungai. Melainkan konsentrasi DO menurun. Dapat disimpulkan bahwa simulasi model skenario 2 tidak efektif dalam meningkatkan konsentrasi DO pada Sungai Winongo. Tetapi apabila mengkombinasikan antara modifikasi beban pencemar dan penambahan debit serta penempatan terjunan, skenario 2 ini dapat meningkatkan konsentrasi DO pada sungai, hal ini dapat dilihat pada perubahan yang terjadi pada titik 7 dan titik 8 karena adanya terjunan setelah titik 6. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Mustafa et al (2017) di Sungai Diyala, Irak.



Gambar 4.19 Hasil simulasi 2 parameter BOD



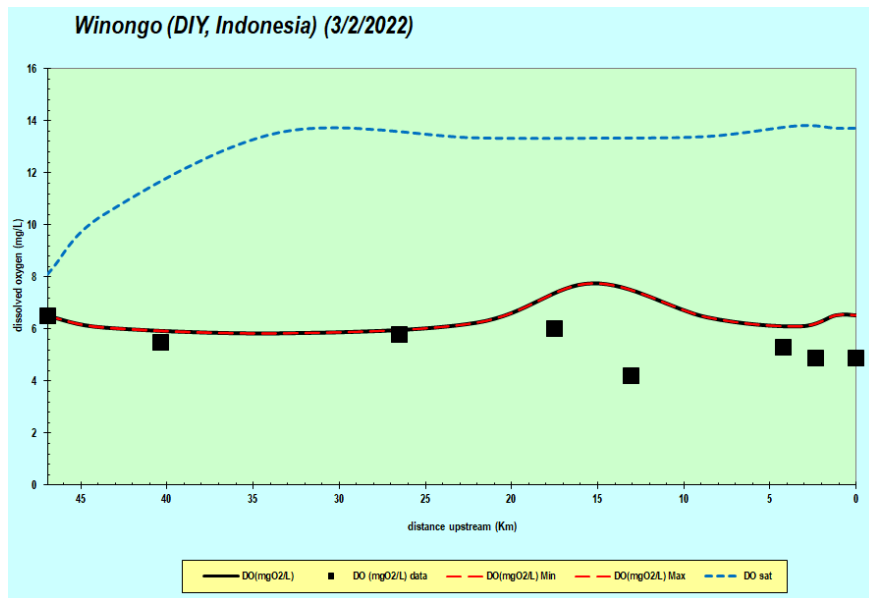
Gambar 4.20 Perbandingan BOD sebelum dan sesudah simulasi 2

Berdasarkan gambar 4.19 dapat dilihat bahwa penggunaan skenario 2 efektif dalam menurunkan konsentrasi BOD pada Sungai Winongo. Terdapat perbandingan konsentrasi BOD pada sebelum simulasi dan sesudah simulasi yang terlihat jelas pada gambar 4.20. Konsentrasi BOD dapat menurun karena pada skenario 2 ini juga menurunkan 20% sumber pencemar pada parameter BOD dan penggunaan debit *headwater* yang tinggi sebesar 9,03 mg/L sangat mempengaruhi terhadap penurunan konsentrasi BOD di Sungai Winongo. Penambahan debit di hulu sungai menyebabkan penurunan pada konsentrasi BOD dikarenakan terjadinya pengenceran dari sumber pencemaran sehingga beban pencemar berkurang (Rezagama, 2019).

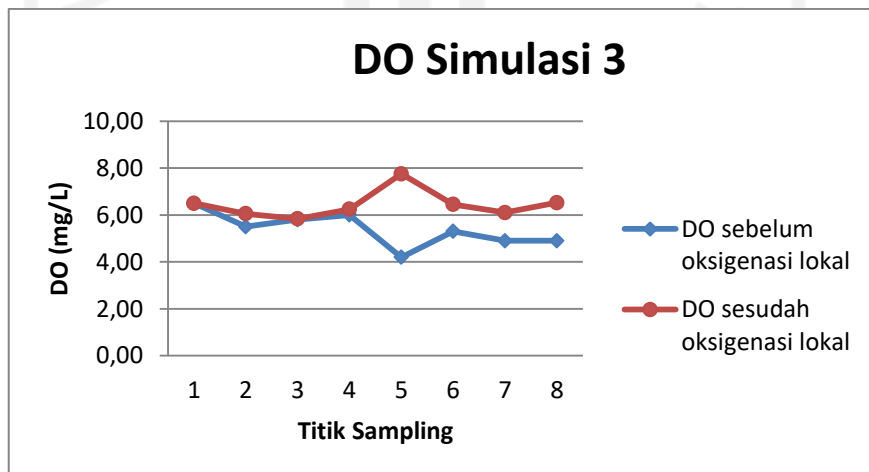
c) Simulasi Model Skenario 3

Simulasi model skenario 3 adalah oksigenasi lokal. Efek oksigenasi lokal ini dapat terjadi ketika adanya terjunan di suatu sungai (Dyah, dkk, 2013). Pada skenario 3 mengasumsikan adanya penempatan terjunan pada titik sampling yang konsentrasi DO nya rendah yaitu titik 5. Sehingga menginput data *weir* pada *worksheet reach*. Skenario 3 bertujuan untuk mengetahui

bagaimana keefektifan terjunan terhadap peningkatan DO dan penurunan BOD pada Sungai Winongo.



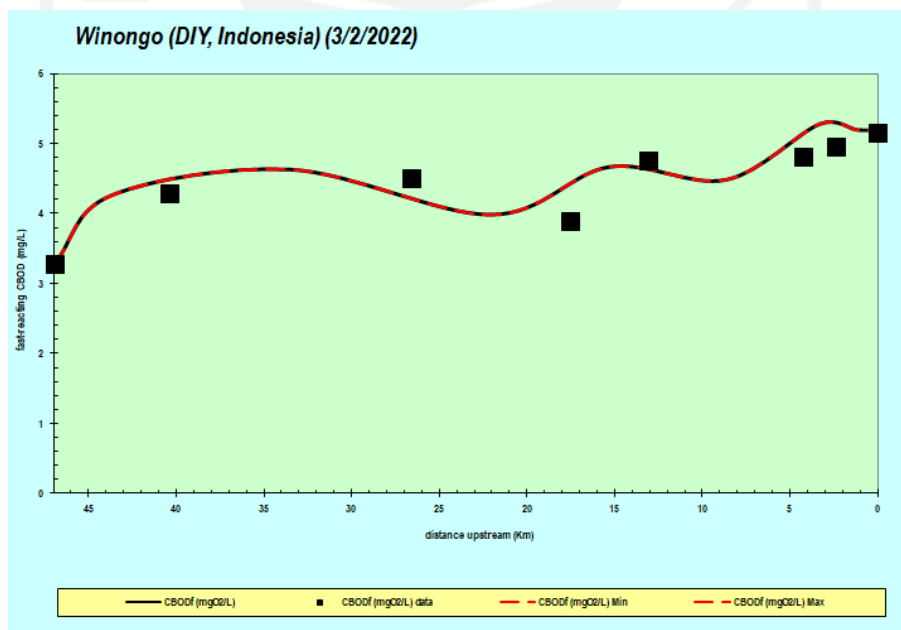
Gambar 4.21 Hasil simulasi 3 parameter DO



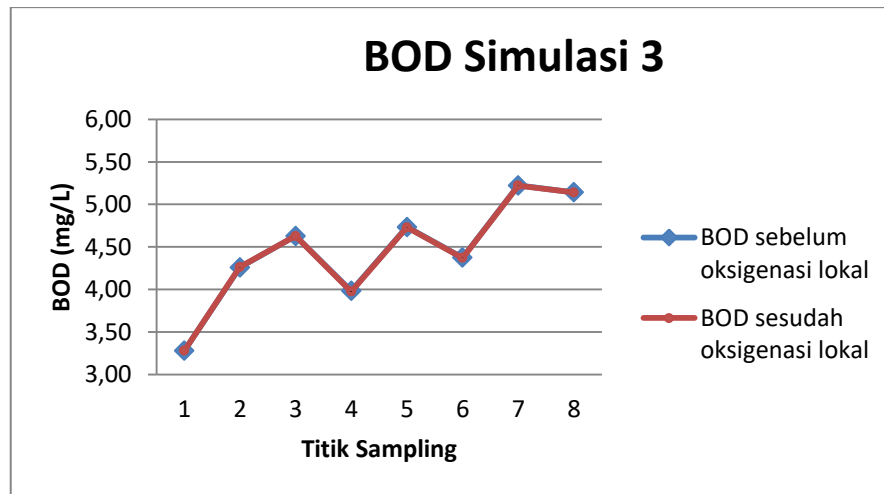
Gambar 4.22 Perbandingan DO sebelum dan sesudah simulasi 3

Berdasarkan Gambar 4.21 menunjukkan bahwa hasil simulasi menggunakan skenario oksigenasi lokal efektif dalam peningkatan konsentrasi DO pada titik kritis. Skenario dilakukan dengan mengasumsikan adanya penempatan terjunan dengan $h = 1$ meter pada

titik sampling yang menghasilkan DO yang kritis (konsentrasi DO berada dibawah baku mutu yaitu 5 mg/L) (Mustafa, Sulaiman, and Shahooth 2017). Titik kritis tersebut berada pada titik 5 dengan konsentrasi DO aktual sebesar 4,2 mg/L. Sehingga dapat dilihat pada gambar 4.22 terdapat perbandingan konsentrasi DO sebelum dan sesudah simulasi yang terlihat jelas perubahannya pada titik 5 tersebut. Didapatkan hasil simulasi bahwa pada titik kritis (titik 5) terjadi peningkatan konsentrasi DO yang awalnya sebesar 4,2 mg/L menjadi 7,76 mg/L. Hal ini dipengaruhi oleh penempatan terjunan yang dapat menyebabkan terjadinya aerasi (kontak udara dengan ari) sehingga menghasilkan efek oksigenasi lokal (Dyah, dkk, 2013). Sehingga dapat disimpulkan skenario 3 efektif dalam peningkatan konsentrasi DO pada Sungai Winongo. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian yang dilakukan di Sungai Diyala, Irak oleh Mustafa et al (2017).



Gambar 4.23 Hasil simulasi 3 parameter BOD



Gambar 4.24 Perbandingan BOD sebelum dan sesudah simulasi 3

Berdasarkan gambar 4.24 menunjukkan bahwa tidak adanya perubahan konsentrasi yang terjadi pada konsentrasi BOD menggunakan skenario oksigenasi lokal. Dengan adanya penempatan terjunan pada titik kritis tidak memberikan pengaruh terhadap konsentrasi BOD pada Titik 5 ataupun pada Sungai Winongo. Hal ini dikarenakan laju peluruhan BOD pada segmen ini telah optimal sehingga tidak memberikan perubahan terhadap konsentrasi BOD dengan adanya penempatan terjunan (Nugraha 2007). Tingginya beban pencemaran yang masuk kedalam sungai dapat mengganggu kemampuan sungai dalam memulihkan dirinya sendiri dan menurunkan kualitas air sungai (Rahmandani, Hendrawan, and Astono 2021).

4.5 Strategi Alternatif Pengelolaan Sungai Winongo

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa kondisi Sungai Winongo tercemar yang dibuktikan dengan konsentrasi BOD dan DO telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Sehingga diperlukan alternatif pengelolaan air Sungai Winongo dengan cara :

1. Penempatan terjunan pada titik kritis sungai. Dengan dilakukannya penempatan terjunan, Sehingga terjadinya penurunan elevasi yang

menyebabkan terjadinya aerasi secara ilmiah dan berpotensi untuk mendegradasi polutan BOD (Hendrasari, 2016). Hal tersebut juga meningkatkan konsentrasi DO pada air sungai karena dengan adanya terjunan terjadinya kontak air dengan udara. Sehingga sungai dapat melakukan upaya *self purification* (Rezagama, 2019).

2. Penurunan beban pencemar yang dapat dilakukan dengan cara pembangunan IPAL komunal disepanjang Sungai Winongo pada setiap kabupaten di Provinsi DIY. Sehingga dengan adanya Pengelolaan air limbah di IPAL diharapkan dapat menurunkan beban pencemar sebelum masuk ke Sungai Winongo yang dapat menurunkan konsentrasi BOD.





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Kondisi eksisting di Sungai Winongo pada parameter DO dan BOD berdasarkan sumber pencemar *point source* (saluran perikanan, anak sungai, saluran drainase) dan *non point source* (limbah pertanian, limbah domestik, limbah perikanan) jika dibandingkan dengan Pergub DIY No.20 Tahun 2008 baku mutu air kelas II, diperoleh sebagai berikut :
 - a. Pada parameter BOD diperoleh hasil dari titik 1 hingga titik 8 berturut-turut sebesar 3,28 mg/L, 4,28 mg/L, 4,5 mg/L, 3,9 mg/L, 4,76 mg/L, 4,8 mg/L, 4,95 mg/L dan 5,15 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas Sungai Winongo yang tercemar ditandai pada parameter BOD semua titik sampling yang telah melebihi baku mutu yaitu 3 mg/L.
 - b. Pada parameter DO diperoleh hasil dari titik 1 hingga titik 8 sebesar 6,5 mg/L, 5,5 mg/L, 5,8 mg/L, 6 mg/L, 4,2 mg/L, 5,3 mg/L, 4,9 mg/L dan 4,9 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa pada titik 5, titik 7 dan titik 8 konsentrasi DO pada Sungai Winongo berada dibawah baku mutu yang ditetapkan yaitu 5 mg/L.
- 2) Model Qual2kw dapat digunakan pada Sungai Winongo dengan hasil simulasi pada skenario modifikasi beban pencemar efektif dalam peningkatan konsentrasi DO dan penurunan konsentrasi BOD. Pada skenario oksigenasi lokal juga efektif

dalam meningkatkan konsentrasi DO tetapi pada konsentrasi BOD konstan. Namun pada skenario penambahan debit konsentrasi DO berkurang tetapi mampu menurunkan konsentrasi BOD pada Sungai Winongo. Sehingga strategi pengelolaan untuk Sungai Winongo dengan cara penambahan terjunan pada sungai sehingga terjadinya aerasi yang dapat meningkatkan konsentrasi DO, juga dengan cara menurunkan beban pencemar yang masuk ke aliran sungai dengan cara pembangunan IPAL di sepanjang Sungai Winongo.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat masukan yang bisa dipertimbangkan dalam penelitian selanjutnya yaitu :

1. Diperlukan adanya penambahan peta tata guna lahan sepanjang Sungai Winongo untuk mengidentifikasi sumber pencemar *point source* dan *non point source* yang masuk ke aliran Sungai Winongo.
2. Diperlukan adanya kegiatan pemantauan kondisi fisik dan kualitas air Sungai Winongo secara rutin untuk mengetahui perubahan kondisi kualitas air sehingga dapat meminimalisir pencemaran air pada Sungai Winongo.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Kamal, Norashikin, Nur Shazwani Muhammad, and Jazuri Abdullah. 2020. "Scenario-Based Pollution Discharge Simulations and Mapping Using Integrated QUAL2K-GIS." *Environmental Pollution* 259: 113909. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113909>.
- Akhir, Tugas, and Qori Aulia Ulfa. 2021. "Analisis Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Winongo Berdasarkan Parameter Bod Dan Cod Menggunakan Model Qual2kw."
- Anwariani, Destari. 2019. "Pengaruh Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Sungai." *Https://Osf.Io/Preprints/Inarxiv/8Nxsj/* (82): 12.
- Arief, Achmad. 2014. "Pengaruh Keberadaan Bendung Dan Terjunan Pada Konsentrasi Oksigen Dalam Air." *Jurnal Rekayasa Sipil* 2(2): 154–66. <https://media.neliti.com/media/publications/270078-pengaruh-keberadaan-bendung-dan-terjunan-746dc9f1.pdf>.
- Chen, Q. S., X. H. Xie, Q. Y. Du, and Y. Liu. 2018. "Parameters Sensitivity Analysis of DO in Water Quality Model of QUAL2K." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 191(1).
- Dharmananta, I D P G A, R Suyanto, and N M Trigunasih. 2019. "Pengaruh Morfometri DAS Terhadap Debit Dan Sedimentasi DAS." *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika* 8(1): 32–42.
- Dyah, Agnes Novitasari Lestari; Sugiharto, Eko; Siswanta, Dwi. 2013. "APLIKASI MODEL QUAL2Kw UNTUK MENENTUKAN STRATEGI PENANGGULANGAN PENCEMARAN AIR SUNGAI GAJAHWONG YANG DISEBABKAN OLEH BAHAN ORGANIK (Aplication of Qual2Kw Model to Determine the Strategy in Solving Gajahwong River Water Pollution Caused by Organic Matter)." *Journal of People and Environment* 20(3): 284–93.
- Fatmawati, Reni, Aniek Masrevaniah, and M Solichin. 2012. "Kajian Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Ngrowodengan Menggunakan Paket

- Program Qual2kw.” *Jurnal Teknik Pengairan* 3(2): 122–31.
<http://www.jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/157/153>.
- Irsanda, Panthera Grandis Raga, Nieke Karnaningroem, and Didik Bambang. 2014. “Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo Dengan.” *Teknik POMITS* 3(1): 47–52.
<http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/5681/1687>.
- Kannel, Prakash Raj et al. 2007. “Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Management in the Bagmati River, Nepal.” *Ecological Modelling* 202(3–4): 503–17.
- Lusiana, Novia, Akhmad Adi Sulianto, Luhur Akbar Devianto, and Septyana Sabina. 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): 161–76.
- Marlina, Nelly, Hudori Hudori, and Ridwan Hafidh. 2017. “Pengaruh Kekasaran Saluran Dan Suhu Air Sungai Pada Parameter Kualitas Air Cod, Tss Di Sungai Winongo Menggunakan Software Qual2Kw.” *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan* 9(2): 122–33.
- Marlina, Nelly, Kasam Kasam, and Any Juliani. 2015. “Evaluasi Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Menggunakan Model Kualitas Air (Studi Kasus: Sungai Winongo).” *Ajie* 4(2): 78–86.
- Mustafa, A.S, O.S Sulaiman, and S.H Shahooth. 2017. “Application of QUAL2K for Water Quality Modeling and Management in the Lower Reach of the Diyala River أ تَجذمه سماو قرعي لى ك تي غوه هلي لمان درجمو ا ا QUAL2K ن يرب اص يرحم نوحاش ل ل فس رنه ل ياد ق يبعث.” *Iraqi Journal of Civil Engineering* 11(2): 66–80.
- Nugraha, Winardi Dwi. 2007. “Analisis Pengaruh Hidrolika Sungai Terhadap Transport BOD Dan Do Dengan Menggunakan Software Qual2E (Studi Kasus Di Sungai Kaligarang, Semarang).” *Jurnal Presipitasi* 2(1): 66–70.
- Pelletier, G. J. “Pelletier_Et_Al_2006.Pdf.”
- Rahmandani, I., D. Hendrawan, and W. Astono. 2021. “Determination of Load

- Capacity of BOD Pollutant in Cisadane River with Qual2kw Model & Its Effect on DO Parameters.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 894(1).
- Rahmazywati, Dea. 2011. “Pengaruh Aktivitas Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak Di Bergas Kabupaten Semarang Dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai.” *Universitas Diponegoro*: 103.
- Rosida, Chasna. 2014. “Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Software QUAL2Kw (Studi Kasus: Sungai Code, Yogyakarta) Rosida Chasna.”
- Saily, Randhi, and Sjelly Haniza. 2020. “Pendekatan Nilai Kualitas Air Dengan Metode Model Qual2Kw Pada Parameter Uji DO Dan NH4.” *Siklus : Jurnal Teknik Sipil* 6(2): 167–73.
- Staddal, Ikrima, Oteng Haridjaja, and Yayat Hidayat. 2017. “Analisis Debit Aliran Sungai DAS Bila, Sulawesi Selatan.” *Jurnal Sumber Daya Air* 12(2): 117–30.
- Syahril. 2016. “Sumber Polusi Titik Dan Tersebar(Point Adn Nonpoint Source Pollution)Terhadap Pencemaran Airbawah Permukaan.” *Prosiding Seminar Nasional “Pelestarian Lingkungan & Mitigasi Bencana”*: 43–49.
- Zolfagharipoor, Mohammad Amin, and Azadeh Ahmadi. 2016. “A Decision-Making Framework for River Water Quality Management under Uncertainty: Application of Social Choice Rules.” *Journal of Environmental Management* 183: 152–63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.094>.

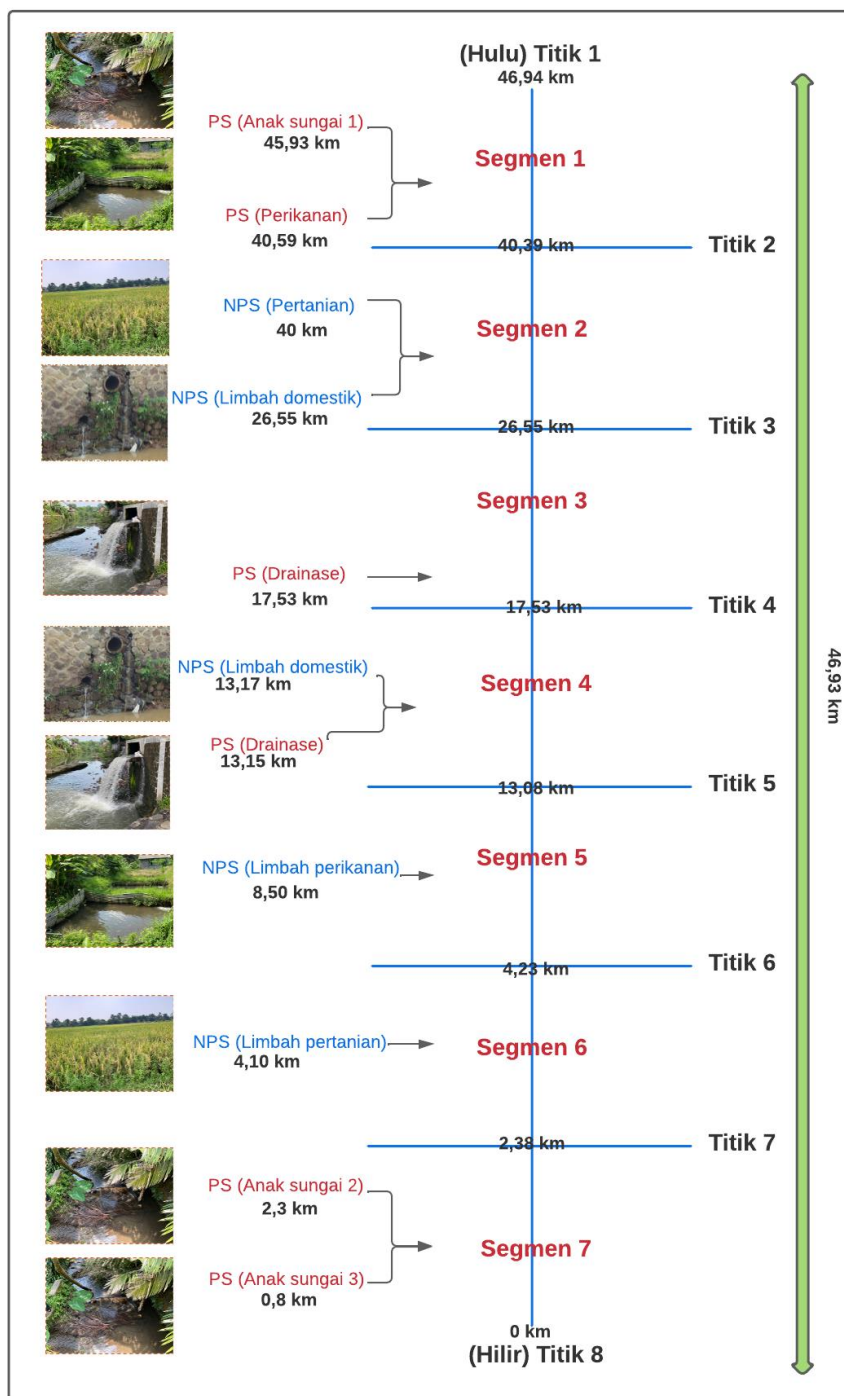


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

LAMPIRAN

Lampiran 1 Sketsa Sumber Pencemar Sungai Winongo



Lampiran 2 Data sekunder Debit Sungai Winongo

Rata- rata debit Sungai Winongo												
Tahun	Januari	Februri	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2016	2,27	5,24	8,68					1,26	1,9	4,02	6,66	5,41
2017	4,69	5,6	5,98	7,34	3,18	1,9	0,88	0,15	0,64	2,75	7,35	7,02

Lampiran 3 Data Hidrolik Sungai Winongo

Titik	Q (m ³ /s)	H rata2 (m)	B rata2 (m)	V rata2 (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 4 Analisis Data Kualitas Air Sungai Winongo DO dan BOD

sampel	Titik Pengambilan Sampel	BOD (mg/L)	Baku mutu (mg/L)	DO (mg/L)	Baku mutu(mg/L)
Titik 1	T1	3,28	3	6,5	5
titik 2	T2	4,28	3	5,5	5
titik 3	T3	4,50	3	5,8	5
titik 4	T4	3,90	3	6	5
titik 5	T5	4,76	3	4,2	5
titik 6	T6	4,80	3	5,3	5
titik 7	T7	4,95	3	4,9	5
titik 8	T8	5,15	3	4,9	5

Lampiran 5 Data Klimatologis Titik Sampling 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 6 Data Sekunder Klimatologis Titik Sampling 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 7 Dokumentasi Kegiatan Sampling





Lampiran 8 Dokumentasi Pengujian BOD di Laboratorium



Lampiran 9 Baku mutu air kelas II

Peraturan Gubernur DIY Nomor 10 tahun 2008

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



Lampiran 10 Tabel χ^2 metode Chi Square

Titik Persentase Distribusi Chi-Square untuk d.f. = 1 - 50

df	Pr	0.25	0.10	0.05	0.010	0.005	0.001
1		1.32330	2.70554	3.84146	6.63490	7.87944	10.82757
2		2.77259	4.60517	5.99146	9.21034	10.59663	13.81551
3		4.10834	6.25139	7.81473	11.34487	12.83816	16.26624
4		5.38527	7.77944	9.48773	13.27670	14.86026	18.46683
5		6.62568	9.23636	11.07050	15.08627	16.74960	20.51501
6		7.84080	10.64464	12.59159	16.81189	18.54758	22.45774
7		9.03715	12.01704	14.06714	18.47531	20.27774	24.32189

