

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI PADA
PARAMETER FOSFAT DAN AMONIA
MENGUNAKAN *SOFTWARE* QUAL2KW (STUDI
KASUS : SUNGAI WINONGO, DIY)**

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



CITRA RAHAYU VIANDITA SARI

18513166

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

TUGAS AKHIR
PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI PADA
PARAMETER FOSFAT DAN AMONIA
MENGGUNAKAN *SOFTWARE* QUAL2KW (STUDI
KASUS : SUNGAI WINONGO, DIY)

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



CITRA RAHAYU VIANDITA SARI
18513166

Disetujui,
Dosen Pembimbing :

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

Tanggal : 23 Desember 2022

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

Tanggal : 23 Desember 2022



Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII
Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
NIK. 095130403
Tanggal: 23 Desember 2022

HALAMAN PENGESAHAN
PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI PADA
PARAMETER FOSFAT DAN AMONIA
MENGGUNAKAN *SOFTWARE* QUAL2KW (STUDI
KASUS : SUNGAI WINONGO, DIY)

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 23 Desember 2022

Disusun Oleh :

Citra Rahayu Viandita Sari

18513166

Tim Penguji :

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

()

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

()

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

()

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 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan



Citra Rahayu Viandita Sari

18513166

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

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 Pada Parameter Fosfat dan Amonia Menggunakan *Software* Qual2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo, DIY” berhasil diselesaikan. Dalam penulisan laporan ini, penulis banyak mendapat doa, semangat, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Bapak Suparman dan Ibu Sri Suhartini yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan yang luar biasa hingga saat ini.
2. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Bapak Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
3. Ibu Nelly Marlina, S.T., M.T. dan Ibu Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang membantu memberi masukan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr.-Ing.Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc. selaku dosen penguji yang memberikan kritik, saran, dan arahan kepada penulis.
5. Seluruh jajaran dosen, laboran, dan staf Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah mendukung jalannya penelitian ini.
6. Teman-teman satu tim yaitu Radhita dan Haninda, yang sudah mau bekerja sama, berbagi pendapat, serta memberikan dukungan dan semangat satu sama lain.
7. Junio dan Bima yang sudah membantu dalam pengambilan sampel air di Sungai Winongo.
8. Robbi Arrofirizky yang selalu bersedia untuk mendengarkan keluhan, menghibur, dan memberikan saran, dukungan, serta doa selama penyelesaian tugas akhir ini.

9. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2018, terimakasih untuk bantuan, dukungan, dan sudah mewarnai kehidupan selama masa perkuliahan.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta,

Citra Rahayu Viandita Sari

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

CITRA RAHAYU VIANDITA SARI. River Water Quality Modeling on Phosphate and Ammonia Parameters Using Qual2Kw Software (Case Study : Winongo River, DIY). Supervised by Nelly Marlina,. S.T. M.T and Dr. Suphia Rahmawati,. S.T. M.T.

The Winongo River is one of the important rivers in the Special Region of Yogyakarta Province. This river flows through the Sleman Regency, Yogyakarta City, and Bantul Regency. Along with the increasing number of residents in DIY, the activities of the community that produce both domestic and non-domestic waste will also increase. This study aims to analyze the water quality of the Winongo River on the parameters of phosphate and ammonia and to obtain alternative water quality management from the simulation results of Qual2Kw modeling, which can reduce the pollutant load of phosphate and ammonia. The use of *software* is done to make it easier to simulate changes in the upstream to downstream areas. From the research results, it was found that the concentration of phosphate was 0.250 mg/L–0.980 mg/L. While the concentration of ammonia is 0.053 mg/L – 0.460 mg/L. The simulation results of the combination of pollutant load modification and local oxygenation scenarios are effective in reducing phosphate and ammonia concentrations. To improve the water quality of the Winongo River, it is necessary to optimize the service and performance of WWTPs in residential areas in segments 2, 3, and 4; increase oxygen in each segment, which can be in the form of terraced stone structures or waterfall buildings; plant vegetation in riparian areas and around agriculture to absorb phosphate and ammonia pollutants and their suspended solids; and use artificial floating islands technology with vetiver plants.

Key Words: Phosphate, Ammonia, Qual2kw, Water Quality Modeling, Winongo River.

ABSTRAK

CITRA RAHAYU VIANDITA SARI. Pemodelan Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter Fosfat dan Amonia Menggunakan *Software* Qual2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo, DIY). Dibimbing oleh Nelly Marlina,. S.T. M.T dan Dr. Suphia Rahmawati,. S.T. M.T.

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai penting yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai ini mengalir melewati wilayah Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di DIY, maka akan semakin bertambah pula kegiatan masyarakat yang menghasilkan limbah baik domestik maupun non domestik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air Sungai Winongo pada parameter fosfat dan amonia, dan mendapatkan alternatif pengelolaan kualitas air dari hasil simulasi pemodelan Qual2kw yang dapat menurunkan beban pencemar fosfat dan amonia. Penggunaan *software* Qual2kw dilakukan untuk memudahkan dalam mensimulasikan adanya perubahan pada area hulu hingga hilir. Dari hasil penelitian didapatkan konsentrasi fosfat sebesar 0,250 mg/L – 0,980 mg/L. Sedangkan konsentrasi amonia sebesar 0,053 mg/L – 0,460 mg/L. Hasil simulasi kombinasi skenario modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal efektif dalam menurunkan konsentrai fosfat dan amonia. Untuk meningkatkan kualitas air Sungai Winongo diperlukan pengoptimalan layanan dan kinerja IPAL pada pemukiman penduduk pada segmen 2, segmen 3, dan segmen 4; peningkatan oksigen di setiap segmen yang dapat berupa susunan batu bertingkat ataupun bangunan terjunan; penanaman vegetasi di area riparian dan di sekitar pertanian untuk menyerap pencemar fosfat dan amonia serta padatan tersuspensinya; teknologi pulau terapung buatan dengan tanaman akar wangi.

Kata Kunci: Fosfat, Amonia, Qual2kw, Pemodelan Kualitas Air, Sungai Winongo.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	xii
PERNYATAAN	xiii
KATA PENGANTAR	xiv
ABSTRACT	xvii
ABSTRAK	xviii
DAFTAR ISI	xx
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
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	5
2.1 Fosfat	5
2.2 Amonia	7
2.3 Sungai Winongo	8
2.4 Pemodelan Kualitas Air.....	10
2.5 Qual2Kw	11
2.6 Penelitian Sebelumnya	14
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Tahapan Penelitian	18
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	19

3.3 Pengumpulan Data	19
3.4 Analisis Data	22
3.4.1 Penentuan Status Mutu Air	22
3.4.2 Pemodelan Qual2Kw	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	26
4.2 Titik Sampling	26
4.3 Kondisi Hidrolik Sungai Winongo.....	29
4.4 Kondisi Sumber Pencemar	29
4.5 Kondisi Kualitas Air.....	35
4.6 Pemodelan Qual2Kw.....	50
4.6.1 Kalibrasi Model.....	50
4.6.2 Validasi Model	54
4.6.3 Simulasi Model	59
4.6.4 Perbandingan Hasil Simulasi	70
4.7 Alternatif Pengelolaan	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	76
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	88

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya.....	15
Tabel 3. 1 Lokasi Titik Sampling.....	20
Tabel 3. 2 Parameter Kualitas Air.....	22
Tabel 4. 1 Lokasi Titik Sampling.....	26
Tabel 4. 2 Kondisi Titik Sampling.....	27
Tabel 4. 3 Data Hidrolik Sungai Winongo.....	29
Tabel 4. 4 Kondisi Sumber Pencemar Sungai Winongo.....	32
Tabel 4. 5 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2020.....	37
Tabel 4. 6 Data pH Sungai Winongo Tahun 2016-2021.....	39
Tabel 4. 7 Konsentrasi Fosfat Tahun 2016-2021.....	41
Tabel 4. 8 Jumlah Penduduk di Sekitar Sungai Winongo Tahun 2016-2020.....	42
Tabel 4. 9 Jumlah Penduduk di Sekitar Sungai Winongo Tahun 2021.....	46
Tabel 4. 10 Data Amonia Sungai Winongo 2017-2021.....	46
Tabel 4. 11 Data Kualitas Sumber Pencemar.....	50
Tabel 4. 12 Perhitungan Nilai Chi Square pada Debit.....	55
Tabel 4. 13 Perhitungan Nilai Chi Square Parameter Fosfat.....	55
Tabel 4. 14 Perhitungan Nilai Chi Square Parameter Amonia.....	56
Tabel 4. 15 Perhitungan Nilai RPD pada Debit.....	57
Tabel 4. 16 Perhitungan Nilai RPD Parameter Fosfat.....	57
Tabel 4. 17 Perhitungan Nilai RPD Parameter Amonia.....	57
Tabel 4. 18 Perhitungan Nilai RMSPE pada Debit.....	58
Tabel 4. 19 Perhitungan Nilai RMSPE Parameter Fosfat.....	59
Tabel 4. 20 Perhitungan Nilai RMSPE Parameter Amonia.....	59
Tabel 4. 21 Skenario Simulasi Model.....	60
Tabel 4. 22 Modifikasi Beban Pencemar Parameter Fosfat.....	62
Tabel 4. 23 Modifikasi Beban Pencemar Parameter Amonia.....	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian	18
Gambar 3. 2 Peta Titik Lokasi Sampling	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Sketsa Sumber Pencemar	30
Gambar 4. 2 Debit Sungai Winongo	35
Gambar 4. 3 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2021	37
Gambar 4. 4 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2021	38
Gambar 4. 5 pH Sungai Winongo Tahun 2016-2021.	39
Gambar 4. 6 pH Sungai Winongo Tahun 2021	40
Gambar 4. 7 Konsentrasi Fosfat Sungai Winongo Tahun 2016-2021	42
Gambar 4. 8 Konsentrasi Fosfat Sungai Winongo Tahun 2021	44
Gambar 4. 9 Konsentrasi Amonia Sungai Winongo Tahun 2017-2021	47
Gambar 4. 10 Konsentrasi Amonia Sungai Winongo 2021	48
Gambar 4. 11 Konsentrasi Fosfat dan Amonia 2021	49
Gambar 4. 12 Model Debit Sungai Winongo	51
Gambar 4. 13 Model Fosfat Sungai Winongo	52
Gambar 4. 14 Model Amonia Sungai Winongo.....	52
Gambar 4. 15 Model Skenario 1 Parameter Fosfat	60
Gambar 4. 16 Perbandingan Fosfat Sebelum dan Setelah Skenario 1	61
Gambar 4. 17 Model Skenario 1 Parameter Amonia	63
Gambar 4. 18 Perbandingan Amonia Sebelum dan Setelah Skenario 1	63
Gambar 4. 19 Model Skenario 2 Parameter Fosfat	65
Gambar 4. 20 Perbandingan Fosfat Sebelum dan Sesudah Skenario 2	65
Gambar 4. 21 Model Skenario 2 Parameter Amonia	66
Gambar 4. 22 Perbandingan Amonia Sebelum dan Setelah Skenario 2	67
Gambar 4. 23 Model Skenario 3 Parameter Fosfat	68
Gambar 4. 24 Perbandingan Fosfat Sebelum dan Setelah Skenario 3	68
Gambar 4. 25 Model Skenario 3 Parameter Amonia	69
Gambar 4. 26 Perbandingan Amonia Sebelum dan Setelah Skenario 3	70
Gambar 4. 27 Perbandingan Hasil Skenario Parameter Fosfat	71
Gambar 4. 28 Perbandingan Hasil Skenario Parameter Amonia	71
Gambar 4. 29 Perbandingan Persentase Penurunan 3 Skenario.....	72

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hidrolik Sungai Winongo	88
Lampiran 3 Data Klimatologis Sungai Winongo.....	88
Lampiran 4 Data Kualitas Sumber Pencemar Berdasarkan Penelitian Sebelumnya	89
Lampiran 5 Data Kualitas Air Sungai Winongo Parameter Fosfat dan Amonia ..	92
Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan Sampling	93
Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian Fosfat dan Amonia	94
Lampiran 8 Status Kelas Air Sungai Winongo	95
Lampiran 9 Baku mutu air kelas II PP No 22 Tahun 2021	95
Lampiran 10 Tabel χ^2 metode Chi Square	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fosfat dan Amonia adalah bagian dari parameter kimia yang digunakan dalam penentuan kualitas air. Parameter tersebut dapat mengindikasikan pencemaran suatu perairan. Bahan pencemar yang masuk dapat berasal dari berbagai sumber seperti limbah domestik, industri, pertanian, dan perikanan. Keadaan fisik pencemar antara satu sumber dengan yang lainnya dapat berbeda-beda, sehingga dampak yang terjadi terhadap lingkungan dapat bervariasi. Konsentrasi fosfat dan amonia yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya kadar oksigen di dalam air, berkurangnya keanekaragaman hayati, turunnya kualitas air, dan meningkatkan kemungkinan munculnya dan berkembangnya jenis fitoplankton berbahaya, yang biasa disebut sebagai alga bloom atau HABs berbahaya, dan dapat berdampak negatif terhadap kehidupan di air (Hamuna et al., 2018).

Sungai Winongo merupakan salah satu sungai di Yogyakarta yang mempunyai peran penting untuk masyarakat. Berbagai aktivitas masyarakat seperti mandi, mencuci, kegiatan perikanan, dan pertanian di sungai ini (Kudubun et al., 2020) dapat memberikan masukan bahan pencemar fosfat dan amonia sehingga menyebabkan kualitas airnya menjadi menurun, serta bagi biota air dan manusia yang mengkonsumsinya dengan perlahan menimbulkan dampak secara langsung ataupun tidak langsung (Rosdiansyah, 2019). Sesuai dengan pemantauan Dinas Lingkungan Hidup DIY tahun 2020 yang menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Winongo telah melebihi baku mutu yang diperbolehkan PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dengan parameter Fosfat (PO_4^{3-}) memiliki kadar konsentrasi sebesar 1,85 mg/L dan parameter Amonia (NH_3) memiliki kadar konsentrasi sebesar 0,6 mg/L. Standar baku mutu yang ditetapkan untuk air Kelas II yaitu untuk parameter Fosfat dan Amonia adalah 0,2 mg/L.

Pemantauan kualitas air dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS), karena pemantauan kualitas air dapat dilakukan untuk mengetahui perubahan kualitas suatu perairan (Pratiwi et al., 2019). Model yang tepat untuk menyederhanakan kondisi kualitas air sungai adalah model Qual2Kw. Model Qual2Kw adalah model modern yang mensimulasikan dan menyederhanakan representasi grafis dari kondisi kualitas air sungai serta memiliki nilai validasi yang cukup baik untuk merepresentasikan kualitas air sungai (Rezagama et al., 2019).

Dengan adanya fakta yang didapat dari sumber data sekunder mengenai penurunan kualitas air akibat pencemaran dapat mempengaruhi pihak yang berada disekitar sungai yang tercemar dan pemangku kebijakan Sungai Winongo, inilah yang dijadikan dasar dilakukannya penelitian ini. Dengan mengidentifikasi secara sistem komputerisasi menggunakan *software* Qual2Kw dan membuat skenario untuk memprediksi kualitas air Sungai Winongo yaitu dengan memodifikasi beban pencemar, oksigenasi lokal, dan kombinasi modifikasi dan oksigenasi lokal diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan strategi pengelolaan kualitas air sungai sehingga badan air dapat dikelola dengan baik.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi kualitas air Sungai Winongo pada parameter Fosfat dan Amonia?
2. Bagaimana sumber pencemar *point source* dan *diffuse source* yang masuk ke aliran sungai Winongo?
3. Bagaimana strategi alternatif terhadap pengelolaan kualitas air Sungai Winongo jika konsentrasi Fosfat dan Amonia melebihi baku mutu?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisa kualitas air Sungai Winongo berdasarkan parameter Fosfat dan Amonia.
2. Melakukan identifikasi terhadap sumber pencemar *point source* dan *diffuse source* yang masuk ke Sungai Winongo.
3. Mengetahui strategi alternatif terhadap pengelolaan kualitas air Sungai Winongo dengan menggunakan simulasi model Qual2Kw.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

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 DIY terkait mengatasi permasalahan pencemaran di Sungai Winongo.
3. Memberikan informasi bagi peneliti selanjutnya mengenai kualitas air Sungai Winongo.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Sungai Winongo bagian hulu hingga hilir.
2. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2021 hingga Januari 2022.
3. Pengambilan sampel air Sungai Winongo mengacu pada SNI 9689.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan.
4. Parameter pencemar air yang di uji adalah Fosfat sesuai SNI 6989:31.2005 tentang Cara Uji Kadar Fosfat Dengan Spektrofotometer Secara Asam Askorbat, dan Amonia sesuai SNI 6989:30.2005 tentang Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat

5. Baku mutu air sungai kelas II berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan hidup
6. *Software* yang digunakan untuk pemodelan air sungai adalah Pemodelan Qual2Kw versi 5.1.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fosfat

Fosfor (P) merupakan senyawa penting yang berperan sebagai nutrisi dalam reaksi biokimia pada tubuh makhluk hidup (Rumhayati, 2018). Di alam fosfor bersumber dari adanya proses pelapukan batuan yang mengalami erosi dan melarutkan mineral pembawa fosfor dan dilepaskan ke lingkungan tanah dan air (Patty et al., 2019). Di perairan, fosfor berbentuk dalam senyawa fosfat, yang terbagi atas fosfat terlarut dan fosfat partikulat. Fosfat terlarut terdiri dari fosfat organik dan fosfat anorganik (ortofosfat dan polifosfat) (Hashim et al., 2019). Walaupun bentuk fosfat berbagai macam, yang dimanfaatkan langsung oleh alga di badan air adalah ortofosfat dan fosfat lain yang mudah berubah melalui proses biologis (proses enzimatik), fisika (desorpsi), dan kimia (pelarutan) menjadi ortofosfat (Rumhayati, 2018). Namun, bentuk fosfat yang paling stabil secara termodinamika dan dominan adalah ortofosfat, yang mewakili sekitar 50% dari jumlah total fosfat, bentuk lain terdiri dari 50% sisanya. Karena ketidakstabilan polifosfat dalam air, ia mengalami reaksi kimia yang mengubah menjadi ortofosfat membuat ortofosfat menjadi bentuk fosfat yang paling umum diidentifikasi di laboratorium (Hashim et al., 2019).

Sejak pergantian abad terakhir, dunia telah menyaksikan revolusi industri dan pertanian, yang secara signifikan meningkatkan produksi limbah fosfat. Seperti industri pertanian di Cina mengkonsumsi 300.000.000 kg/tahun pestisida untuk meningkatkan produksi tanaman, yang pada akhirnya menghasilkan sejumlah besar air drainase yang terkontaminasi fosfat. Selain itu penggunaan pupuk secara berlebihan secara global dan praktik pertanian intensif telah menjadikan pertanian sebagai sumber fosfat utama buatan manusia. Selain itu, dengan meningkatnya populasi dunia, banyak negara terus mengimpor pakan ternak dan pupuk fosfat dalam jumlah besar, sejarah panjang penggunaan produk yang mengandung fosfat

ini telah meningkatkan kadar fosfat dalam ekosistem air tawar di beberapa negara hingga setidaknya 75% lebih besar dari tingkat pra-industri. Selain industri pertanian, aktivitas manusia lainnya, seperti konsumsi bahan bakar fosil, deterjen, komestik, dan penggunaan fosfat lainnya, memiliki lebih dari dua kali lipat jumlah fosfat yang terbuang ke lingkungan melalui air limbah kota dan industri (Hashim et al., 2019).

Fosfat mempunyai penting bagi pertumbuhan dan metabolisme fitoplankton, karena fitoplankton adalah salah satu indikator untuk mengevaluasi tingkat kesuburan dan kualitas perairan (Patty et al., 2019). Namun konsentrasi fosfat yang berlebihan dalam air akan menimbulkan beberapa masalah lingkungan. Keberadaan fosfat yang berlebihan, mendorong pertumbuhan alga (fenomena eutrofikasi), yang pada akhirnya dapat membatasi sinar matahari dan aliran karbon dioksida yang digunakan oleh fitoplankton untuk berfotosintesis (Anshari, 2022) selanjutnya akan menimbulkan penurunan kandungan oksigen di lingkungan perairan sehingga dapat menyebabkan kematian pada biota air (Hamuna et al., 2018). Selain itu, pertumbuhan alga yang subur ini juga dapat menghasilkan senyawa racun yang dapat meracuni badan air (Rumhayati, 2018). Oleh karena itu, jika konsentrasi fosfat di suatu perairan telah melebihi baku mutu maka perairan tersebut mengalami penurunan kualitas air dan berdampak negatif bagi biota airnya (Hamuna et al., 2018).

Menurut Laporan Dinas Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta (DLH DIY) tahun 2019, sesuai dengan peruntukannya, Sungai Winongo masuk dalam klasifikasi baku mutu air kelas II yang peruntukannya digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, pertanaman, atau peruntukan lain yang kegunaannya memerlukan syarat yang sama. Agar dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya, maka baku mutu kadar fosfat yang diperbolehkan menurut PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk Sungai Winongo yang masuk dalam kategori kelas II adalah sebesar 0,2 mg/L.

2.2 Amonia

Nitrogen merupakan nutrisi penting untuk pertumbuhan organisme air dan memainkan peran kunci dalam ekosistem perairan (Lin et al., 2019). Amonia merupakan senyawa nitrogen yang berasal dari hasil penguraian bahan organik seperti sisa pakan, feses dan biota akuatik yang mati oleh bakteri pengurai (Wahyuningsih et al., 2020). Di perairan, amonia yang terukur adalah amonia total ($\text{NH}_3\text{-N}$) terdiri atas amonium (NH_4^+) dan amonia bebas (NH_3) (Wibowo, 2021).

Amonia bebas lebih bersifat racun jika konsentrasinya melebihi batas, sedangkan amonium bersifat netral dan penting untuk pertumbuhan fitoplankton karena amonium lebih disukai digunakan daripada nitrat karena tidak ada energi tambahan yang diperlukan untuk reduksi nitrat saat menggunakan amonium sebagai sumber nitrogen. Oleh karena itu, toksisitas terhadap biota umumnya ditentukan oleh amonia bebas daripada amonium. Namun, amonium juga berkontribusi terhadap toksisitas amonia total dalam kondisi tertentu (Ding et al., 2021). Keduanya bergantung pada pH dan suhu, semakin tinggi suhu dan pH, maka semakin tinggi konsentrasi amonia sehingga perairan tersebut menjadi toksik (Ding et al., 2021) dan toksisitas ini akan meningkat diiringi kadar oksigen terlarut yang mengalami penurunan sehingga dapat menyebabkan kematian biota air (Wibowo, 2021).

Sumber amonia di perairan dapat meningkat jika perairan tersebut tercemar limbah pertanian, domestik, dan perikanan. Hal ini dikarenakan amonia terdapat dalam kotoran manusia dan hewan, sisa-sisa tumbuhan, pupuk urea, deterjen (Christiana et al., 2020), serta pakan ikan dan feses yang terlepas ke lingkungan perairan (Bayu et al., 2018). Selain dapat meracuni biota air, kadar amonia yang melebihi baku mutu juga dapat berdampak buruk bagi manusia, gejala ini bisa diakibatkan apabila mengkonsumsi air yang mengandung ammonia dalam waktu yang lama, jika konsentrasinya 400-700 mg/L amonia dapat menyebabkan efek jangka pendek seperti iritasi di dalam organ tenggorokan, kulit, mata, dan pernafasan. Jika konsentrasinya diatas 5.000 mg/L dapat mengakibatkan kematian (Hikmah, 2021).

Berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, standar baku mutu air untuk yang diperbolehkan Sungai Winongo yang masuk dalam kategori air kelas II adalah sebesar 0,2 mg/L. Oleh karena itu penting untuk dilakukan pemantauan konsentrasi amonia agar air sungai dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya.

2.3 Sungai Winongo

Sungai Winongo adalah salah satu anak Sungai Opak dan memiliki peran penting di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Sungai dengan panjang 48,70 km dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 88,12 km² mengalir melewati Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Dengan titik hulu yang berada di Lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak. Sungai ini memiliki Daerah Aliran Saluran (DAS) yang meliputi :

- Kabupaten Sleman :Kecamatan Turi, Kecamatan Sleman, dan Kecamatan Mlati.
- Kota Yogyakarta :Kecamatan Tegaltrejo, Kecamatan Gredongtengen, Kecamatan Mantijeron, Kecamatan Wirobrajan dan Kraton (batas).
- Kabupaten Bantul :Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis dan Kecamatan Kretek.

Pola aliran sungai ini bersifat radial dan dendretik, di wilayah tengah dan hilir memiliki pola dendretik sedangkan wilayah hulu memiliki pola radial. Sub DAS memiliki ketinggian yang beragam dengan rentang antara 34 m -1558 m dpl. Kerapatan alirannya sebesar 2,1. Ini menunjukkan bahwa sub sub DAS Winongo relatif aman dari penggenangan (Asdak, 2018).

Secara ekologis, biologis, dan ekonomis, sungai ini mempunyai peran yang dapat berpengaruh bagi manusia (Kudubun et al., 2020). Sungai Winongo dijadikan sebagai penunjang dan kebutuhan dalam memenuhi kehidupan sehari-hari oleh masyarakat disekitarnya. Masyarakat memanfaatkan sungai ini untuk sumber air minum, kegiatan pertanian, perikanan, rumah tangga, pembuangan limbah, serta kegiatan tempat wisata. Seiring dengan adanya penambahan jumlah penduduk, perubahan tata guna lahan, dan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan

sehingga pemanfaatan sungai mulai tidak terkontrol dapat berpengaruh terhadap kualitas air Sungai Winongo (DLH Bantul, 2020).

Berdasarkan Laporan Kinerja Dinas Lingkungan Hidup Yogyakarta Tahun 2020, kondisi indeks pencemaran Sungai Winongo berada pada status cemar ringan dan cemar sedang. Hal ini dikarenakan adanya kepadatan penduduk di daerah sempadan sungai sehingga potensi buangan limbah domestik menjadi lebih besar, selain itu pencemaran ini juga dipengaruhi oleh adanya buangan limbah dari beberapa industri rumah tangga ataupun industri dengan skala yang lebih besar yang berada disekitar Sungai Winongo.

Menurut Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang dimaksud dengan pencemaran air adalah masuknya macam benda seperti makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga air tidak bisa dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya. Penyebab pencemaran air bisa dikarenakan oleh faktor kesengajaan ataupun ketidaksengajaan, tetapi faktor yang paling banyak menjadi penyebab pencemaran air adalah akibat dari kegiatan manusia. Membuang sampah, limbah industri berbahaya yang tidak diolah, dan hal yang dapat mencemari sungai, merupakan perilaku tidak bertanggung jawab dan tidak memperdulikan kebersihan dan merusak lingkungan sungai (Yati, 2021).

Suatu lingkungan yang mengindikasikan bahwa air telah mengalami pencemaran dapat dikenali dengan tanda-tanda atau perubahan yang dapat diamati oleh 3 indikator berikut :

- Secara fisik, pencemaran air diamati berdasarkan bau atau aroma yang dikeluarkan air, kekeruhan atau kejernihan air, perubahan warna, suhu, dan rasa air.
- Secara kimiawi, pencemaran air diamati berdasarkan nilai pH. Air dikatakan normal dan memenuhi syarat apabila memiliki nilai pH dalam rentang 6,5 sampai 7,5 dan dilihat dari zat kimia terlarut dalam air.
- Secara biologis, pencemaran air diamati berdasarkan keberadaan mikroorganisme dalam air sungai, terutama adanya bakteri patogen perlu diperhatikan dan dilakukan pemantauan (Yati, 2021).

Pencemaran air sungai mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air sungai. Jika air mengalami pencemaran dan perubahan kualitas, maka air tersebut tidak bisa lagi dimanfaatkan sebagaimana peruntukannya atau terjadi perubahan fungsi. Pemanfaatan sumber-sumber air memerlukan kualitas air sebagai karakteristik mutu air (Rahmat et al., 2018)

2.4 Pemodelan Kualitas Air

Model merupakan sebuah representasi realita yang kompleks dan sulit diprediksi menjadi bentuk sederhana. Proses penjabaran suatu model disebut sebagai pemodelan (modeling). Pemodelan diartikan sebagai suatu proses menerima, memformulasikan, dan menampilkan kembali persepsi dunia nyata.

Pemodelan dilakukan dengan pendekatan subyektif sehingga pengamatan atau pengukuran tidak semua dimasukkan tetapi menjaga supaya aspek-aspek penting yang ada di realita tetap terlihat. Dengan adanya representasi dunia nyata dalam bentuk model akan memudahkan menentukan berbagai skenario untuk menjawab pertanyaan-pernyataan permasalahan di dunia nyata. Faktor utama dalam membangun model untuk menentukan ketepatan dan kualitas model adalah data. Data yang ada dalam model dapat diubah untuk mengetahui faktor penyebab yang mungkin muncul sebagai akibat terjadinya suatu perubahan (Sulistyo, 2017).

Dalam pemantauan kualitas air, harus dipastikan bahwa data yang dihasilkan terjamin kebenarannya agar dapat mewakili keadaan yang sebenarnya, sehingga dapat berguna bagi siapapun yang berkepentingan (KemenPUPR, 2014). Pemodelan ini diperbolehkan oleh negara, hal tersebut diatur oleh negara dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 metode perhitungan yang telah teruji secara ilmiah, yaitu metode neraca massa, metode streeter-phelps, pemodelan numerik terkomputerisasi dan metode lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi asalkan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2.5 Qual2Kw

Qual2Kw adalah sebuah *software* yang bisa digunakan untuk membantu dalam memprediksi kualitas air sungai yang ditampilkan dalam bentuk grafik (Yanti et al., 2022). *Software* ini merupakan pengembangan dari Qual2E yang dikembangkan pada tahun 2003 oleh Pelletier dan Chapra yang dijalankan menggunakan Microsoft Excel dengan bahasa pemrograman *Visual Basic for Application* (VBA) (Elida Novita et al., 2022). Penggunaan Qual2kw untuk memodelkan kualitas air didasarkan pada keunggulannya yang mampu mensimulasikan beban pencemar yang masuk dan keluar. Berdasarkan bentuk sebarannya, sumber pencemar air terdiri dari sumber tertentu (*point source*) dan sumber tak tentu (*diffuse source*).

a. Sumber Tertentu (*Point source*)

Sumber pencemar tertentu (*point source*) merupakan sumber pencemar air yang lokasinya dapat ditentukan dengan jelas. Ini dapat dilihat pada titik tertentu di sepanjang badan air penerima, seperti dari pipa buangan air limbah industri yang tidak mengolah limbahnya, dari buangan hasil pengolahan limbah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), dan anak sungai (Rosmeiliyana, 2021).

b. Sumber Tak Tentu (*Diffuse source*)

Sumber pencemar tak tentu (*diffuse source*) merupakan sumber pencemar air yang lokasinya tidak dapat ditentukan secara jelas. Biasanya berasal dari kegiatan individu atau domestik penggunaan barang-barang konsumsi yang limbahnya relatif kecil, kegiatan pertanian, peternakan dan perikanan, serta dari industri kecil/menengah (Rosmeiliyana, 2021).

Untuk menjalankan simulasi dibutuhkan beberapa data yaitu temperatur udara, tutupan awan, kecepatan angin, elevasi dan koordinat setiap ujung ruas sungai (*reach*), lebar sungai, kelerengan sungai dan tebing sungai (*slope* dan *side slope*), koefisien hambatan aliran sungai, zona waktu (berkaitan dengan lamanya penyinaran matahari), panjang dan debit aliran sungai utama, lokasi pemantauan kualitas air sungai (kilometer), rincian aliran sungai yang masuk dan keluar sungai utama beserta debit aliran dan lokasi (kilometer), lokasi (kilometer) setiap sumber pencemaran beserta debit aliran dan kualitas limbahnya, pemantauan kualitas air

limbah dengan parameter yang sama dengan parameter kualitas air (Syafi'i et al., 2011).

Kelebihan Qual2Kw diantaranya dapat digunakan untuk mensimulasikan perubahan beberapa parameter kualitas air yaitu suhu, pH, DO, nitrogen organik, nitrogen ammonia, nitrit dan nitrat nitrogen, nitrogen total, fosfor organik, fosfor anorganik, total fosfor, fitoplankton, bottom algae, permintaan biokimia karbon, dan permintaan sedimen oksigen; dapat mensimulasikan beberapa komponen yang tidak dapat dimasukkan dalam *software* secara umum seperti pH, alkalinitas, padatan tersuspensi (suspended solid), bakteri patogen, dan alga dasar; dapat mensimulasikan pengaruh adanya penambahan dan pengurangan (Elida Novita et al., 2022); adanya fitur kalibrasi otomatis meringankan pekerjaan kalibrasi dengan metode trial and error manual yang memerlukan waktu lama (Syafi'i, M., & Masduqi, 2011). Skenario simulasi ini berfungsi untuk mengetahui perilaku pencemaran dan dampaknya terhadap kualitas air sehingga dapat diambil tindakan tepat untuk mengatasinya (Rezagama et al., 2019)

Meskipun memiliki kelebihan, model Qual2Kw juga memiliki kekurangan diantaranya tidak dapat diterapkan untuk parameter logam di air dan daerah aliran sungai (DAS) dataran tinggi. Model Qual2Kw saat ini hanya dapat digunakan untuk parameter organik dan anorganik saja, untuk DAS dataran tinggi dikhawatirkan hasilnya kurang akurat dikarenakan memerlukan banyak data spasial dan sulit untuk mendapat yang akurat (Bui et al., 2019).

Reaksi Konstituen

Hubungan matematis yang menggambarkan reaksi individu dan konsentrasi variabel keadaan model.

Fosfor Anorganik (p_i), fosfor anorganik meningkat karena hidrolisis fosfor organik dan respirasi fitoplankton. Itu hilang melalui fotosintesis tanaman. Selain itu, kerugian pengendapan fosfor anorganik hilang karena penyerapan ke partikel yang dapat mengendap seperti besi oksihidroksida:

$$S_{p_i} = \text{DOPHydr} + r_{pa} \text{PhytoResp} - r_{pa} \text{PhytoPhoto} - \text{IPSettl} + [\text{J}_{\text{PO}_4} - \text{BotAlgUptakeP}(\text{PUpWCfrac})] \frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (1)$$

dimana :

$$\text{IPSettl} = \frac{v_{ip}}{H} p_i \quad (2)$$

di mana v_{ip} = kecepatan pengendapan fosfor anorganik [m/d].

Fraksi serapan P dari kolom air oleh tanaman bawah dijelaskan oleh PUpWCfrac. Untuk perifiton, nilai PUpWCfrac adalah 1 karena 100% penyerapan nutrisinya terjadi dari kolom air. Untuk makrofita, nilai PUpWCfrac mungkin kurang dari 1.

Amonia Nitrogen (n_a), nitrogen amonia meningkat karena hidrolisis nitrogen organik dan respirasi fitoplankton. Itu hilang melalui nitrifikasi dan fotosintesis tanaman :

$$S_{n_a} = \text{ONHydr} + r_{na} \text{PhytoResp} - \text{NH4Nitrif} - r_{na} P_{ap} \text{PhytoPhoto} + [\text{J}_{\text{NH}_4} - P_{ab} \text{BotAlgUptakeN}(\text{NUpWCfrac})] \frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (3)$$

Tingkat nitrifikasi amonia dihitung sebagai :

$$\text{NH4Nitrif} = F_{oxna} k_n(T) n_a \quad (4)$$

di mana $k_n(T)$ = laju nitrifikasi yang bergantung pada suhu untuk amonia nitrogen [1/d] dan F_{oxna} = redaman karena oksigen rendah [tanpa dimensi].

Koefisien P_{ap} dan P_{ab} adalah preferensi untuk amonium sebagai sumber nitrogen untuk fitoplankton dan alga bawah, masing-masing :

$$P_{ap} = \frac{n_a n_n}{(k_{hnxp} + n_a)(k_{hnxp} + n_n)} + \frac{n_a k_{hnxp}}{(n_a + n_n)(k_{hnxp} + n_n)} \quad (5)$$

$$P_{ab} = \frac{n_a n_n}{(k_{hnxb} + n_a)(k_{hnxb} + n_n)} + \frac{n_a k_{hnxb}}{(n_a + n_n)(k_{hnxb} + n_n)} \quad (6)$$

dimana k_{hnxp} = koefisien preferensi fitoplankton untuk amonium [mgN/m³] dan k_{hnxb} = koefisien preferensi alga bawah untuk amonium.

Fraksi serapan N dari kolom air oleh tanaman bawah dijelaskan oleh NUpWCfrac. Untuk perfiton, nilai NUpWCfrac adalah 1 karena 100% penyerapan nutrisinya terjadi dari kolom air. Untuk makrofita, nilai NUpWCfrac mungkin kurang dari 1.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Berikut beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan *software* Qual2kw untuk kualitas air dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Chau Ngoc Tran, Chatpet Yossapol, Netnapid Tantemsapya, Preeyaphorn Kosa Phatsakrit Kongkhiaw	2022	<i>Water Quality Simulation and Dissolved Oxygen Change Scenarios in Lam Takhong River in Thailand</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Oksigen terlarut (DO) di Sungai Lam Takhong secara bertahap mencapai nilai nol selama musim kemarau menyebabkan kualitas yang tidak sesuai untuk digunakan. 2. Oksigenasi lokal menyebabkan fluktuasi kadar oksigen terlarut di sepanjang sungai dan konsentrasi oksigen terlarut menurun di hilir sungai sehingga kualitas air menjadi menurun.
2	Narges Raeisi, Shahram Morad, dan Miklas Scholz	2022	<i>Surface Water Resources Assessment and Planning with the QUAL2KW Model: A Case Study of the Maroon and Jarahi Basin (Iran)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sungai berada pada kondisi kritis karena pembuangan air limbah perkotaan dan industri, serta tingginya konduktivitas akibat limpasan lahan pertanian. 2. Konsentrasi DO bergantung pada laju aliran sungai, saat musim penghujan cenderung tinggi dibandingkan musim kemarau.
3	Zelalem Abera Angello, Beshah M. Behailu, dan Jens Tränckner	2021	<i>Selection of Optimum Pollution Load Reduction and Water Quality Improvement Approaches Using Scenario Based Water Quality Modeling in Little Akaki River, Ethiopia</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan skenario modifikasi <i>point source</i>, <i>diffuse source</i>, modifikasi gabungan <i>point source</i> dan <i>diffuse source</i>, penerapan oksigenator lokal dan jalur ikan menggunakan landai batuan bertingkat, dan skenario terintegrasi. 2. Semua skenario individu tidak berhasil dan karenanya digunakan integrasi skenario dengan menggabungkan semua skenario yang memberikan tingkat pengurangan beban polutan yang relatif lebih tinggi.

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
4	Dhilla'ul Haq	2021	Analisis Daya Tampung Beban Cemar TSS dan Fosfat Di Bagian Tengah Sungai Winongo Dengan Metode Qual2Kw	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan 4 simulasi skenario menurut kondisi eksisting, estimasi kualitas air sungai tahun 2026, kondisi awal, sesuai baku mutu, dan trial & error dengan beban pencemar maksimum. 2. Sungai Winongo tergolong sungai tercemar dengan persentase beban pencemar yang harus diturunkan diatas 50%.
5	Novia Lusiana, Akhmad Adi Sulianto, Luhur Akbar Devianto, Septyana Sabina	2020	Penentuan Indeks Pencemaran Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan <i>Software Qual2Kw</i> (Studi Kasus Sungai Brantas Kota Malang)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 10 dari 12 lokasi sampling berstatus pencemaran ringan dan 2 lokasi sampling berstatus pencemaran sedang. 2. BOD, Nitrat, Ammonia dan Phosphat adalah konsentrasi pencemaran yang banyak diterima.
6	Handayani Lestari, Riyanto Haribowo, Emma Yuliani	2019	<i>Determination of Pollution Load Capacity Using Qual2Kw Program on The Musi River Palembang</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parameter kualitas air yang disimulasikan adalah DO, BOD₅, NH₃-N, dan PO₄. 2. Simulasi yang digunakan yaitu kondisi eksisting, limbah industri diasumsikan telah diolah sehingga memenuhi baku mutu air limbah dan juga tidak ada limbah domestik yang masuk ke badan sungai, dan keadaan sungai dipenuhi dengan beban pencemar. 3. Kapasitas beban pencemaran sungai masih cukup besar dengan nilai kapasitas sebagai berikut: 12.948 kgDO/hari, 25.205 kgBOD₅/hari, 3.207 kg/NH₃-N hari, 642 kgPO₄/hari.

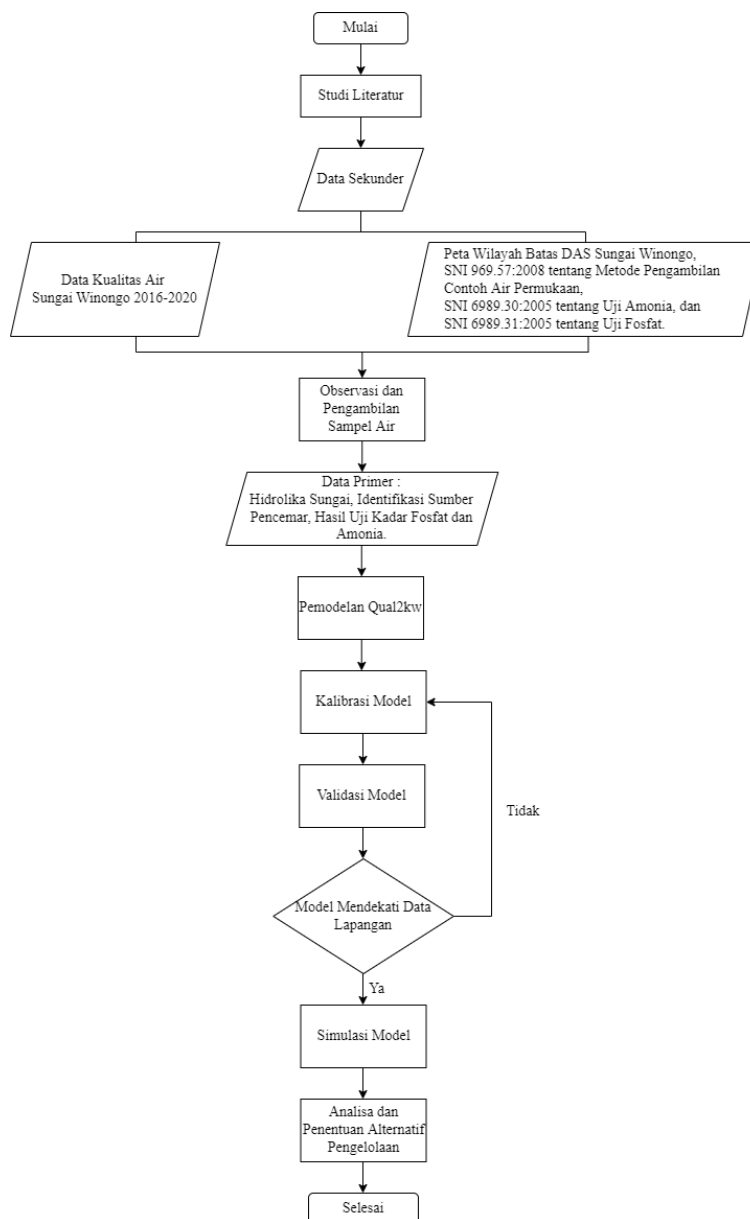
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

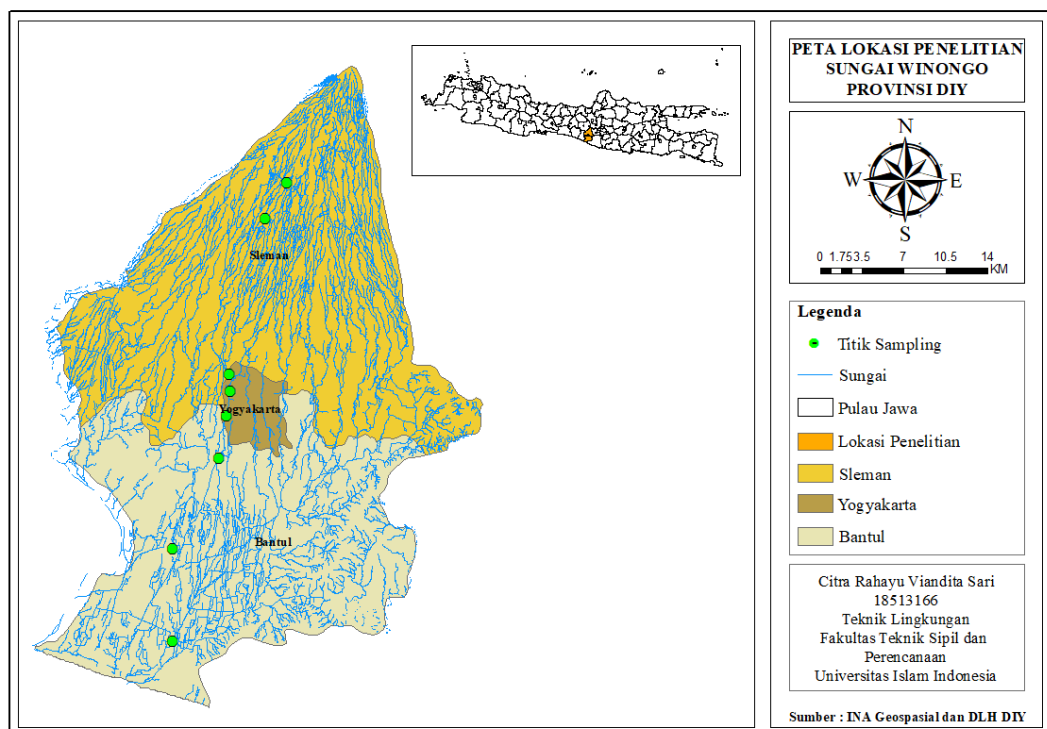
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2021 sampai dengan bulan Maret 2022. Lokasi penelitian terletak di Sungai Winongo bagian hulu hingga hilir dengan 8 titik pengambilan sampel dan 7 segmen yang dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Peta Titik Lokasi Sampling

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dan data primer.

a. Data Sekunder

Data sekunder berupa literatur yang diperoleh dari website resmi instansi pemerintahan maupun literatur lain terkait penelitian seperti berikut:

1. Dinas Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta (DLH DIY)

Data yang diperoleh dari DLH DIY yakni data pemantauan kualitas air Sungai Winongo tahun 2016-2020. Data ini juga digunakan untuk penentuan segmentasi sungai dan titik sampling. Segmentasi sungai

dilakukan untuk mengidentifikasi sumber pencemar *point source* (anak sungai, saluran perikanan, saluran drainase) dan *diffuse source* (limbah domestik, limbah pertanian) yang memiliki potensi memasukkan cemaran ke dalam sungai. Berikut adalah lokasi titik sampling penelitian ini yang disesuaikan dengan titik pemantauan Sungai Winongo oleh DLH DIY, dapat dilihat pada table 3.1. berikut:

Tabel 3. 1 Lokasi Titik Sampling

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

Sumber : Data Pemantauan Sungai DLH DIY, 2021.

2. Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika Daerah Istimewa Yogyakarta (BMKG DIY)

Data yang diperoleh dari BMKG DIY yakni data klimatologis seperti temperatur udara, tutupan awan, kecepatan angin, dan persen radiasi.

3. INA Geospasial

INA Geospasial digunakan untuk mendapatkan peta wilayah DAS Winongo, sehingga dapat diketahui administrasi, topografi, dan penggunaan lahan di sekitar aliran Sungai Winongo.

4. Badan Standarisasi Nasional (BSN)

Data yang diperoleh dari BSN berupa aturan Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait pengambilan sampel air dan pengujian konsentrasi fosfat dan amonia. Pengambilan sampel air sungai dilakukan pada musim hujan, menggunakan metode *grab sample* yaitu air diambil satu kali pada setiap lokasi yang didasarkan pada SNI 9689.57:2008 tentang

Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Sedangkan pengujian konsentrasi fosfat dilakukan berdasarkan SNI 6989.31: 2005 dan pengujian amonia sesuai SNI 6989.30: 2005.

b. Data Primer

Data primer didapatkan dari hasil pengukuran langsung parameter lapangan, pengukuran parameter kualitas air di laboratorium, dan identifikasi sumber pencemar.

1. Data Hidrolika Sungai

Data hidrolika mencakup kondisi fisik Sungai Winongo yaitu lebar sungai, kedalaman, kecepatan aliran, dan debit. Pengukuran dilakukan secara sederhana atau simplifikasi dikarenakan kondisi sungai pada musim hujan tidak memungkinkan untuk dijangkau. Cara yang dilakukan untuk mengukur lebar sungai yaitu dengan mengukur lebar jembatan karena titik sampling berada di bawah jembatan. Untuk mengukur kedalaman sungai yaitu dengan memasukkan tali yang diberi pemberat, kemudian mengukur menggunakan meteran pada bagian tali yang basah. Sedangkan untuk mengukur kecepatan aliran dilakukan dengan mengalirkan sterofom dengan jarak 10 meter kemudian dihitung waktu tempuhnya, kecepatan aliran dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

V = Kecepatan (m/s)

s = Jarak Tempuh (m)

t = Waktu Tempuh (s)

Selanjutnya menghitung debit sungai yang didapatkan dengan rumus berikut :

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

Keterangan :

Q = Debit Sungai (m³/s)

V = Kecepatan Aliran Sungai (m/s)

A = Luas Penampang Sungai (m²)

Data kemiringan saluran atau slope juga diperlukan dalam penginputan model. Nilai kemiringan dapat dihitung dengan rumus berikut :

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

2. Data Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diujikan pada penelitian ini adalah Fosfat dan Amonia. Berikut rincian data primer yang dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Parameter Kualitas Air

No	Parameter	Satuan	Metode	Alat	Regulasi
1	Fosfat	mg/L	Spektrofotometri <i>UV-Visible.</i>	Spektrofotometer	SNI 6989.31: 2005
2	Amonia	mg/L	Spektrofotometri <i>UV-Visible.</i>	Spektrofotometer	SNI 6989.30: 2005
3	pH	-	Portable	pH meter	SNI 06-6989. 11- 2004
4	Suhu	°C	Portable	Thermometer	SNI 06-6989. 23- 2005
5	Kecepatan Aliran	m/s	Portable	1 set alat pengukur kecepatan aliran	SNI 8066:2015

3.4 Analisis Data

3.4.1 Penentuan Status Mutu Air

Analisis data hasil pengujian laboratorium pada parameter fosfat dan amonia dilakukan secara deskriptif , yaitu dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan nilai baku mutu kualitas air yang sesuai dengan Sungai Winongo yaitu kelas II pada Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

3.4.2 Pemodelan Qual2Kw

Analisis data menggunakan *software* Qual2Kw versi 5.1 dengan parameter fosfat dan amonia. Prosesnya dilakukan dengan beberapa tahapan berikut ini :

1. Input Data

Data yang diinputkan dalam *software* Qua2Kw diantaranya debit, suhu, kecepatan angin, tutupan awan, dan data sumber pencemar *point source* dan *diffuse source*.

2. Kalibrasi Model

Kalibrasi diperlukan untuk menyesuaikan hasil model dengan data lapangan. Kalibrasi dilakukan dengan cara *trial error* dan *running* program sampai hasilnya mendekati data lapangan.

3. Validasi Model

Validasi dilakukan untuk mengetahui keakuratan data model dan data lapangan. Validasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan 3 metode sebagai berikut :

a. *Chi Square*

Persamaan yang digunakan adalah :

$$x^2 = \sum_{r=0}^n \frac{(\text{Nilai Observasi} - \text{Nilai Model})^2}{\text{Nilai Model}} \quad (1)$$

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).

b. *Relative Precentage Difference (RPD)*

Persamaan yang digunakan adalah :

$$RPD = \frac{(C_{sim} - C_{obs})}{C_{obs}} \times 100\% \quad (2)$$

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 et al., 2020)

c. *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE)

Persamaan yang digunakan adalah:

$$RSMPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{n=1}^n \left(\frac{St - At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\% \quad (3)$$

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% (Chuco, 2004)

4. Simulasi Model

Setelah model tervalidasi, maka selanjutnya dilakukan simulasi dengan 3 skenario untuk melihat keadaan sungai pada berbagai kondisi. Berikut skenario yang digunakan pada penelitian ini :

Skenario 1

Skenario 1 merupakan simulasi pembentukan model dengan memodifikasi beban pencemar dengan cara *trial and error* konsentrasi pencemar yang masuk pada *point source* dan *diffuse source* yang bertujuan untuk memenuhi baku mutu yang ditetapkan sesuai PP No. 22 Tahun 2021.

Skenario 2

Skenario 2 merupakan simulasi pembentukan model yang dilakukan dengan cara oksigenasi lokal yaitu adanya bangunan terjunan pada setiap titik. Adanya terjunan bertujuan untuk mengetahui pengaruh peningkatan oksigen terhadap kadar fosfat dan amonia

Skenario 3

Skenario 3 merupakan simulasi pembentukan model kombinasi skenario modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal. Ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang terjadi dari kombinasi skenario ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai Winongo terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta yang mengalir melewati Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Daerah yang dilewati pada Kabupaten Sleman yaitu Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, dan Kecamatan Mlati. Pada Kota Yogyakarta yang dilewati yaitu Kecamatan Tegalgrejo, Kecamatan Gredongtengen, Kecamatan Mantijeron, Kecamatan Wirobrajan dan Kraton (batas). Dan pada Kabupaten Bantul yaitu Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis dan Kecamatan Kretek. Sungai dengan panjang 48,70 km dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 88,12 km² memiliki titik hulu berada di lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak.

Kondisi sungai tidak terlepas dari berbagai kegiatan manusia yang berada disekitarnya. Pemanfaatan tata guna lahan yang digunakan untuk kegiatan manusia dalam pemenuhan kebutuhan hidupnya seperti kegiatan rumah tangga, industri, pertanian, perikanan, dan lainnya menghasilkan buangan yang bersifat cemaran memberikan pengaruh besar sehingga dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air sungai.

4.2 Titik Sampling

Lokasi pengambilan sampel air dilakukan pada 8 titik dengan 7 segmen dari hulu hingga hilir. Sampling dilakukan selama 2 hari yaitu pada tanggal 7 dan 9 Desember 2021. Sampling dimulai dari pagi hari sampai siang hari. Berikut titik sampling air Sungai Winongo dan kondisinya yang dapat dilihat pada tabel 4.1. dan 4.2

Tabel 4. 1 Lokasi Titik Sampling




Titik	Lokasi	Jarak (km)	Elevasi (m)		Segmen	Panjang (km)
			Upstream	Downstream		
T1	Purwobinangun, Pakem, Sleman	46,94	-	325	1	6,55
T2	Denggung, Donokerto, Sleman	40,39	325	300		

Lanjutan Tabel 4.1 Lokasi Titik Sampling






Titik	Lokasi	Jarak (km)	Elevasi (m)		Segmen	Panjang (km)
			Upstream	Downstream		
T3	Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta	26,55	300	112,5	2	13,84
T4	Jlagaran, Bumijo, Yogyakarta	17,53	112,5	100	3	9,02
T5	Tamansari, Wirobrajan, Yogyakarta	13,08	100	87,5	4	4,45
T6	Dongkelan, Kasihan, Bantul	8,85	87,5	62,5	5	4,23
T7	Bakulan, Jetis, Bantul	2,38	62,5	50	6	1,85
T8	Gading, Kretek, Bantul	0	50	25	7	2,38

Sumber : Hasil Observasi Lapangan, 2021

Tabel 4. 2 Kondisi Titik Sampling

Titik	Kondisi	Gambar
T1	Air terlihat bersih dan jernih, tidak terdapat sampah, disekitarnya banyak vegetasi, arus air tidak begitu deras. Saat sampling cuaca cerah berawan.	
T2	Terdapat banyak vegetasi, air terlihat jernih namun sedikit berbau dikarenakan terdapat limbah perikanan yang masuk ke sungai, mengalir tenang dan tidak curam. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>point source</i> yaitu anak sungai 1 dan limbah perikanan.	
T3	Air terlihat keruh, disekitarnya pemukiman padat penduduk, terdapat kegiatan mandi dan mencuci oleh warga sekitar. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>diffuse source</i> yaitu limbah domestik dan limbah pertanian.	

Lanjutan Tabel 4.2 Kondisi Titik Sampling

Titik	Kondisi	Gambar
T4	Air terlihat sedikit keruh, terdapat vegetasi dan saluran drainase, arus mengalir deras dan terdapat kegiatan mandi dan mencuci oleh warga sekitar. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>point source</i> yaitu saluran drainase.	
T5	Air terlihat keruh dan sangat berbau, arus tenang, disekitarnya daerah pemukiman padat penduduk, terdapat tambak ikan dan aktivitas memancing oleh warga sekitar. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>point source</i> yaitu saluran drainase dan <i>diffuse source</i> yaitu limbah domestik.	
T6	Terdapat banyak sampah, minim vegetasi, arus mengalir deras, air terlihat cukup keruh. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>diffuse source</i> yaitu limbah perikanan.	
T7	Terdapat banyak vegetasi, arus mengalir tenang, air terlihat keruh, terdapat sampah. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>diffuse source</i> yaitu limbah pertanian.	
T8	Air terlihat sangat keruh dan terdapat sampah, banyak vegetasi, dan arus mengalir tenang. Potensi sumber pencemar yang masuk berasal dari <i>point source</i> yaitu anak sungai 2 dan anak sungai 3.	

Sumber : Hasil Observasi Lapangan, 2021.

4.3 Kondisi Hidrolik Sungai Winongo

Data hidrolik berupa debit, kecepatan aliran, dan kedalaman sungai. Data ini diperlukan dalam proses pemodelan Qual2Kw. Berikut data yang didapatkan berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan di lapangan yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data Hidrolik Sungai Winongo

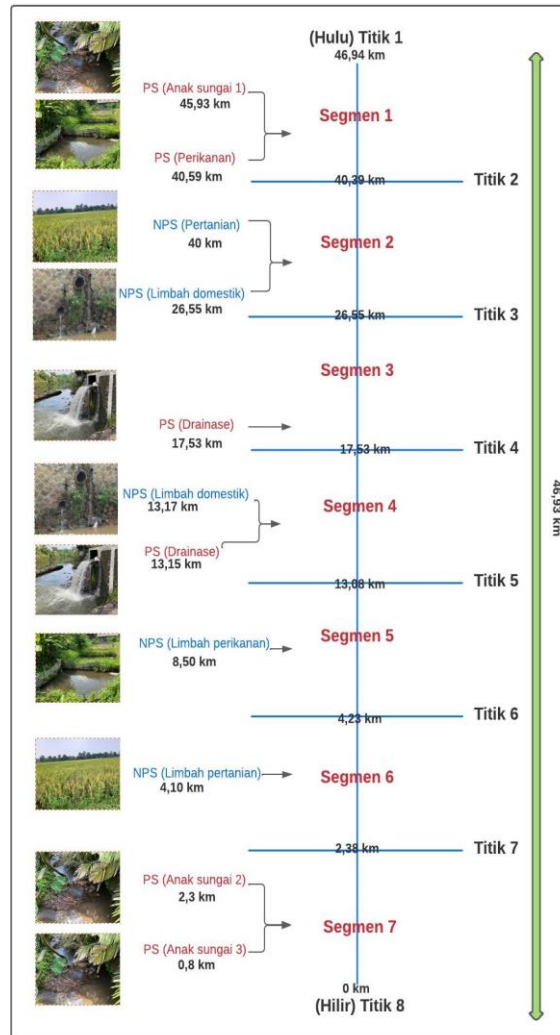
Titik	Debit (m ³ /s)	Kecepatan Aliran (m/s)	Kedalaman (m)
T1	0,28	0,25	0,42
T2	0,64	0,36	0,4
T3	9,03	1,2	0,66
T4	4,83	0,5	0,46
T5	3,33	0,13	1,15
T6	5,1	1,5	0,31
T7	8,46	0,24	2,35
T8	5,38	0,17	1,73

Sumber : Hasil Pengukuran Lapangan, 2021.

4.4 Kondisi Sumber Pencemar

Kualitas air Sungai Winongo dipengaruhi oleh buangan limbah atau effluent yang masuk ke dalam sungai. Buangan ini dapat berasal dari berbagai macam sumber pencemar yang memiliki karakteristik berbeda-beda. Sumber pencemar terdiri dari 2 jenis yaitu *point source* dan *diffuse source*. *Point source* adalah sumber pencemar yang titik pembuangannya dapat diketahui secara jelas seperti limbah industri, saluran drainase, dan anak sungai. Sedangkan *diffuse source* adalah sumber pencemar yang titik pembuangannya tidak dapat diketahui secara jelas, masuknya limbah bersifat menyebar seperti limbah domestik, limbah pertanian. Pada penelitian ini sumber pencemar yang masuk ke dalam Sungai Winongo

diwakilkan dengan 3 sumber pencemar *point source* dan 3 sumber pencemar *diffuse source* yang dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut .





Gambar 4. 1 Sketsa Sumber Pencemar

Dapat dilihat bahwa pada segmen 1 terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu anak sungai 1 dan limbah kolam ikan. Pada segmen 2 terdapat sumber pencemar *diffuse sources* yaitu limbah pertanian dan limbah domestik. Pada segmen 3 terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu saluran drainase. Pada segmen 4 terdapat sumber pencemar *point sources* yaitu saluran drainase dan sumber pencemar *diffuse sources* yaitu limbah domestik. Pada segmen 5 terdapat sumber pencemar *diffuse sources* yaitu limbah perikanan. Pada segmen terdapat sumber pencemar *diffuse sources* yaitu limbah pertanian. Pada segmen 7 terdapat sumber




pencemar *point sources* yaitu anak sungai 2 dan anak sungai 3. Berikut kondisi sumber pencemar yang masuk ke dalam Sungai Winongo dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Kondisi Sumber Pencemar Sungai Winongo

Segmen	Sumber Pencemar		Kondisi	Gambar
	<i>Point source</i>	<i>Diffuse source</i>		
Segmen 1	Anak Sungai 1 dan Saluran limbah perikanan	-	Terdapat sumber pencemar yang langsung masuk ke dalam aliran sungai berupa anak sungai 1 dengan kondisi disekitarnya berupa perkebunan salak dan saluran limbah perikanan dengan kolam ikan berukuran kecil.	
Segmen 2	-	Limbah Domestik dan Pertanian	Terdapat pemukiman penduduk disekitar bantaran sungai sehingga berpotensi masuknya limbah domestik secara menyebar, dan adanya lahan sawah yang berpotensi memberi masukan pencemar dari kegiatan pemupukan.	



Sumber : Hasil Observasi Lapangan, 2021.

Lanjutan Tabel 4.4. Kondisi Sumber Pencemar Sungai Winongo

Segmen	Sumber Pencemar		Kondisi	Gambar
	<i>Point source</i>	<i>Diffuse source</i>		
Segmen 3	Saluran Drainase	-	Terdapat sumber pencemar yang langsung masuk ke dalam aliran sungai berupa saluran drainase perkotaan.	
Segmen 4	Saluran Drainase	Limbah Domestik	Terdapat sumber pencemar yang langsung masuk ke dalam aliran sungai berupa saluran drainase perkotaan dan adanya pemukiman penduduk disekitar bantaran sungai sehingga berpotensi masuknya limbah domestik secara menyebar.	
Segmen 5	-	Limbah Perikanan	Terdapat sumber pencemar berupa limbah dari kegiatan perikanan yang saluran pembuangannya langsung ke tanah yang berada disekitarnya.	

Sumber : Hasil Observasi Lapangan, 2021.

Lanjutan Tabel 4.4. Kondisi Sumber Pencemar Sungai Winongo

Segmen	Sumber Pencemar		Kondisi	Gambar
	<i>Point source</i>	<i>Diffuse source</i>		
Segmen 6	-	Limbah Pertanian	Terdapat lahan sawah yang berpotensi memberi masukan pencemar dari kegiatan pemupukan.	
Segmen 7	Anak Sungai 2 dan Anak Sungai 3		Terdapat sumber pencemar yang langsung masuk ke dalam aliran sungai berupa anak sungai 2 dan anak sungai 3 dengan kondisi disekitarnya berupa perkebunan semangka dan area persawahan.	

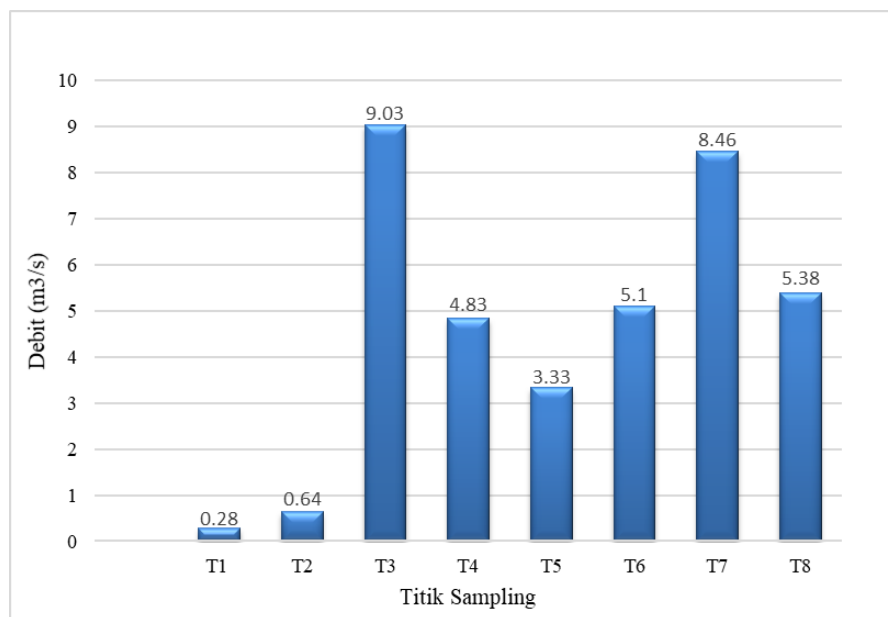
Sumber : Hasil Observasi Lapangan, 2021.

4.5 Kondisi Kualitas Air

Kualitas air ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter fisik dan kimia. Data kualitas air yang didapatkan pada penelitian ini diambil dari hasil observasi di lapangan dan pengujian di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII. Hasil pengukuran kualitas air ini akan dibandingkan dengan , dimana Sungai Winongo termasuk kategori kelas II yang peruntukannya untuk rekreasi air, budidaya air tawar, peternakan, dan pengairan tanaman.

a. Debit

Data debit didapatkan dari hasil perhitungan data lapangan. Diperoleh hasil yang bervariasi bergantung pada kedalaman, kecepatan aliran, dan lebar sungai pada masing-masing titik pengambilan sampel air Sungai Winongo. Hasil pengukuran debit dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Debit Sungai Winongo

Berdasarkan gambar grafik 4.2 menunjukkan bahwa nilai debit dari titik 1 sampai titik 7 berfluktuatif. Hal ini dikarenakan nilai debit dipengaruhi oleh fisik dan topografi seperti lebar sungai, kedalaman, kemiringan, dan jumlah aliran yang masuk ke dalam sungai contohnya buangan limbah, air hujan, air tanah . Pada titik 1 dan titik 2 nilai debit yang kecil dipengaruhi oleh

lebar sungai. Sungai dengan bentuk memanjang, sempit dan landai cenderung memiliki laju aliran yang kecil sehingga debit juga akan kecil (Staddal et al., 2017). Pada titik 3 dan titik 7 terjadi peningkatan debit yang diimbangi oleh lebar sungai yang lebih besar dari titik sebelumnya. Sungai yang memiliki bentuk semakin lebar dan kemiringan curam akan meningkatkan laju aliran dan dapat menangkap air hujan yang semakin banyak sehingga debit yang dihasilkan besar (Staddal et al., 2017). Selain itu, nilai debit yang tinggi juga dipengaruhi oleh hujan yang turun pada hari sebelumnya, karena terjadinya hujan dapat berpengaruh pada kecepatan aliran (Sutrisno et al., 2018). Selain faktor lebar sungai, debit yang besar juga bisa dikarenakan adanya terjunan (Chasna, 2016) ini terjadi pada titik 6 yang mengalami peningkatan debit akibat adanya terjunan. Pada titik 4, titik 5, dan titik 8 terjadi penurunan debit yang disebabkan kondisi aliran air yang tenang. Debit juga mempengaruhi besarnya beban pencemar yang ada di sungai. Semakin besar debit maka konsentrasi beban pencemar akan menurun hal ini disebabkan adanya proses pengenceran, begitupun sebaliknya semakin kecil debit maka konsentrasi pencemar akan meningkat (Samudro et al., 2012)

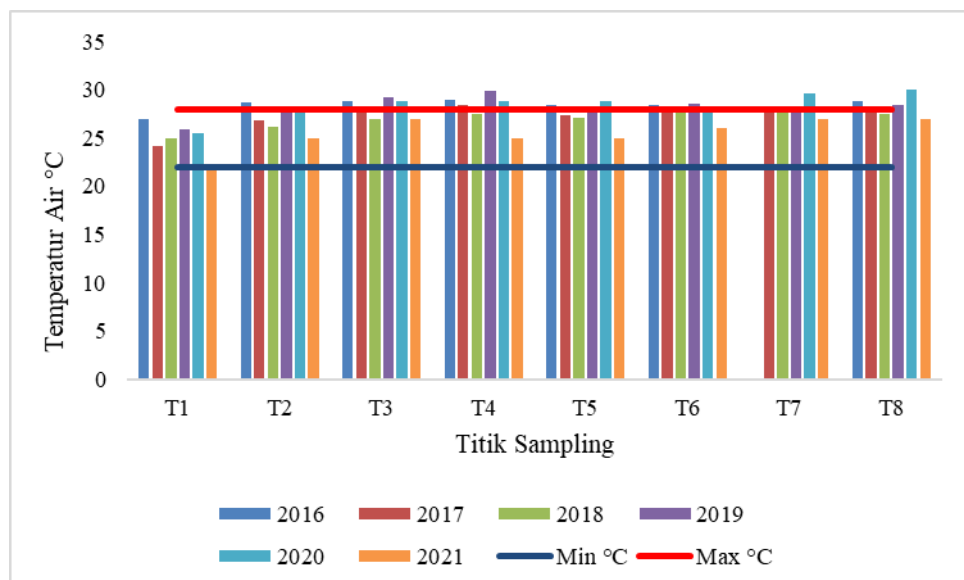
b. Temperatur Air

Temperatur mempunyai peranan penting dalam perairan yang dapat berpengaruh pada aktivitas organisme di dalamnya seperti metabolisme, pertumbuhan, bahkan kematian (Koniyo, 2020). Adapun data temperatur air Sungai Winongo pada tahun 2016 – 2020 dapat dilihat pada tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2020

Temperatur Air °C								Baku mutu	
Titik	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Min °C	Max °C	
Hulu	1	26.93	24.17	24.93	25.93	25.5	22	28	
	2	28.73	26.87	26.1	27.6	28.05	25	28	
Tengah	3	28.8	27.93	26.97	29.23	28.8	27	28	
	4	29	28.47	27.47	29.87	28.8	25	28	
	5	28.37	27.37	27.1	27.87	28.8	25	28	
Hilir	6	28.47	27.6	28.3	28.5	28.3	26	28	
	7	28,2	28.2	27.8	28.3	29.55	27	28	
	8	28.77	27.93	27.5	28.47	30.05	27	28	

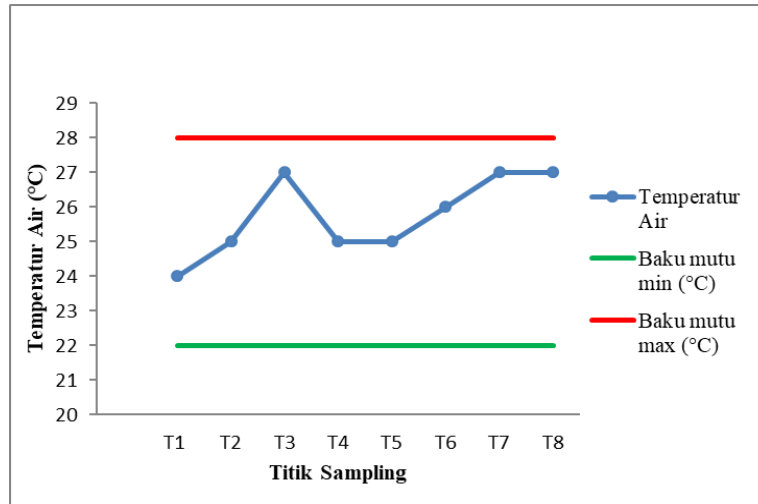
Sumber : DLH DIY, 2021.



Gambar 4. 3 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2016-2021

Berdasarkan pada gambar grafik 4.3 diatas menunjukkan bahwa pada tahun 2016 – 2020 temperatur air pada titik 3, titik 4, titik 6, titik 7 dan titik 8 berada melebihi baku mutu. Temperatur air ini sejalan dengan temperatur udara. Tingginya temperatur mengindikasikan keberadaan radiasi matahari yang masuk membuat temperatur air menjadi tinggi. Sedangkan temperatur yang rendah dikarenakan tidak adanya radiasi matahari yang masuk ke dalam sungai (Sharp & Sharp, 2018) dengan begitu hal ini berkaitan dengan musim, cuaca, durasi penyinaran, serta tutupan awan (Sastrawijaya, 2009). Berikut adalah hasil pengukuran temperatur air yang diambil pada

penelitian ini di masing-masing titik sampling yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Temperatur Air Sungai Winongo Tahun 2021

Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan pada gambar 4.4, temperatur air Sungai Winongo memiliki rentang antara 25°C sampai 27°C. Dari gambar menunjukkan bahwa titik 3, titik 7, dan titik 8 memiliki temperatur tertinggi. Hal tersebut disebabkan oleh pengambilan sampel air yang dilakukan di siang hari dan cuaca panas, sehingga temperatur air menjadi tinggi. Sedangkan titik 1 merupakan titik dengan temperatur air terendah, hal ini dikarenakan titik 1 berada di bagian hulu terletak di dataran tinggi, memiliki vegetasi yang banyak sehingga temperatur udara cukup rendah dan dingin. Menurut PP No 22 Tahun 2021, Sungai Winongo yang berada pada kelas II, baku mutu yang disarankan adalah $\pm 3^\circ$ dari temperatur udara pada masing-masing lokasi pengambilan sampel. Sehingga nilai temperatur yang didapatkan dari hasil pengukuran masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Tingginya temperatur air dapat menimbulkan terjadinya penurunan oksigen terlarut, mempercepat reaksi kimia, dan dapat mengganggu kehidupan ikan dan biota air lainnya (Koniyo, 2020).

c. pH

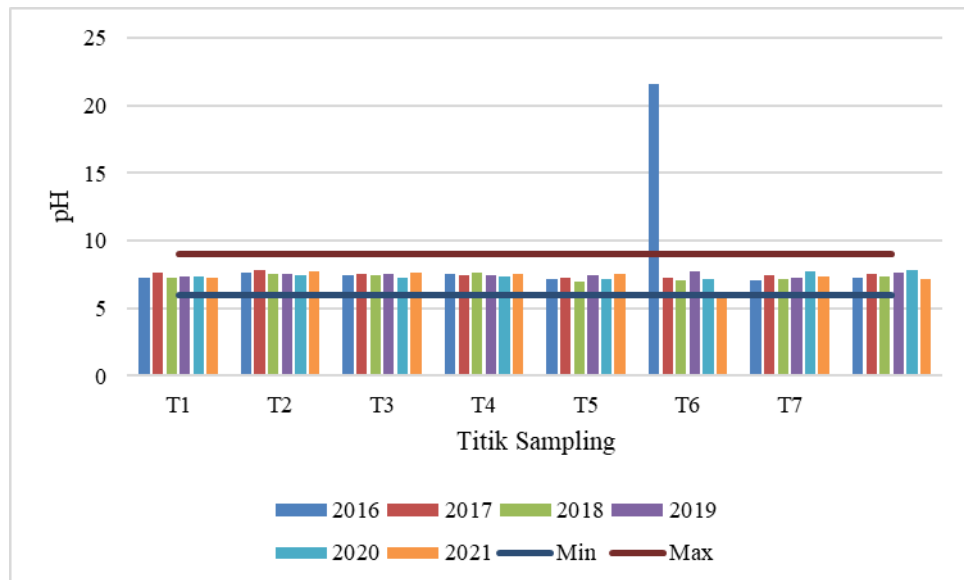
pH atau derajat keasaman merupakan salah satu parameter air untuk menentukan sifat air berupa asam atau basa. Besaran nilai pH untuk biota

dapat hidup berkisar pada 7-8,5 (Ghufran et al., 2007). Nilai pH mempunyai pengaruh dalam proses biokimiawi perairan dan dapat mengakibatkan proses nitrifikasi menjadi terhenti. Selain itu juga dapat berpengaruh pada toksisitas senyawa kimia, aktivitas biokimiawi perairan, dan proses metabolisme biotik (Djoharam et al., 2018). Berikut data pH air Sungai Winongo dalam tahun 2016-2020 dilihat pada tabel 4.6.

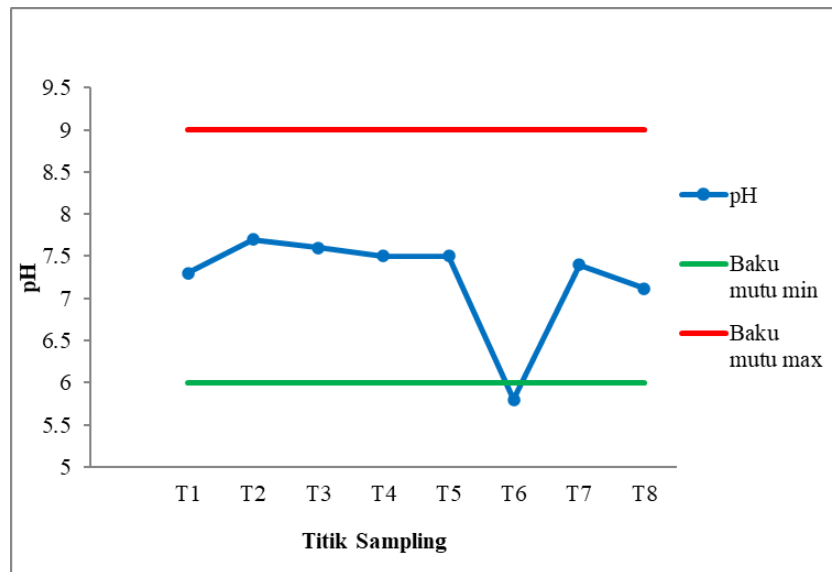
Tabel 4. 6 Data pH Sungai Winongo Tahun 2016-2021

pH Sungai Winongo 2016-2020							Baku Mutu		
Titik	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Min	Max	
Hulu	1	7.27	7.67	7.29	7.37	7.38	7.3	6	9
	2	7.67	7.84	7.53	7.59	7.44	7.7	6	9
Tengah	3	7.43	7.55	7.48	7.51	7.27	7.6	6	9
	4	7.53	7.41	7.66	7.46	7.38	7.5	6	9
	5	7.13	7.29	6.97	7.48	7.18	7.5	6	9
Hilir	6	21.6	7.26	7.08	7.69	7.16	5.8	6	9
	7	7.07	7.44	7.14	7.26	7.7	7.4	6	9
	8	7.23	7.54	7.31	7.68	7.87	7.12	6	9

Sumber : DLH DIY, 2021.



Gambar 4. 5 pH Sungai Winongo Tahun 2016-2021.



Gambar 4. 6 pH Sungai Winongo Tahun 2021

Dari gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil pengukuran lapangan yang dilakukan, didapatkan nilai pH dalam rentang 5,8-7,7. Dalam skala 0-14, air yang bersifat netral memiliki nilai pH sebesar 7, sedangkan pH dibawah 7 berada dalam kondisi asam, dan pH diatas 7 berada dalam kondisi basa (Singh PK., 2015). Dari hasil pengukuran, titik 6 merupakan lokasi dengan pH terendah dengan nilai 5,8 ini menandakan perairan bersifat asam, dan titik yang lainnya bersifat basa. Standar nilai pH yang diperbolehkan menurut PP No 22 Tahun 2021 berkisar pada nilai 6-9. Dengan demikian titik 6 tidak memenuhi baku mutu sedangkan titik lainnya masih dalam nilai baku mutu yang diperbolehkan. Nilai pH dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan temperatur pada saat pengukuran sampel air. Semakin tinggi temperatur maka nilai pH akan menurun dan sebaliknya semakin rendah temperatur, maka nilai pH akan naik (Lestari et al., 2015)

Umumnya konsentrasi pH yang tinggi dikarenakan konsumsi CO₂ pada aktivitas fotosintesis di dalam perairan (Gandaseca et al., 2011). Nilai pH yang sangat rendah berada dibawah 4,5 atau sangat tinggi berada diatas 9,5 tidak toleran bagi sebagian besar organisme akuatik. Kondisi perairan dengan pH kritis dapat menyebabkan biota air mati. Besaran kadar pH

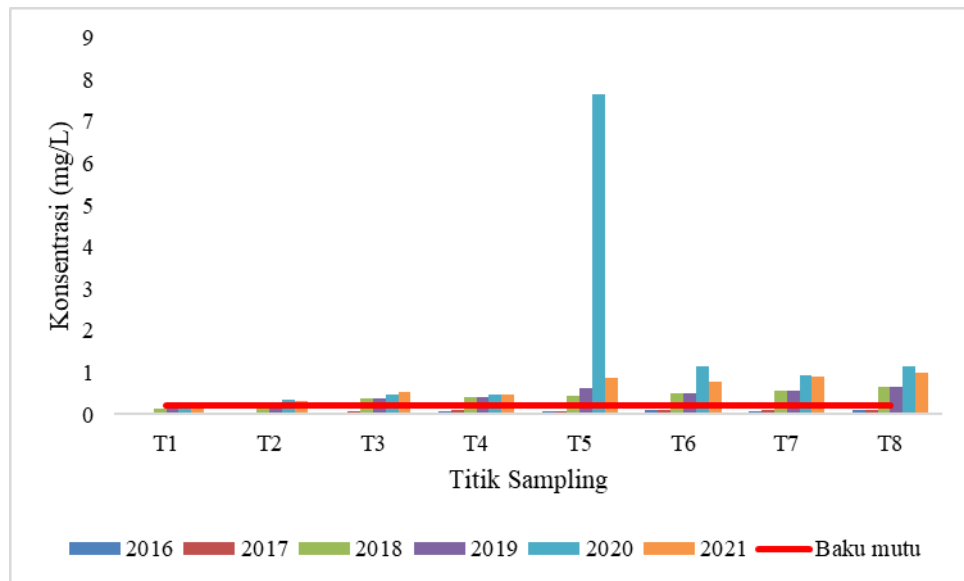
pada nilai 9-14 dapat berbahaya bagi ikan karena amonia dalam air akan menjadi sangat beracun (Kumar et al., 2012)

d. Fosfat (PO_4)

Fosfat adalah salah satu parameter kimia yang apabila jumlahnya berlebih dapat menurunkan kualitas air. Di perairan fosfat berperan sebagai nutrisi pembatas dalam pertumbuhan alga dan tanaman air. Konsentrasi fosfat yang tinggi dapat meningkatkan perkembangan alga dan tanaman air yang mengarah ke eutrofikasi ekosistem air. Oleh karena itu, kesuburan perairan dapat dilihat dari kandungan fosfatnya. Pada umumnya fosfat ditemukan dalam pelapukan alami batuan dan mineral, buangan pertanian, erosi, sedimentasi limbah domestik dan limbah industri (J. Singh et al., 2020). Masuknya limbah yang mengandung fosfat dalam jumlah yang berlebih dapat merugikan biota air (R. L. Singh, 2017). Berikut adalah data konsentrasi fosfat dari tahun 2016-2021.

Tabel 4. 7 Konsentrasi Fosfat Tahun 2016-2021

Fosfat (mg/L)							
Titik	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Baku mutu
T1	0.04	0.02	0.139	0.22	0.27	0.25	0.2
T2	0.03	0.03	0.26	0.2	0.36	0.32	0.2
T3	0.05	0.06	0.37	0.38	0.47	0.53	0.2
T4	0.06	0.09	0.41	0.4	0.48	0.48	0.2
T5	0.07	0.07	0.43	0.62	7.64	0.86	0.2
T6	0.09	0.09	0.5	0.51	1.15	0.79	0.2
T7	0.07	0.09	0.56	0.56	0.94	0.91	0.2
T8	0.1	0.1	0.67	0.66	1.14	0.98	0.2



Gambar 4. 7 Konsentrasi Fosfat Sungai Winongo Tahun 2016-2021

Berdasarkan data pemantauan Sungai Winongo tahun 2016-2020 yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta, diketahui konsentrasi fosfat pada setiap titik dari tahun ke tahun mengalami peningkatan sehingga menyebabkan kualitas airnya menjadi menurun. Penyebab utama penurunan kualitas air di sungai adalah aktivitas antropogenik, karena masyarakat mengubah sungai menjadi tempat pembuangan sampah dan limbah yang tidak diolah (DLH Yogyakarta, 2022). Sumber fosfat yang paling banyak dalam limbah domestik berasal dari limbah sabun dan deterjen yang digunakan pada berbagai bahan pencuci piring, pakaian, dan lain-lain. Jumlah penduduk di sekitar sungai menyumbang peningkatan fosfat ke dalam sungai (Whitehead et al., 2019). Data jumlah penduduk di wilayah sekitar Sungai Winongo dari tahun 2016-2020 dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Jumlah Penduduk di Sekitar Sungai Winongo Tahun 2016-2020

Jumlah Penduduk (jiwa)					
Lokasi	2016	2017	2018	2019	2020
Kabupaten Sleman*	213455	215932	218435	198867	208971
Kota Yogyakarta**	139743	133595	134634	142007	127125
Kabupaten Bantul***	323739	328189	332519	1191009	313210

(*) Akumulasi Kecamatan Turi, Kecamatan Sleman, dan Kecamatan Mlati.

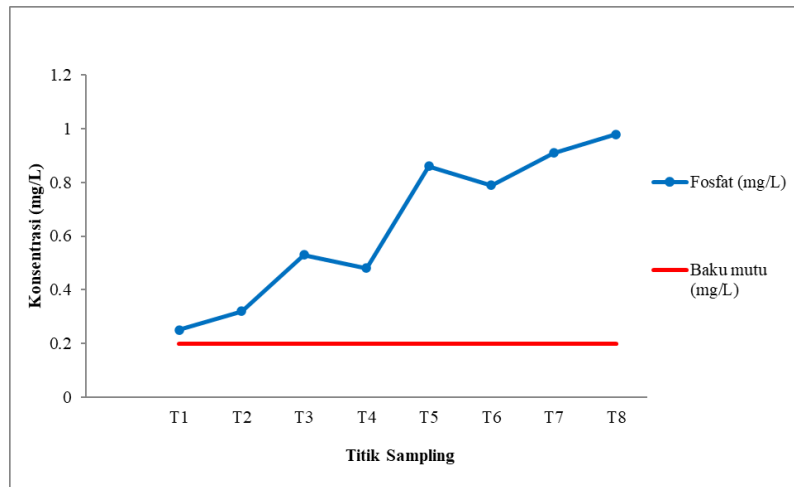
(**) Akumulasi Kecamatan Tegalrejo, Kecamatan Gredongtengen, Kecamatan Mantijeron, Kecamatan Wirobrajan dan Kraton (batas).

(***) Akumulasi Kecamatan Kasihan, Kecamatan Sewon, Kecamatan Jetis dan Kecamatan Kretek.

Sumber : BPS DIY, 2016-2020.

Menurut data BPS DIY tahun 2016-2020, jumlah penduduk wilayah Kabupaten Sleman tahun 2016-2018 mengalami peningkatan, kemudian tahun 2019 menurun, dan tahun 2020 kembali meningkat. Sedangkan di wilayah Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul pada tahun 2016-2019 meningkat, dan menurun pada tahun 2020. Penduduk terpadat berada di bagian tengah dan penduduk terbanyak berada di bagian hilir sehingga masukan pencemar fosfat menjadi lebih banyak. Ini sejalan dengan yang ditunjukkan pada tabel 4.7 bahwa konsentrasi fosfat semakin menuju hilir maka semakin tinggi. Berbeda pada tahun 2020, meskipun jumlah penduduk pada bagian tengah-hilir menurun, namun konsentrasi fosfat mengalami peningkatan sangat signifikan terutama pada bagian tengah di titik 5. Hal ini diduga karena terjadinya pandemi Covid-19 yang menyebabkan aktivitas normal menjadi terhenti dan menuntut masyarakat melakukan pembatasan sosial agar mengurangi penyebaran virusnya (Sulistyo, 2022). Menurut penelitian (Sarkodie, 2021), berada di rumah dalam waktu yang lama turut meningkatkan jumlah limbah rumah tangga di berbagai negara, hal ini dikarenakan meningkatnya pembelian panik dan konsumsi produk sekali pakai. Selain itu, penerapan protokol kesehatan dengan anjuran untuk lebih sering mencuci tangan dan membersihkan diri juga ikut menyumbang peningkatan fosfat karena penggunaan sabun dan deterjen dengan frekuensi yang lebih banyak (Sulistyo, 2022). Penelitian (Tokatli et al., 2022) juga menunjukkan kualitas air permukaan untuk parameter fosfat terjadi peningkatan selama diberlakukannya pembatasan sosial.

Pada penelitian ini hasil fosfat yang diperoleh dari pengujian di laboratorium dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4. 8 Konsentrasi Fosfat Sungai Winongo Tahun 2021

Berdasarkan hasil pengukuran di laboratorium, diperoleh kadar fosfat berkisar pada nilai 0,25 -0,980 mg/L. Grafik kadar fosfat yang ditunjukkan memiliki nilai yang bervariasi, ini karena perbedaan keadaan dan kegiatan manusia di masing-masing lokasi. Titik 1 merupakan lokasi dengan kadar fosfat terendah yaitu sebesar 0,25 mg/L, ini dikarenakan lingkungan di bagian hulu masih alami sehingga belum mendapat banyak masukan sumber pencemar fosfat dari aktivitas manusia. Sumber pencemar fosfat di bagian hulu diduga dari tumbuhan disekitar lokasi tersebut. Pada titik 2 terjadi kenaikan kadar fosfat yang disebabkan masuknya pencemar yang berasal dari saluran limbah perikanan dan anak sungai 1 dengan daerah disekelilingnya berupa perkebunan salak. Pada titik 3 kadar fosfat meningkat dengan masukan pencemar berupa limbah domestik yang berasal dari pemukiman disekitar bantaran sungai dan adanya area persawahan yang menyumbang fosfat dari kegiatan pemupukan. Pada titik 4 terjadi penurunan kadar fosfat, sumber pencemar yang masuk berasal dari saluran drainase perkotaan. Saluran drainase seharusnya digunakan untuk mengalirkan air hujan, namun masyarakat masih sering menggunakannya untuk membuang limbah domestik (DLH, 2022) sehingga turut menyumbang kadar fosfat pada titik 4. Penurunan terjadi diduga karena pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari, dimana masyarakat belum

banyak melakukan kegiatan pada pagi hari sehingga jumlah limbah yang masuk tidak banyak (Flickinger et al., 2020). Selanjutnya pada titik 5 kadar fosfat kembali meningkat, hal ini disebabkan sumber pencemar yang masuk berasal dari saluran drainase dan limbah domestik dari pemukiman yang cukup padat sehingga limbah dan bahan pencemar yang masuk cukup besar. Pada titik 6 kadar fosfat kembali mengalami penurunan, masuknya sumber pencemar pada titik ini berasal dari kegiatan perikanan. Penurunan ini diduga karena pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari. Kemudian titik 7 terjadi peningkatan kadar fosfat, sumber pencemar yang masuk berasal dari kegiatan pertanian dengan area persawahan yang cukup luas, dengan ini memungkinkan penggunaan pupuk yang cukup banyak dan sehari sebelum pengambilan sampel terjadi hujan sehingga fosfat terbawa air hujan menuju sungai. Pada titik 8 terjadi kenaikan kadar fosfat dengan masuknya pencemar berasal dari anak sungai 2 dan anak sungai 3 dengan kondisi disekitarnya berupa area perkebunan semangka dan persawahan yang cukup luas dengan sumbangan fosfat dari kegiatan pemupukan. Kenaikan kadar fosfat diduga terjadi karena beberapa hal, diantaranya peningkatan fosfat dari batuan secara alami serta peningkatan masukan bahan pencemar ke dalam badan air, dan mengalir dari bagian hulu hingga ke bagian hilir (Sutamihardja et al., 2018). Masukan sumber pencemar fosfat dapat berasal dari limbah domestik dan limbah pertanian. Pada limbah domestik penyumbang fosfat paling tinggi adalah penggunaan deterjen untuk pencucian alat rumah tangga dan pakaian (Hashim et al., 2019). Pemukiman padat penduduk disekitar bantaran sungai berpotensi tinggi menyumbang fosfat melalui limbah deterjen yang masuk ke dalam badan air (Wulandari et al., 2021). Ini sebanding jumlah penduduk yang meningkat pada tahun 2021, data jumlah penduduk pada tahun 2021 dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Jumlah Penduduk di Sekitar Sungai Winongo Tahun 2021

Jumlah Penduduk (jiwa)		
Lokasi	2020	2021
Kabupaten Sleman	208971	210659
Kota Yogyakarta	127125	128140
Kabupaten Bantul	313210	316593

Sumber : BPS DIY.

Data jumlah penduduk pada tahun 2021 mengalami kenaikan dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Kemudian masukan limbah pertanian juga menyumbang fosfat berupa pupuk anorganik berbahan dasar fosfor. Menurut PP No 22 Tahun 2021 batas kadar fosfat maksimum yang diperbolehkan masuk ke dalam Sungai Winongo yang termasuk dalam kategori kelas II adalah sebesar 0,2 mg/L. Hal ini menandakan bahwa semua titik pengambilan sampel air sungai memiliki kadar fosfat yang melebihi baku mutu.

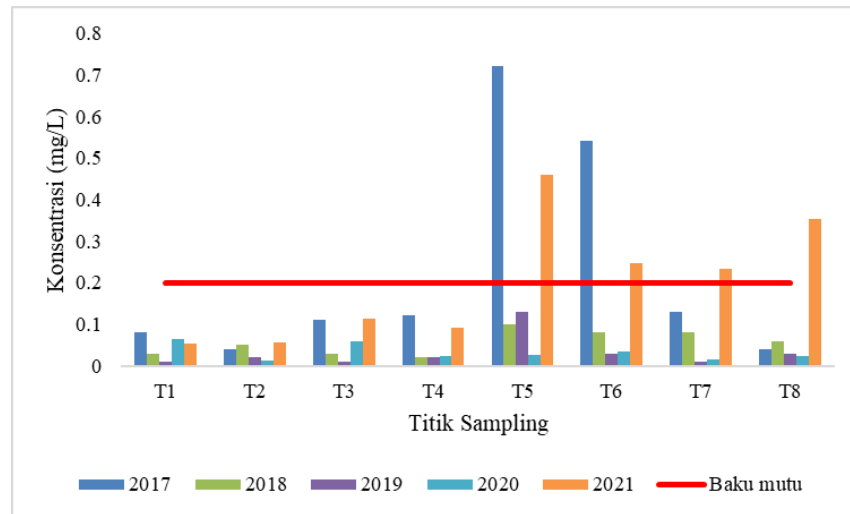
e. Amonia (NH₃)

Amonia adalah salah satu parameter penting dalam kualitas air. Di perairan, amonia yang terukur adalah amonia total (NH₃-N) terdiri atas amonium (NH₄⁺) dan amonia bebas (NH₃). Kadar amonia yang tinggi di perairan dapat membahayakan biota air yang hidup di dalamnya (Gao et al., 2021). Berikut adalah data kadar amonia air Sungai Winongo tahun 2016-2020 yang dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Data Amonia Sungai Winongo 2017-2021

Amonia Sungai Winongo (mg/L)						
Titik	2017	2018	2019	2020	2021	Baku mutu
T1	0.08	0.03	0.01	0.064	0.053	0.2
T2	0.04	0.05	0.02	0.013	0.055	0.2
T3	0.11	0.03	0.01	0.058	0.113	0.2
T4	0.12	0.02	0.02	0.022	0.092	0.2
T5	0.72	0.1	0.13	0.026	0.46	0.2
T6	0.54	0.08	0.03	0.035	0.247	0.2
T7	0.13	0.08	0.01	0.014	0.232	0.2
T8	0.04	0.06	0.03	0.024	0.354	0.2

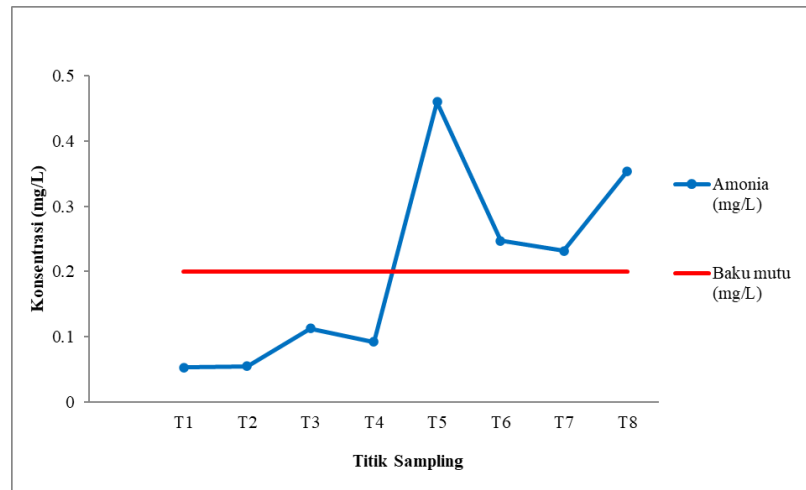
Sumber : DLH DIY, 2021.



Gambar 4. 9 Konsentrasi Amonia Sungai Winongo Tahun 2017-2021

Berdasarkan data pemantauan Sungai Winongo tahun 2017-2020 yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta, diketahui konsentrasi amonia tertinggi terjadi pada tahun 2017 bahkan sampai melebihi baku mutu yaitu pada titik 5 dan 6. Pada tahun 2018 konsentrasi amonia mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga tahun 2020, nilainya berfluktuatif namun masih berada dibawah baku mutu yang ditetapkan. Penurunan ini diduga karena adanya upaya perbaikan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) Winongo yang dilakukan oleh pemerintah DIY. Upaya yang dilakukan diantaranya penataan pemukiman kumuh di bantaran sungai, pembuatan IPAL Komunal, dan gerakan bersih sungai yang dilakukan oleh pemerintah daerah bersama komunitas pecinta sungai, dan segenap masyarakat disekitar Sungai Winongo (DLH DIY, 2020). Selain itu, penggunaan pupuk di DIY juga berdampak pada konsentrasi amonia di perairan. Berdasarkan SK Gubernur DIY jumlah pupuk yang dialokasikan di DIY pada tahun 2016 adalah sebesar 91.850 ton, sedangkan pada tahun 2020 adalah sebesar 66.024 ton. Dalam 5 tahun terakhir penggunaan pupuk menurun sehingga turut berkontribusi terhadap kualitas air Sungai Winongo.

Data hasil pengujian kadar amonia yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam gambar grafik 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Konsentrasi Amonia Sungai Winongo 2021

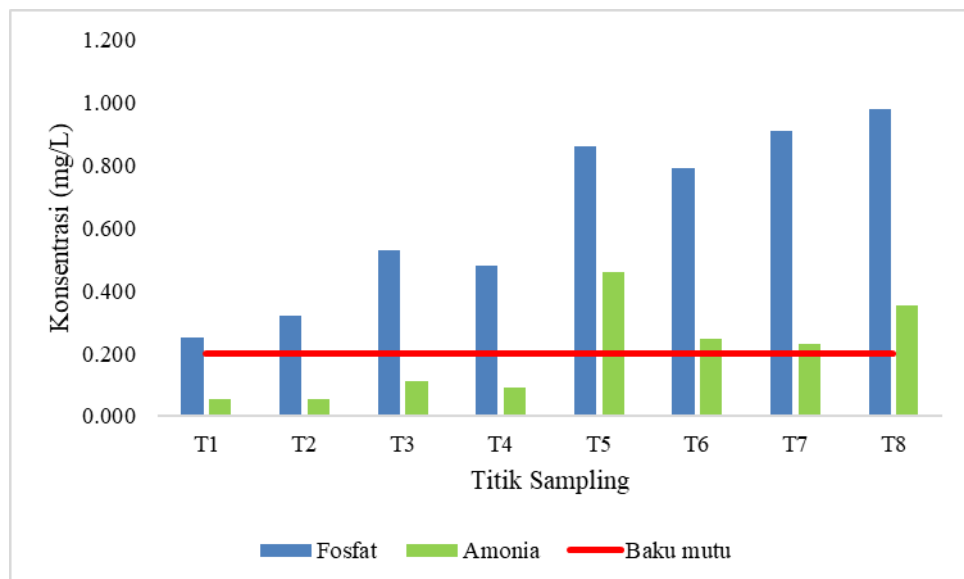
Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh kadar amonia air Sungai Winongo berada pada kisaran 0,053-0,460 mg/L. Titik 1 merupakan lokasi dengan kadar terendah amonia hal ini dikarenakan bagian hulu yang belum banyak mendapat masukan cemaran. Titik 2 mengalami sedikit peningkatan dikarenakan adanya masukan pencemar yang berasal dari anak sungai 1 dan perikanan. Peningkatan terjadi pada titik 3 disebabkan mendapat masukan pencemar yang cukup besar berasal dari limbah pertanian dan limbah domestik. Pada titik 4 kembali mengalami penurunan, pencemar yang masuk pada titik ini berasal dari saluran drainase. Sedangkan titik 5 merupakan lokasi dengan kadar amonia tertinggi dengan masukan pencemar yang besar, ini dikarenakan disekitar titik 5 merupakan pemukiman padat penduduk, masyarakat memanfaatkan sungai untuk kegiatan MCK dan tambak ikan. Pada titik 6 sumber pencemar yang masuk berasal dari kegiatan perikanan dan konsentrasi amonia mengalami penurunan dibanding titik sebelumnya. Titik 7 juga mengalami penurunan dengan sumber pencemar yang masuk berasal dari kegiatan pertanian. Terakhir pada titik 8 konsentrasi amonia mengalami peningkatan, ini dikarenakan adanya masukan sumber pencemar yang berasal dari anak

sungai 2 dan anak sungai 3 dengan daerah disekitarnya berupa perkebunan semangka dan area persawahan.

Sumber amonia di perairan dapat meningkat jika perairan tersebut tercemar limbah pertanian, domestik, dan perikanan. Hal ini dikarenakan amonia terdapat dalam kotoran manusia dan hewan, sisa-sisa tumbuhan, pupuk urea, (Park et al., 2018) serta pakan ikan dan feses yang terlepas ke lingkungan perairan (Yildiz et al., 2017). Namun, jika kadar amonia di perairan melebihi batas maka dapat bersifat racun bagi organisme di dalamnya. Toksisitas ini akan meningkat diiringi kadar oksigen terlarut yang mengalami penurunan sehingga dapat menyebabkan kematian biota air (Boyd, 2017).

Menurut PP No 22 Tahun 2021, batas kadar amonia yang diperbolehkan masuk, ke dalam Sungai Winongo yang masuk dalam kategori air kelas II adalah sebesar 0,2 mg/L. Dengan demikian hasil pengukuran amonia air Sungai Winongo pada penelitian ini pada titik 5, titik 6, titik 7, dan titik 8 telah melebihi baku mutu.

Berikut merupakan grafik hasil analisa data parameter fosfat dan amonia di Sungai Winongo tahun 2021, dapat dilihat pada gambar



Gambar 4. 11 Konsentrasi Fosfat dan Amonia 2021

4.6 Pemodelan Qual2Kw

Pemodelan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk merepresentasikan kondisi sungai yang sebenarnya. Pada penelitian pemodelan kualitas air ini digunakan *software* Qual2Kw versi 5.1. Hasil yang disajikan berupa grafik profil cemaran air sungai. Data yang dimasukkan ke dalam *software* diantaranya data hidrolik, data klimatologi, data kualitas air, dan data sumber pencemar per segmen.

4.6.1 Kalibrasi Model

Kalibrasi adalah metode yang digunakan untuk menyesuaikan agar model mendekati data yang sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan cara *trial error*. Pada kalibrasi debit proses *trial error* yang dilakukan dengan yaitu merubah nilai debit pada worksheet *point source* dan *diffuse source* sehingga grafik yang dihasilkan mendekati data lapangan. Pada parameter fosfat dan amonia, dilakukan dengan mengubah-ubah nilai konsentrasi pencemar, dan menginputkan nilai pH, suhu, dan Dissolved Oxygen (DO). Dalam proses kalibrasi data kualitas sumber pencemar yang diinputkan berasal dari data sekunder berupa jurnal penelitian sebelumnya. Berikut adalah data kualitas sumber pencemar yang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Data Kualitas Sumber Pencemar

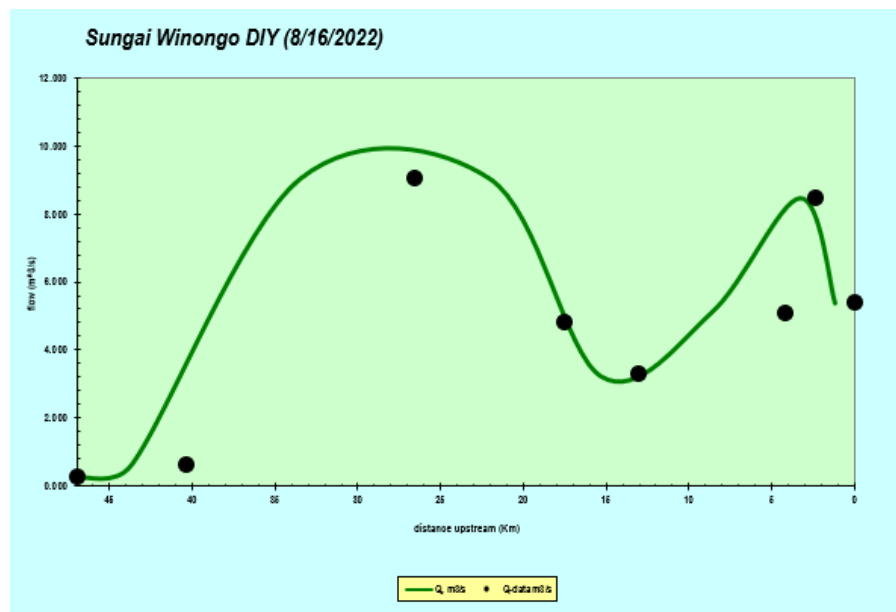
Segmen	Sumber Pencemar	Fosfat (mg/L)	Amonia (mg/L)	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)
1	Anak Sungai 1*	0,087	0,03	28,5	7,2	5,4
	Perikanan**	0,777	0,6	33	6,9	6,1
2	Pertanian**	0,388	0,168	30	5,5	2,07
	Limbah Domestik**	0,596	0,197	30	5,3	2,3
3	Drainase**	1,530	0,347	27	5,5	4,32
4	Drainase**	3,340	0,158	28	5,1	1,2
	Limbah Domestik**	4,190	4,250	30	5	2,3

5	Perikanan**	0,450	3,210	33	7,5	6,1
6	Pertanian**	5,364	5,075	30	5,3	2,07
7	Anak Sungai 2*	0,765	0,321	29	6,5	3,54
	Anak Sungai 3*	0,562	0,225	30	7,3	5,54

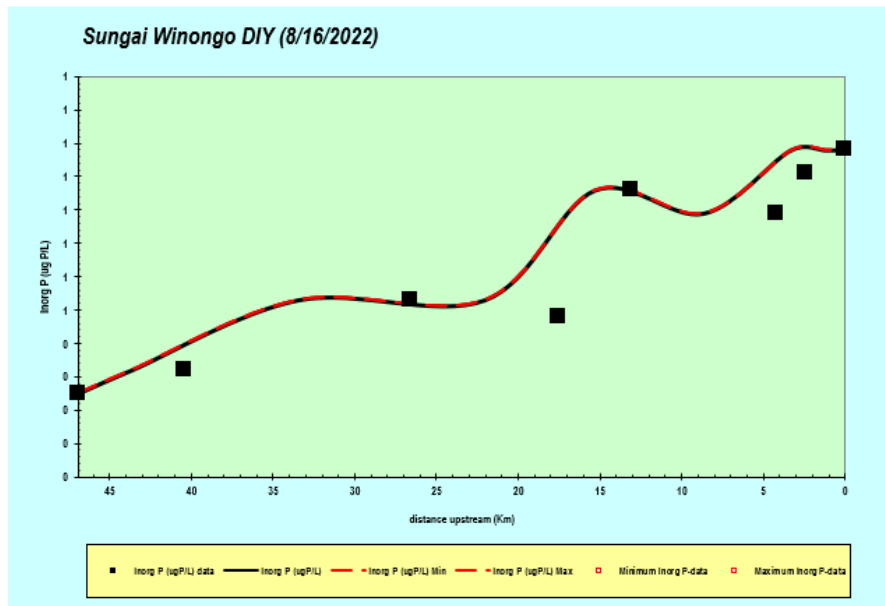
(*) Hasil pengukuran lapangan dan laboratorium

(**) Data sekunder penelitian terdahulu

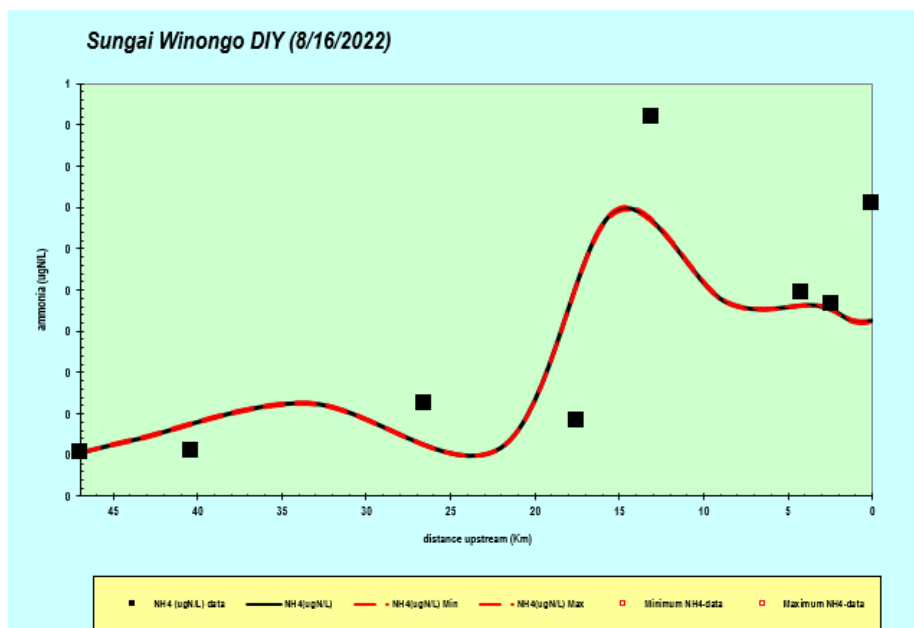
Berikut adalah hasil kalibrasi model yang dapat dilihat pada gambar 4.12, 4.13, dan 4.14 dibawah ini.



Gambar 4. 12 Model Debit Sungai Winongo



Gambar 4. 13 Model Fosfat Sungai Winongo



Gambar 4. 14 Model Amonia Sungai Winongo

Pada gambar 4.12 menunjukkan grafik model debit dari titik 1 sampai titik 8 memiliki nilai yang berfluktuatif. Faktor yang mempengaruhi besaran debit diantaranya lebar sungai, kedalaman sungai, kemiringan, dan banyaknya aliran yang masuk ke sungai seperti effluent dari *point source*, *diffuse source*, dan air hujan (Chasna, 2016). Dalam proses kalibrasi, dilakukan trial error dengan

cara mengubah-ubah nilai debit pada lembar *point source* dan *diffuse source* yang masuk ke dalam sungai hingga model mendekati data lapangan.

Pada gambar 4.13 menunjukkan grafik model fosfat memiliki nilai berfluktuatif yang cenderung semakin meningkat. Sumber utama fosfat berasal dari proses pelapukan batuan, sisa organisme mati, dekomposisi tumbuhan. Selain itu juga dapat berasal dari buangan limbah domestik, limbah industri, hanyutan pupuk pada lahan pertanian, serta penguraian bahan organik dan mineral fosfat mempengaruhi konsentrasi fosfat di perairan (Bhateria et al., 2016). Peran fosfat di perairan adalah sebagai nutrisi pembatas untuk metabolisme dan pertumbuhan mikro alga, namun tingginya kadar fosfat juga berkontribusi dalam terjadinya eutrofikasi pada badan air (J. Singh et al., 2020). Keberadaan fosfat dapat mempengaruhi kandungan oksigen terlarut. Dalam suatu perairan, jumlah oksigen terlarut akan menurun disebabkan adanya proses pembusukan bahan organik, respirasi biota, dan oksigen yang dilepas ke udara. Fungsi oksigen adalah sebagai senyawa pengoksidasi dalam proses dekomposisi bahan organik. Tingginya konsentrasi fosfat dapat menyebabkan pertumbuhan alga/ganggang yang tidak terkendali sehingga menurunkan konsentrasi oksigen terlarut di perairan (Gupta et al., 2017). Selain itu suhu juga berpengaruh terhadap konsentrasi fosfat. Semakin tinggi suhu di perairan, maka konsentrasi fosfat akan menurun, hal ini dikarenakan suhu yang tinggi dapat mempercepat reaksi kimia yang terjadi di dalam air (Charlton et al., 2018). Selanjutnya derajat keasaman (pH) memiliki peran penting dalam monitoring kestabilan perairan, kandungan pH yang tinggi akan berbanding lurus dengan konsentrasi fosfat (Bai et al., 2017). Oleh karena itu dalam proses kalibrasi parameter fosfat, dilakukan *trial error* pada nilai konsentrasi pencemar *point source* dan *diffuse source*, oksigen terlarut, suhu, dan pH.

Pada gambar 4.14 menunjukkan grafik model amonia dengan nilai berfluktuatif dan memiliki kadar konsentrasi terendah pada titik 1 dan tertinggi pada titik 5. Amonia di perairan berasal dari air seni dan tinja, oksidasi bahan

organik, buangan limbah industri dan kegiatan masyarakat seperti perikanan dan pertanian (Walker et al., 2019). Keberadaan amonia dipengaruhi oleh pH dan suhu. Pada kondisi pH rendah berbentuk ammonium akan bersifat racun jika dalam jumlah banyak, sedangkan pada kondisi pH tinggi hanya dengan jumlah sedikit amonia dapat bersifat racun. Kadar amonia yang berfluktuatif dipengaruhi oleh suhu. Pada saat musim panas, suhu tinggi mengakibatkan peningkatan aktivitas bakteri dan proses nitrifikasi, sehingga kadar amonia menjadi rendah. Begitupun sebaliknya saat musim hujan, suhu rendah mengakibatkan penurunan aktivitas bakteri dan proses nitrifikasi, sehingga kadar amonia menjadi tinggi (Tansel et al., 2018) . Tingginya kadar amonia menyebabkan turunnya kadar oksigen terlarut yang dapat mengakibatkan gangguan fungsi fisiologi serta metabolisme seperti respirasi pada organisme perairan (Boyd, 2017). Oleh karena itu, proses kalibrasi pada parameter amonia dilakukan dengan cara trial error pada nilai konsentrasi pencemar *point source* dan *diffuse source*, oksigen terlarut, suhu, dan pH.

4.6.2 Validasi Model

Setelah model terkalibrasi, data kualitas air pada model akan ditampilkan pada lembar *WQ output*. Untuk mengetahui kesesuaian data model dan data lapangan, maka dilakukan validasi model. Validasi model dilakukan dengan 3 metode agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Metode yang digunakan diantaranya :

a. *Chi Square*

Persamaan yang digunakan adalah :

$$x^2 = \sum_{r=0}^n \frac{(\text{Nilai Observasi} - \text{Nilai Model})^2}{\text{Nilai Model}} \quad (1)$$

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).

Berikut adalah hasil perhitungan validasi model menggunakan metode Chi Square yang dapat dilihat pada tabel 4.12, 4.13, dan 4.14.

Tabel 4. 12 Perhitungan Nilai Chi Square pada Debit

Debit				
Titik	Lapangan	Model	(Lapangan - Model)²	(Lapangan - Model)²/ Model
T1	0.280	0.280	0	0
T2	0.640	0.640	0	0.000
T3	9.030	9.030	0	0.0000
T4	4.830	9.030	17.64	1.953
T5	3.330	3.230	0.01	0.003
T6	5.100	5.100	0	0.000
T7	8.460	8.460	0	0.000
T8	5.380	5.380	0	0.000
X ² chi square				1.957

Sumber : Analisis Data, 2022.

Tabel 4. 13 Perhitungan Nilai Chi Square Parameter Fosfat

Fosfat				
Titik	Lapangan	Model	(Lapangan - Model)²	(Lapangan - Model)²/ Model
T1	0.250	0.250	0	0
T2	0.320	0.320	0	0.0000
T3	0.530	0.530	0	0.000
T4	0.480	0.530	0.0025	0.005
T5	0.860	0.860	0	0.000
T6	0.790	0.790	0	0.000
T7	0.910	0.779	0.017161	0.022
T8	0.980	0.779	0.040401	0.052
X ² chi square				0.079

Sumber : Analisis Data, 2022.

Tabel 4. 14 Perhitungan Nilai Chi Square Parameter Amonia

Amonia				
Titik	Lapangan	Model	(Lapangan - Model) ²	(Lapangan - Model) ² / Model
T1	0.053	0.053	0	0
T2	0.055	0.069	0.000196	0.003
T3	0.113	0.113	0	0.0000
T4	0.092	0.059	0.001089	0.018
T5	0.460	0.345	0.013225	0.038
T6	0.247	0.235	0.000144	0.001
T7	0.232	0.231	0.000001	0.000
T8	0.354	0.213	0.019881	0.093
X ² chi square				0.154

Sumber : Analisis Data, 2022.

Dari hasil perhitungan dengan metode Chi Square, diperoleh nilai χ^2 yang menunjukkan data debit sebesar 1,957, fosfat sebesar 0,079, dan amonia sebesar 0,154. Perhitungan tabel Chi Square sebesar 14,06. Ini menunjukkan bahwa nilai χ^2 perhitungan < nilai χ^2 pada tabel, sehingga model dapat diterima.

b. *Relative Precentage Difference* (RPD)

Persamaan yang digunakan adalah :

$$RPD = \frac{(C_{sim} - C_{obs})}{C_{obs}} \times 100\% \quad (2)$$

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 et al., 2020)

Berikut adalah hasil perhitungan validasi model menggunakan metode RPD yang dapat dilihat pada tabel 4.15, 4.16, dan 4.17.

Tabel 4. 15 Perhitungan Nilai RPD pada Debit

Debit			
Titik	Data Lapangan	Data Model	Cek error
T1	0.280	0.280	0%
T2	0.640	0.640	0%
T3	9.030	9.030	0%
T4	4.830	9.030	87%
T5	3.330	3.230	3%
T6	5.100	5.100	0%
T7	8.460	8.460	0%
T8	5.380	5.380	0%
	Rata-rata		11%

Sumber : Analisis Data, 2022.

Tabel 4. 16 Perhitungan Nilai RPD Parameter Fosfat

Fosfat			
Titik	Data Lapangan	Data Model	Cek error
T1	0.250	0.250	0%
T2	0.320	0.320	0%
T3	0.530	0.530	0%
T4	0.480	0.530	10%
T5	0.860	0.860	0%
T6	0.790	0.790	0%
T7	0.910	0.779	14%
T8	0.980	0.779	21%
	Rata-rata		6%

Sumber : Analisis Data, 2022.

Tabel 4. 17 Perhitungan Nilai RPD Parameter Amonia

Amonia			
Titik	Data Lapangan	Data Model	Cek error
T1	0.053	0.053	0%
T2	0.055	0.069	25%
T3	0.113	0.113	0%
T4	0.092	0.059	36%
T5	0.460	0.345	25%
T6	0.247	0.235	5%
T7	0.232	0.231	0%
T8	0.354	0.213	40%
	Rata-rata		16%

Sumber : Analisis Data, 2022.

Dari hasil perhitungan dengan metode RPD, diperoleh nilai error debit sebesar 11%, fosfat sebesar 6%, dan amonia sebesar 16%. Nilai ini sesuai dengan ketentuan < 25%, maka model dapat diterima.

c. *Root Mean Square Percent Error (RMSPE)*

Persamaan yang digunakan adalah:

$$RSMPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{n=1}^n \left(\frac{St-At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\% \quad (3)$$

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% (Chuco, 2004).

Berikut adalah hasil perhitungan validasi model menggunakan metode RPD yang dapat dilihat pada tabel 4.18, 4.19, dan 4.20.

Tabel 4. 18 Perhitungan Nilai RMSPE pada Debit

Debit				
Titik	Lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{Lapangan - Model}{Model} \right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8} ([\Sigma (3)] \times 100\%)}$
T1	0.280	0.28	0	16%
T2	0.640	0.64	0	
T3	9.03	9.03	3.86977E-32	
T4	4.830	9.03	0.216333153	
T5	3.330	3.23	0.000958506	
T6	5.100	5.10	1.21317E-31	
T7	8.460	8.46	0	
T8	5.380	5.38	2.72544E-32	
Jumlah			0.217291659	

Sumber : Analisis Data 2022.

Tabel 4. 19 Perhitungan Nilai RMSPE Parameter Fosfat

Fosfat				
Titik	Lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{Lapangan - Model}{Model}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma (3)] \times 100\%)}$
T1	0.250	0.250	0	11%
T2	0.320	0.320	0	
T3	0.530	0.530	0	
T4	0.480	0.530	0.008899964	
T5	0.860	0.860	0	
T6	0.790	0.790	0	
T7	0.910	0.779	0.028279236	
T8	0.980	0.779	0.066575924	
Jumlah			0.103755124	

Sumber : Analisis Data 2022.

Tabel 4. 20 Perhitungan Nilai RMSPE Parameter Amonia

Amonia				
Titik	Lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{Lapangan - Model}{Model}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma (3)] \times 100\%)}$
T1	0.053	0.053	0	34%
T2	0.055	0.069	0.041167822	
T3	0.113	0.113	0	
T4	0.092	0.059	0.312841138	
T5	0.460	0.345	0.111111111	
T6	0.247	0.235	0.002607515	
T7	0.232	0.231	1.87403E-05	
T8	0.354	0.213	0.438206705	
Jumlah			0.905953031	

Sumber : Analisis Data 2022.

Dari hasil perhitungan dengan metode RPD, diperoleh nilai error debit sebesar 16%, fosfat sebesar 11%, dan amonia sebesar 34%. Nilai ini sesuai dengan ketentuan $< 50\%$, maka model dapat diterima.

4.6.3 Simulasi Model

Simulasi model dilakukan untuk mengetahui kualitas air sungai dalam berbagai berbagai kondisi. Pada penelitian ini simulasi dilakukan dengan 3

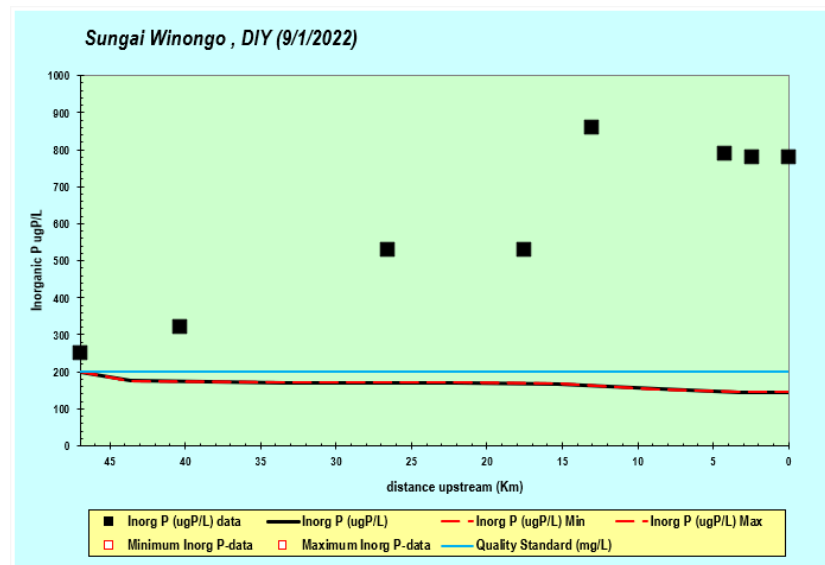
skenario yaitu modifikasi beban pencemar, oksigenasi lokal, dan kombinasi modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal. Berikut adalah skenario yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Skenario Simulasi Model

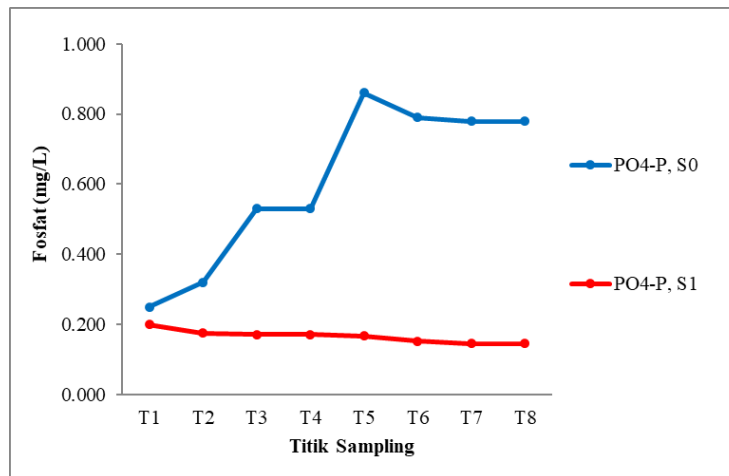
Skenario	Deskripsi
S0	Kondisi Eksisting
S1	Modifikasi Beban Pencemar
S2	Oksigenasi Lokal
S3	Kombinasi Skenario (S1+S2)

4.6.3.1 Skenario 1

Skenario 1 adalah memodifikasi beban pencemar dengan cara *trial and error* konsentrasi pencemar yang masuk pada *point source* dan *diffuse source* yang bertujuan untuk memenuhi baku mutu yang ditetapkan sesuai PP No. 22 Tahun 2021. Berikut merupakan hasil simulasi skenario 1 dan perbandingan sebelum dan setelah simulasi pada parameter fosfat yang dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16.



Gambar 4. 15 Model Skenario 1 Parameter Fosfat



Gambar 4. 16 Perbandingan Fosfat Sebelum dan Setelah Skenario 1

Pada gambar 4.15 menunjukkan model hasil simulasi dan pada gambar 4.16 yakni perbandingan nilai konsentrasi fosfat sebelum dan setelah simulasi. Pada sumber pencemar dilakukan *trial and error* untuk memperoleh kualitas air yang memenuhi baku mutu air kelas II. Sehingga diperoleh konsentrasi fosfat dan amonia masih memenuhi baku mutu dengan kualitas air sungai di hulu diasumsikan sudah memenuhi baku mutu dan hasil tren garis (model) juga diasumsikan sesuai baku mutu air kelas II.

Dengan skenario ini nilai konsentrasi fosfat menjadi turun. Di titik 1 konsentrasi fosfat semula 0,25 mg/L menjadi 0,200 mg/L, di titik 2 semula 0,320 mg/L menjadi 0,176 mg/L, di titik 3 semula 0,200 mg/L menjadi 0,172 mg/L, di titik 4 semula 0,530 mg/L menjadi 0,172 mg/L, di titik 5 semula 0,860 mg/L menjadi 0,167 mg/L, di titik 6 semula 0,790 mg/L menjadi 0,153 mg/L, di titik 7 semula 0,779 mg/L menjadi 0,145 mg/L, dan di titik 8 semula 0,779 mg/L menjadi 0,145 mg/L. Dari hasil simulasi skenario 1 untuk mendapatkan kualitas air sungai yang memenuhi baku mutu, maka diperlukan pengurangan beban pencemar pada fosfat dengan besaran sebagai berikut yang dapat dilihat pada tabel 4.22.

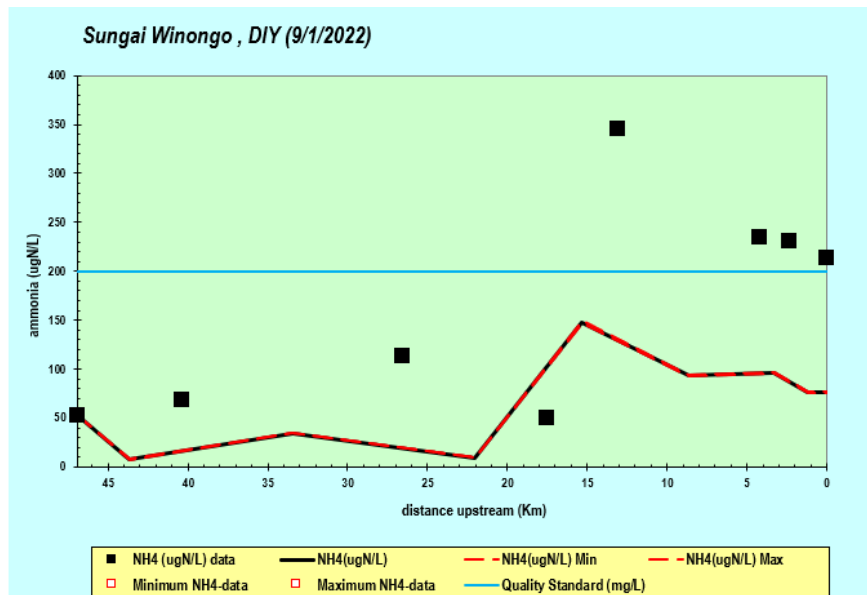
Tabel 4. 22 Modifikasi Beban Pencemar Parameter Fosfat

Segmen	Sumber Pencemar	Fosfat (mg/L)		Persentase Penurunan
		Sebelum Simulasi	Setelah Simulasi	
Segmen 1	Anak Sungai 1	0.087	0.087	0.00%
	Perikanan	0.777	0.145	81.34%
Segmen 2	Pertanian	0.388	0.185	52.32%
	Limbah Domestik	0.596	0.167	71.98%
Segmen 3	Drainase	1.530	0.150	90.20%
Segmen 4	Limbah Domestik	4.190	0.135	96.78%
	Drainase	3.340	0.175	94.76%
Segmen 5	Perikanan	0.450	0.125	72.22%
Segmen 6	Pertanian	5.364	0.155	97.11%
Segmen 7	Anak Sungai 2	0.765	0.135	82.35%
	Anak Sungai 3	0.562	0.165	70.64%

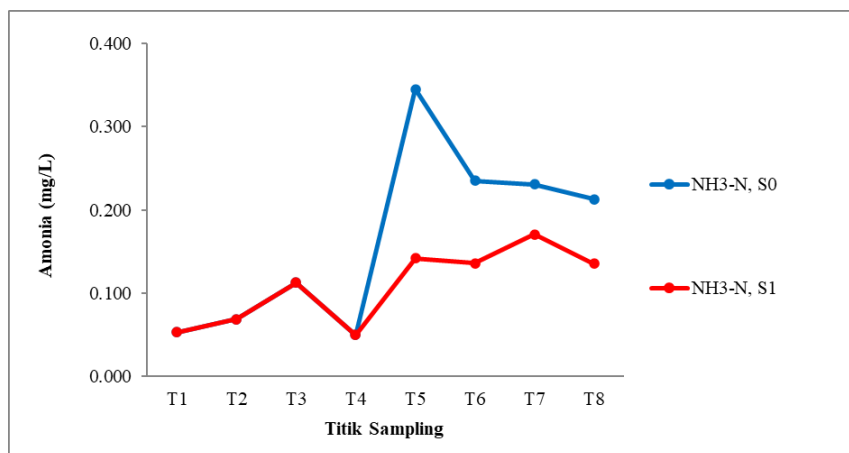
Sumber : Analisis Data, 2022.

Dari tabel 4.22 tersebut diketahui bahwa untuk mendapatkan kadar fosfat yang memenuhi baku mutu, maka diperlukan penetapan beban pencemar pada setiap sumber pencemar dengan besaran maksimum yaitu 0,2 mg/L. Menurut (Hendrawan, 2005), kualitas air permukaan ditentukan oleh lingkungan di sekelilingnya, apabila mengalami penurunan kualitas maka disebabkan sumber pencemar akibat adanya perubahan lingkungan. Aktivitas manusia disekitar daerah aliran sungai menjadi penentu besaran beban pencemar yang masuk ke perairan tersebut. Keberadaan fosfat di perairan berasal dari akumulasi limbah domestik dari pemukiman penduduk, kegiatan MCK, dan limbah pertanian. Penggunaan fosfor banyak ditemukan sebagai sabun atau deterjen, pupuk, minyak pelumas, produk makanan dan minuman, dan lain-lain (Yulistia, 2020).

Berikut merupakan hasil simulasi skenario 1 pada parameter amonia yang dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4. 17 Model Skenario 1 Parameter Amonia



Gambar 4. 18 Perbandingan Amonia Sebelum dan Setelah Skenario 1

Pada gambar 4.17 dapat dilihat bahwa model hasil simulasi menunjukkan konsentrasi amonia mengalami penurunan. Perubahan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.18 yang menunjukkan perbandingan konsentrasi amonia sebelum dan setelah simulasi. Di titik 1 hingga titik 4 tidak terjadi perubahan dikarenakan masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Penggunaan *trial and error* dilakukan pada sumber pencemar di titik 5, titik 6, titik 7, dan titik 8 yang menyebabkan kualitas air sungai pada keempat titik tersebut berada

diatas baku mutu. Setelah dilakukan simulasi, di titik 5 konsentrasi amonia semula 0,345 mg/L menjadi 0,142 mg/L, di titik 6 semula 0,235 mg/L menjadi 0,136, di titik 7 semula 0,231 mg/L menjadi 0,171 mg/L, dan di titik 8 semula 0,213 mg/L menjadi 0,135 mg/L. Dari hasil simulasi skenario 1 untuk mendapatkan kualitas air sungai yang memenuhi baku mutu, maka diperlukan pengurangan beban pencemar pada amonia dengan besaran sebagai berikut yang dapat dilihat pada tabel 4.23.

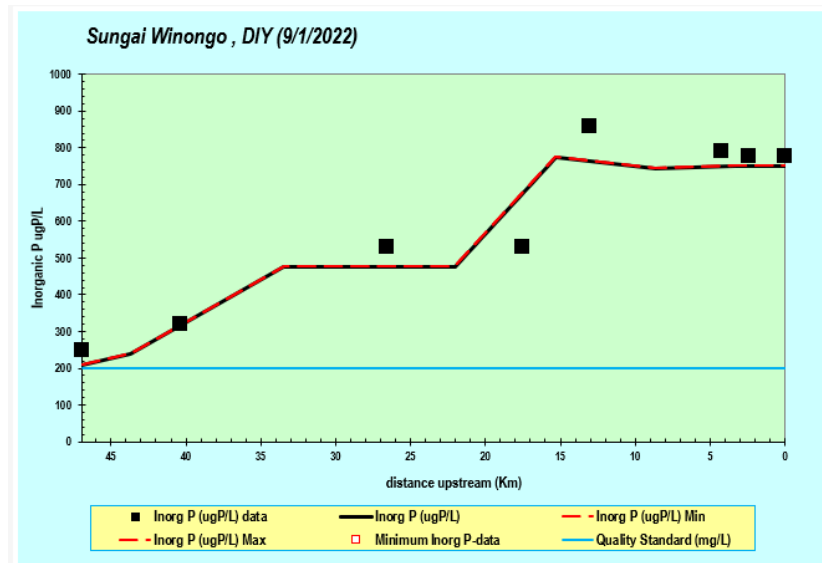
Tabel 4. 23 Modifikasi Beban Pencemar Parameter Amonia

Segmen	Sumber Pencemar	Amonia (mg/L)		Persentase Penurunan
		Sebelum Simulasi	Setelah Simulasi	
Segmen 1	Anak Sungai 1	0.030	0.030	0.00%
	Perikanan	0.600	0.600	0.00%
Segmen 2	Pertanian	0.168	0.168	0.00%
	Limbah Domestik	0.197	0.197	0.00%
Segmen 3	Drainase	0.347	0.347	0.00%
Segmen 4	Limbah Domestik	4.250	1.950	54.12%
	Drainase	0.158	0.100	36.71%
Segmen 5	Perikanan	3.210	1.000	68.85%
Segmen 6	Pertanian	5.075	2.000	60.59%
Segmen 7	Anak Sungai 2	0.321	0.230	28.35%
	Anak Sungai 3	0.225	0.155	31.11%

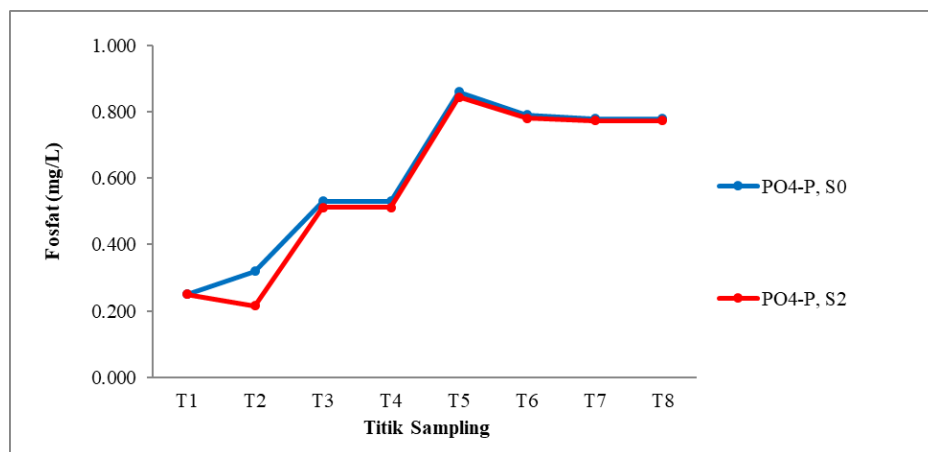
Sumber : Analisis Data, 2022.

4.6.3.2 Skenario 2

Skenario 2 dilakukan dengan mengasumsikan adanya bangunan terjunan pada semua titik. Keberadaan terjunan ini akan menimbulkan oksigenasi lokal sehingga skenario ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh peningkatan oksigen terhadap kadar fosfat dan amonia. Berikut merupakan hasil simulasi skenario 2 pada parameter fosfat yang dapat dilihat pada gambar 4.19 dan 4.20.



Gambar 4. 19 Model Skenario 2 Parameter Fosfat

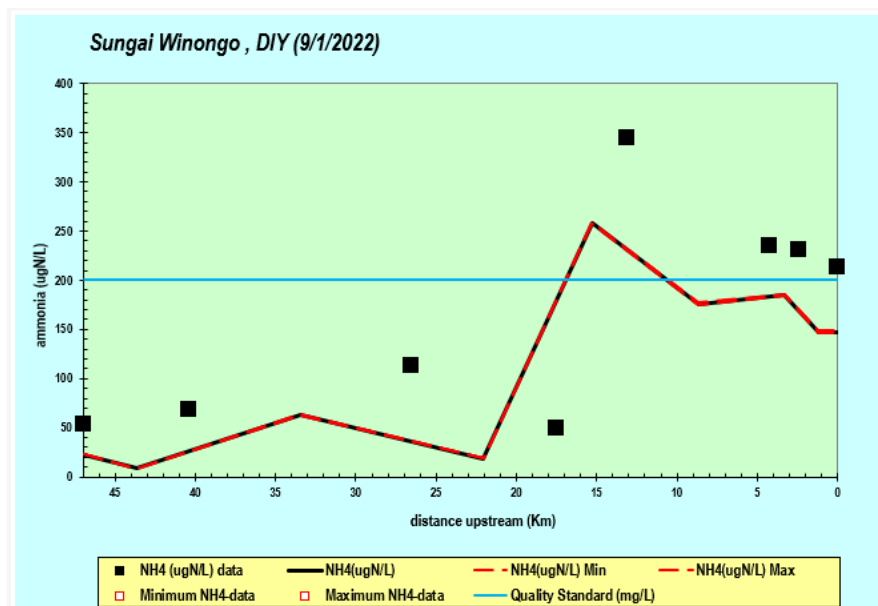


Gambar 4. 20 Perbandingan Fosfat Sebelum dan Sesudah Skenario 2

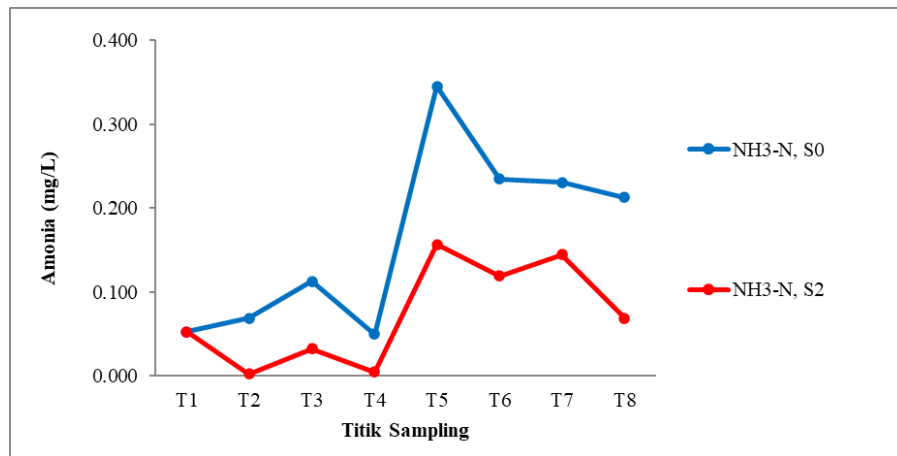
Pada gambar 4.20 hasil simulasi model menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat mengalami penurunan, ini terbukti dari gambar 4.21 yang menunjukkan perbandingan konsentrasi fosfat sebelum dan setelah dilakukannya simulasi skenario 2. Setelah dilakukannya simulasi, adanya bangunan terjunan pada semua titik menyebabkan penurunan konsentrasi fosfat namun tidak terlalu signifikan. Di titik 2 semula 0,320 mg/L menjadi 0,215 mg/L, di titik 3 semula 0,530 mg/L menjadi 0,512 mg/L, di titik 4 semula 0,530 mg/L menjadi 0,512 mg/L, di titik 5 semula 0,860 mg/L menjadi 0,844 mg/L, di titik 6 semula 0,790 mg/L menjadi 0,780 mg/L, di titik 7 semula 0,779 mg/L menjadi 0,773 mg/L,

dan di titik 8 semula 0,779 mg/L menjadi 0,773 mg/L. Terjadinya penurunan ini dikarenakan adanya bangunan terjunan menyebabkan terjadinya aerasi yang mengarah pada munculnya efek oksigenasi lokal (Dyah, 2013). Aerasi akan meningkatkan kandungan oksigen dalam air dan akan menyebabkan peningkatan interaksi polutan pencemar dengan mikroorganisme. Oksigen memegang peranan penting yang dimanfaatkan oleh organisme perairan untuk respirasi dan penguraian zat-zat organik oleh mikroorganisme. Dengan meningkatnya oksigen maka akan menurunkan konsentrasi pencemar akibat dari proses yang dilakukan oleh mikroorganisme (Karches, 2018). Dari hasil simulasi skenario 2 dengan adanya terjunan pada semua titik dapat menurunkan konsentrasi fosfat. Namun penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan, pada semua titik masih berada diatas baku mutu..

Berikut merupakan hasil simulasi skenario 2 pada parameter amonia yang dapat dilihat pada gambar 4.21 dan 4.22.



Gambar 4. 21 Model Skenario 2 Parameter Amonia



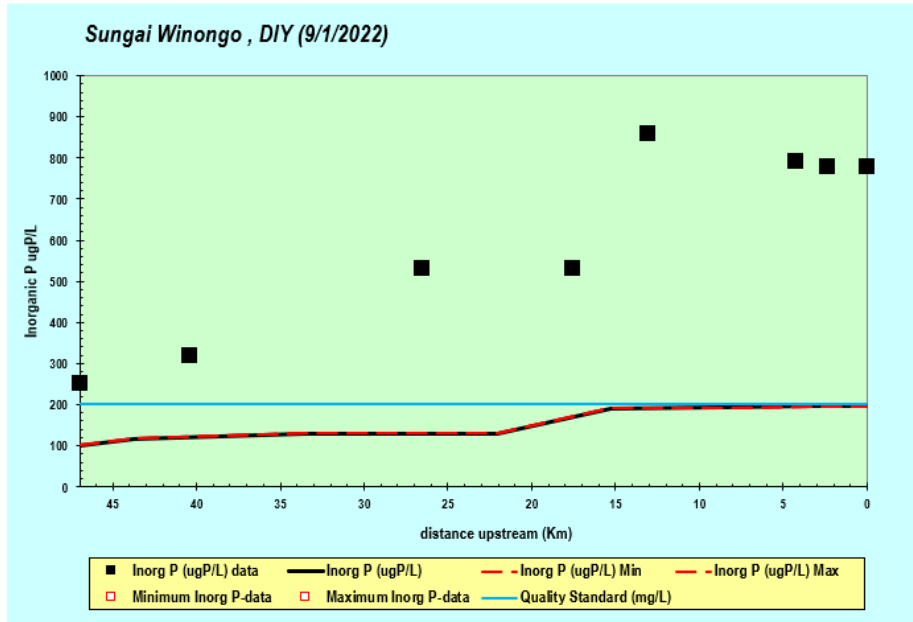
Gambar 4. 22 Perbandingan Amonia Sebelum dan Setelah Skenario 2

Pada gambar 4.21 model hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi amonia mengalami penurunan. Dapat dilihat dari gambar 4.22 , perbandingan nilai konsentrasi amonia sebelum dan setelah simulasi skenario 2. Konsentrasi amonia di titik 2 semula 0,069 mg/L menjadi 0,008 mg/L, di titik 3 semula 0,113 mg/L menjadi 0,063 mg/L, di titik 4 semula 0,050 mg/L menjadi 0,019 mg/L, di titik 5 semula 0,345 mg/L menjadi 0,258 mg/L, di titik 6 semula 0,235 mg/L menjadi 0,176 mg/L, di titik 7 semula 0,231 mg/L menjadi 0,185 mg/L, dan di titik 8 semula 0,213 mg/L menjadi 0,147 mg/L. Secara keseluruhan konsentrasi amonia setelah simulasi mengalami penurunan, ini dikarenakan terjadinya aerasi dengan adanya terjunan. Aerasi akan meningkatkan kandungan oksigen dalam air dan akan menyebabkan peningkatan interaksi polutan pencemar dengan mikroorganisme sehingga akan menyebabkan konsentrasi pencemar menurun (Yulianti, 2019). Dari hasil simulasi skenario 2 dengan oksigenasi lokal, dapat menurunkan konsentrasi amonia hingga dibawah baku mutu kecuali pada titik 5.

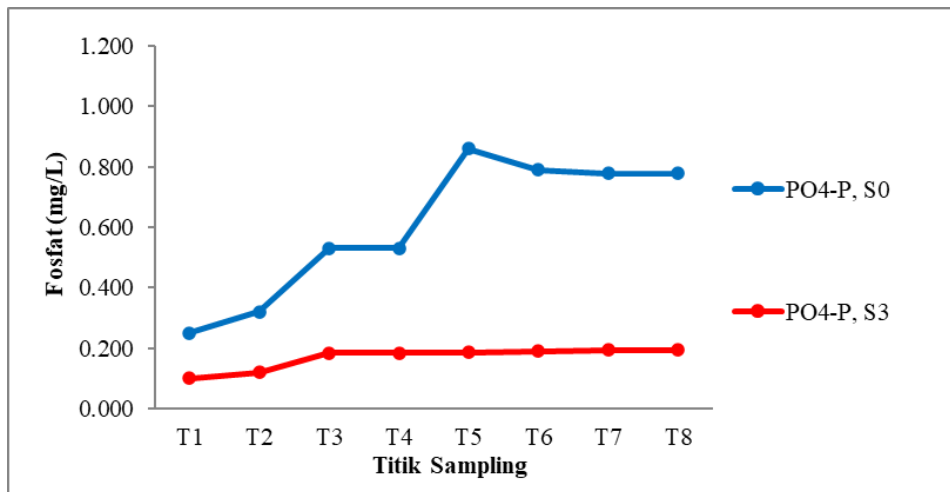
4.6.3.3 Skenario 3

Skenario 3 dilakukan dengan menggabungkan skenario modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal. Ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kombinasi skenario ini terhadap konsentrasi fosfat dan amonia. Berikut

merupakan hasil simulasi skenario 3 pada parameter fosfat yang dapat dilihat pada gambar 4.23 dan 4.24.



Gambar 4. 23 Model Skenario 3 Parameter Fosfat

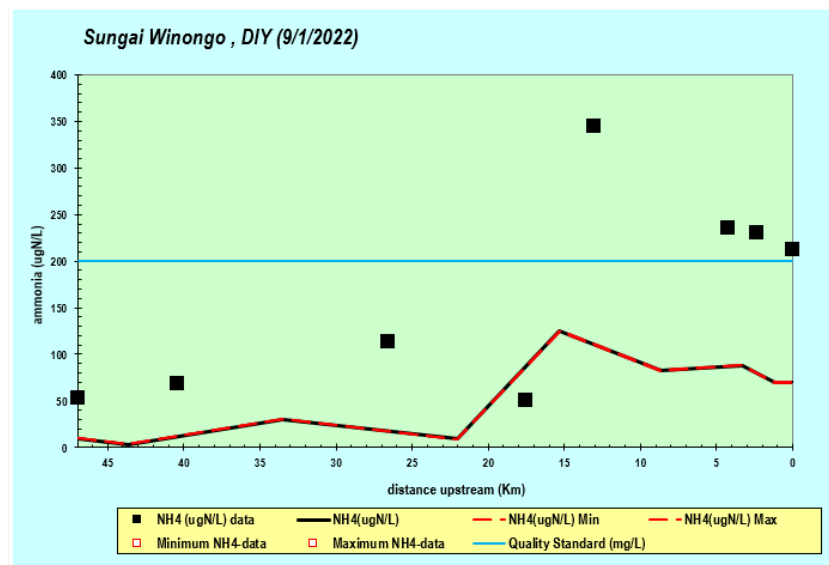


Gambar 4. 24 Perbandingan Fosfat Sebelum dan Setelah Skenario 3

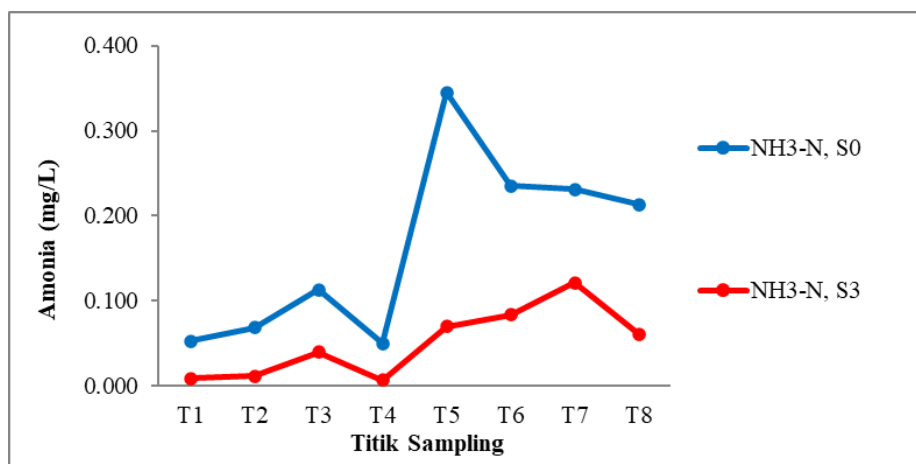
Pada gambar 4.23 model hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat pada titik 1 hingga titik 8 mengalami penurunan. Dapat dilihat pada gambar 4.24 perbandingan konsentrasi fosfat sebelum dan setelah simulasi. Konsentrasi fosfat di titik 1 semula 0,25 mg/L menjadi 0,101 mg/L, di titik 2 semula 0,320 mg/L menjadi 0,119 mg/L, di titik 3 semula 0,530 mg/L menjadi 0,184 mg/L,

di titik 4 semula 0,530 mg/L menjadi 0,184 mg/L, di titik 5 semula 0,860 mg/L menjadi 0,186 mg/L, di titik 6 semula 0,790 mg/L menjadi 0,190 mg/L, di titik 7 semula 0,779 mg/L menjadi 0,194 mg/L, dan di titik 8 semula semula 0,779 mg/L menjadi 0,194 mg/L. Setelah dilakukannya simulasi skenario 3 konsentrasi fosfat pada titik 1 hingga titik 8 mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan karena adanya pengurangan beban pencemar pada sumber pencemar dan adanya terjunan yang menyebabkan aerasi. Dari hasil simulasi skenario 3 dengan menggabungkan skenario modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal, diketahui bahwa kombinasi skenario tersebut dapat menurunkan konsentrasi fosfat pada semua titik hingga berada dibawah baku mutu yang diizinkan.

Berikut merupakan hasil simulasi skenario 3 pada parameter amonia yang dapat dilihat pada gambar 4.25 dan 4.26.



Gambar 4. 25 Model Skenario 3 Parameter Amonia



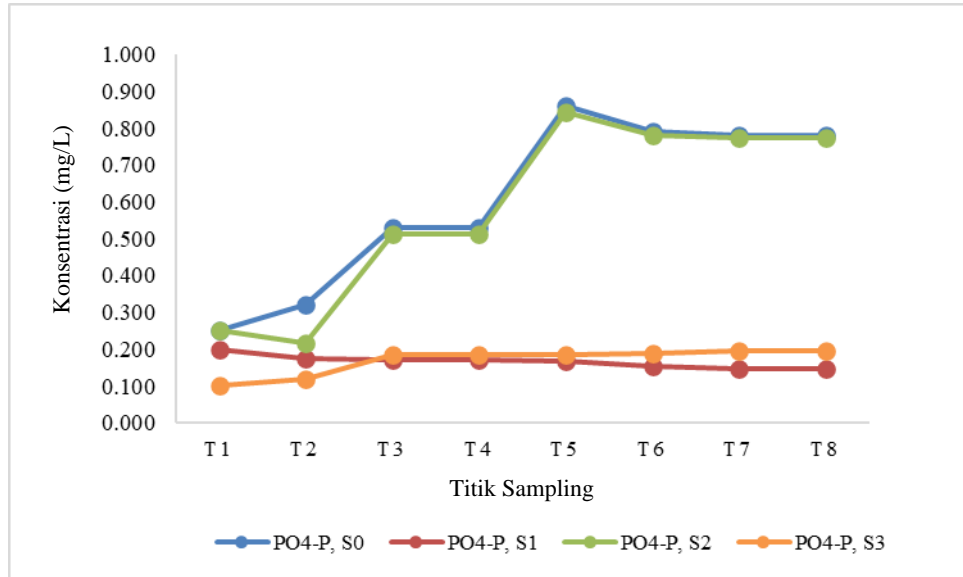
Gambar 4. 26 Perbandingan Amonia Sebelum dan Setelah Skenario 3

Pada gambar 4.25 model hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi amonia mengalami penurunan pada titik 1 hingga titik 8. Dapat dilihat pada gambar 4.26 terdapat perbandingan konsentrasi amonia sebelum dan setelah simulasi. Konsentrasi amonia pada titik 1 semula 0,053 mg/L menjadi 0,009 mg/L, di titik 2 semula 0,069 mg/L menjadi 0,012 mg/L, di titik 3 semula 0,113 mg/L menjadi 0,040 mg/L, di titik 4 semula 0,050 mg/L menjadi 0,007 mg/L, di titik 5 semula 0,345 mg/L menjadi 0,070 mg/L, di titik 6 semula 0,235 mg/L menjadi 0,084 mg/L, di titik 7 semula 0,231 mg/L menjadi 0,122 mg/L, dan di titik 8 semula 0,213 mg/L menjadi 0,061 mg/L. Setelah dilakukannya simulasi, terjadi penurunan konsentrasi amonia dari titik 1 hingga titik 8. Penurunan ini disebabkan karena adanya pengurangan beban pencemar sebesar pada sumber pencemar dan terjunan yang menyebabkan aerasi. Dari hasil simulasi skenario 3 dengan menggabungkan skenario modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal, diketahui bahwa kombinasi skenario tersebut dapat menurunkan konsentrasi amonia pada semua titik hingga berada dibawah baku mutu.

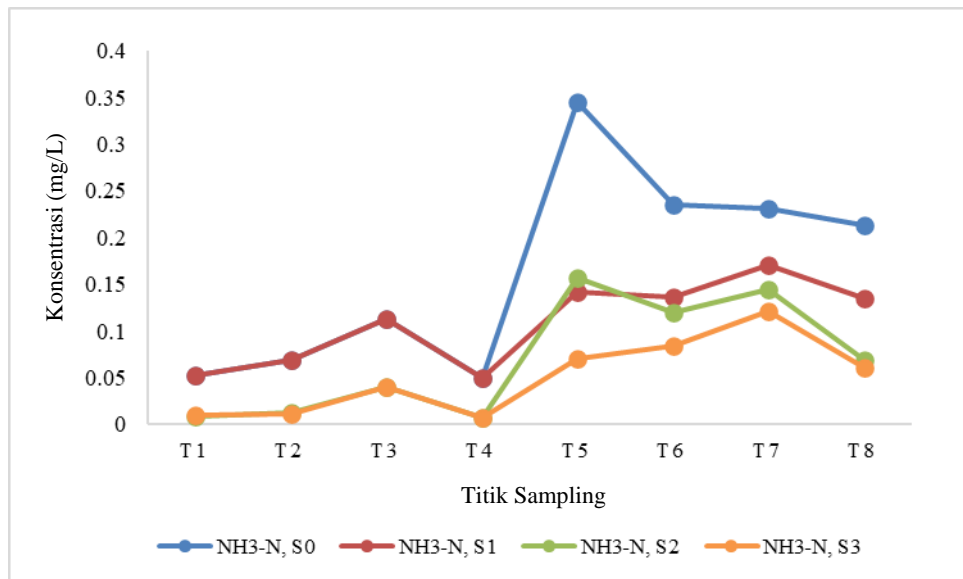
4.6.4 Perbandingan Hasil Simulasi

Hasil yang diperoleh dari 3 skenario yang berbeda jelas menunjukkan penurunan konsentrasi fosfat dan amonia yang berbeda pula. Berikut merupakan grafik perbandingan hasil kualitas air dan diagram persentase

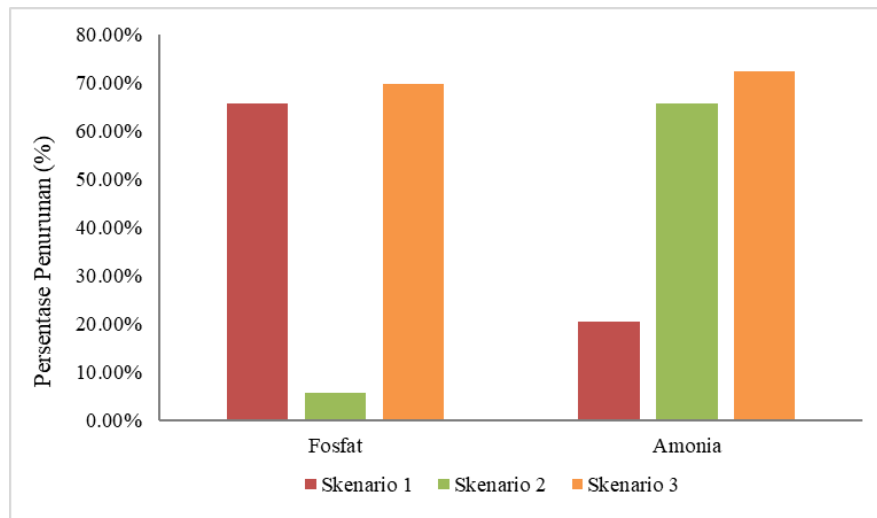
penurunan dari tiga skenario yang telah dilakukan, dapat dilihat pada gambar 4.27, 4.28, dan 4.29 dibawah ini.



Gambar 4. 27 Perbandingan Hasil Skenario Parameter Fosfat



Gambar 4. 28 Perbandingan Hasil Skenario Parameter Amonia



Gambar 4. 29 Perbandingan Persentase Penurunan 3 Skenario

Dari gambar 4.27, 4.28, dan 4.29 menunjukkan bahwa dari tiga skenario yang telah dilakukan, untuk parameter fosfat penggunaan skenario 1 menunjukkan hasil penurunan secara signifikan, skenario 2 menunjukkan penurunan terendah, dan pada skenario 3 menunjukkan hasil penurunan tertinggi. Ini menandakan kandungan fosfat di perairan cenderung dipengaruhi oleh banyaknya pencemar yang masuk ke dalamnya. Sedangkan untuk parameter amonia, skenario 1 menunjukkan hasil penurunan terendah, skenario 2 menunjukkan hasil penurunan cukup tinggi, dan pada skenario 3 menunjukkan hasil penurunan tertinggi. Ini menandakan kandungan amonia di perairan cenderung dipengaruhi oleh banyaknya oksigen. Oleh karena itu, skenario 3 adalah skenario yang paling efektif untuk menurunkan beban pencemar fosfat dan amonia di Sungai Winongo.

4.7 Alternatif Pengelolaan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperlukan upaya pengelolaan Sungai Winongo untuk menurunkan beban pencemar sehingga kualitas air dapat meningkat dan dapat digunakan sesuai peruntukannya. Alternatif pengelolaan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Penurunan limbah domestik dilakukan dengan pengoptimalan layanan IPAL Komunal untuk pemukiman penduduk pada segmen 2, segmen 3, dan

segmen 4 aliran Sungai Winongo dan meningkatkan kinerja IPAL dengan melakukan pemantauan secara berkala. Menurut Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Yogyakarta, data eksisting jumlah IPAL adalah sebanyak 23 unit namun 1 unit tidak berfungsi, dengan kapasitas terbangun untuk 1.397 KK dan kapasitas terpakai sebanyak 705 KK, sehingga perlu dioptimalkan penggunaannya. Adanya pengelolaan limbah diharapkan dapat menurunkan beban pencemar sebelum masuk ke sungai. Keefektifan instalasi pengolahan air limbah menunjukkan bahwa instalasi pengolahan air limbah berhasil mengurangi fosfat sebesar 72,5% dan amonia sebesar 79,45% (Sattuang, 2020).

2. Peningkatan oksigen di setiap segmen yang dapat berupa susunan batu bertingkat ataupun bangunan terjunan. Ini akan menyebabkan terjadinya aerasi secara ilmiah dan berpotensi untuk mendegradasi polutan sehingga sungai dapat melakukan upaya *self purification* (Rezagama, 2019). Hasil dari simulasi skenario 2, adanya peningkatan oksigen ini dapat mengurangi fosfat sebesar 5,52% dan amonia sebesar 65,55%.
3. Penanaman vegetasi di area riparian dan di sekitar pertanian untuk menyerap pencemar fosfat dan amonia serta padatan tersuspensinya. Vegetasi digunakan sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan fosfat dan amonia (Prasetyo et al., 2013). Menurut (Kaspar et al, 2008), vegetasi dapat mengurangi fosfat dan amonia sebesar 13% - 94%. Area riparian berfungsi untuk mengendalikan erosi, retensi nutrisi, sedimen, dan polutan (Chasna, 2016). Jenis tanaman untuk area riparian diantaranya:
 - a. Pohon
Pohon adalah tumbuhan atau tanaman yang berkayu memiliki ketinggian diatas 1,5 meter atau lebih, dan terbagi menjadi dua kelompok tumbuhan: berakar tunjang (akasia, beringin, dan lainnya) dan berakar serabut (kelapa, bambu, dan lainnya) (Ramadhanti, 2019).
 - b. Semak
Semak adalah jenis tumbuhan berumpun dengan batang pendek dan tinggi kurang lebih hingga 1,5 m. Contoh tanaman semak yang biasa

digunakan adalah : pacar air, widelia, soka, puring, kaktus, samblung, dan lainnya (Ramadhanti, 2019).

c. Rumput

Rerumputan dan vegetasi herba merupakan jenis vegetasi esensial yang terdapat di bawah tegakan hutan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, sumber makanan bagi tumbuhan, sebagai tanaman obat, sebagai penahan gempuran air hujan, dan sebagai penghambat aliran air permukaan (Nirwani, 2010). Secara taksonomi vegetasi rumput umumnya anggota dari suku-suku *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Araceae*, *Asteraceae*, paku-pakuan dan lain-lain (Ramadhanti, 2019).

4. Teknologi pulau terapung buatan menggunakan tanaman akar wangi. Tanaman Akar wangi (*Vetiveria Zizanioides*) dapat menurunkan konsentrasi fosfat sebesar 69,0% dan amonia sebesar 56,1% (Fitria et al, 2016). Menurut Gerrard (2008), akar wangi digunakan untuk menyerap fosfat, nitrogen, dan logam berat. Tanaman akar wangi tersebut ditanam dalam sebuah platform yaitu pulau terapung buatan yang merupakan salah satu teknik restorasi yang dapat diterapkan di danau, waduk, kolam atau sungai. Desain struktur pulau buatan harus memperhatikan 5 faktor, di antaranya stabilitas, daya tahan, lanskap, ekonomi dan konstruksi dan harus mempertimbangkan gaya eksternal di antaranya angin, aliran air dan gelombang. Hasil penelitian Ihsan (2014) mengemukakan panjang akar tanaman berpengaruh terhadap jumlah konsentrasi fosfat dan nitrogen, sehingga semakin panjang akar tanaman tersebut akan semakin besar dalam menyerap polutan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kualitas air Sungai Winongo sesuai standar baku mutu air kelas II menurut PP No. 22 Tahun 2021 pada titik pemantauan yang dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Parameter fosfat dari titik 1 hingga titik 8 telah melebihi standar baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,2 mg/L dengan konsentrasi secara berturut-turut sebesar 0,25 mg/L, 0,320 mg/L, 0,530 mg/L, 0,480 mg/L, 0,860 mg/L, 0,790 mg/L, 0,910 mg/L, dan 0,980 mg/L.
 - b. Parameter amonia dari titik 1 hingga titik 8 tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,5 mg/L dengan konsentrasi secara berturut-turut sebesar 0,05 mg/L, 0,055 mg/L, 0,113 mg/L, 0,092 mg/L, 0,460 mg/L, 0,247 mg/L, 0,232 mg/L, dan 0,354 mg/L.
2. Hasil model Qual2Kw yang paling efektif adalah dengan kombinasi modifikasi beban pencemar dan oksigenasi lokal. Alternatif pengelolaan yang dapat dilakukan untuk menurunkan beban pencemar adalah :
 - a. Penurunan limbah domestik dilakukan dengan pengoptimalan layanan IPAL Komunal untuk pemukiman penduduk pada segmen 2, segmen 3, dan segmen 4 aliran Sungai Winongo dan meningkatkan kinerja IPAL dengan melakukan pemantauan secara berkala.
 - b. Peningkatan oksigen di setiap segmen yang dapat berupa susunan batu bertingkat ataupun bangunan terjunan.
 - c. Penanaman vegetasi di area riparian dan di sekitar pertanian untuk menyerap pencemar fosfat dan amonia serta padatan tersuspensinya.
 - d. Teknologi pulau terapung buatan menggunakan tanaman akar wangi.

5.2. Saran

Dengan hasil yang telah dilakukan pada penelitian ini. Adapun saran bagi peneliti selanjutnya yaitu :

1. Pendataan dan inventarisasi sumber pencemar pada Sungai Winongo.
2. Pengambilan sampel air pada sumber pencemar *point source* dan pemahaman terkait potensi pencemaran yang ada sehingga model yang dihasilkan dapat mendekati kondisi yang sebenarnya.
3. Pengkajian terkait kondisi sungai secara rutin untuk mengetahui perubahan kualitas air sehingga dapat mengurangi pencemaran air Sungai Winongo.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Kamal., Muhammad, N. S., & Abdullah, J. (2020). **Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS.** *Environmental Pollution*, 259, 113909.
- Angello, Z. A., Behailu, B. M., & Tränckner, J. (2021). **Selection of Optimum Pollution Load Reduction and Water Quality Improvement Approaches Using Scenario Based Water Quality Modeling in Little Akaki River, Ethiopia.** *Water*, 13(5), 584.
- Anshari, I. A. L. (2022). **Analisis Distribusi Nitrat, Fosfat, dan Silikat Di Perairan Pesisir Tompotana, Kecamatan Kepulauan Tanakeke, Kabupaten Takalar Menggunakan Indikator Fitoplankton= Analysis of Nitrate, Phosphate, and Silicate Distribution in Coastal Waters of Tompotana, Tanakeke Islands Subdistrict, Takalar Regency Using Phytoplankton Indicator** (*Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin*).
- Asdak, C. (2018). **Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai.** Gadjah Mada University Press.
- Bai, J., Ye, X., Jia, J., Zhang, G., Zhao, Q., Cui, B., & Liu, X. (2017). **Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions.** *Chemosphere*, 188, 677–688.
- Bayu, R., Haris, K., & Apung, K. J. (2018). **Studi Parameter Fisika Kimia Air Untuk Keramba Jaring Apung Di Kecamatan Sirah Pulau Padang Kabupaten Ogan Komering Ilir Provinsi Sumatera Selatan.** *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*, 14(2), 57-62.
- Bhateria, R., & Jain, D. (2016). **Water quality assessment of lake water: a review.** *Sustainable Water Resources Management*, 2(2), 161–173.
- Boyd, C. E. (2017). **General relationship between water quality and aquaculture performance in ponds.** In *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*. Elsevier.
- Bui, H. H., Ha, N. H., Nguyen, T. N. D., Nguyen, A. T., Pham, T. T. H., Kandasamy, J., & Nguyen, T. V. (2019). **Integration of SWAT and QUAL2K for water quality modeling in a data scarce basin of Cau River basin in Vietnam.** *Ecohydrology and Hydrobiology*, 19(2), 210–223.
- Charlton, M. B., Bowes, M. J., Hutchins, M. G., Orr, H. G., Soley, R., & Davison, P. (2018). **Mapping eutrophication risk from climate change: Future phosphorus concentrations in English rivers.** *Science of the Total Environment*, 613–614, 1510–1526.
- Chasna, R. (2016). **Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan**

- Software Qual2kw (Studi Kasus: Sungai Code, Yogyakarta).** (Doctoral dissertation, UII).
- Christiana, R., Anggraini, I. M., & Syahwanti, H. (2020). **Analisis Kualitas Air dan Status Mutu Serta Beban Pencemaran Sungai Mahap di Kabupaten Sekadau Kalimantan Barat.** *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2).
- Chuco Dekissa, T. (2004). **Dynamic Integrated Modelling Of Basic Water Quality And Fate And Effect Of Organic Contaminants In Rivers** (Doctoral dissertation, Ghent University).
- Dhilla'ul, H. A. Q. (2021). **Analisis Daya Tampung Beban Cemarannya TSS Dan Fosfat Di Bagian Tengah Sungai Winongo Dengan Metode Qual2kw.** Dspace UII.
- Ding, T., Du, S., Huang, Z., Wang, Z., & Zhang, J. (2021). **Ecotoxicology and Environmental Safety Water quality criteria and ecological risk assessment for ammonia in the Shaying River Basin, China.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 215(December 2020), 112141.
- DIY, B. P. S. (2016). **Provinsi DI Yogyakarta Dalam Angka.** Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- DIY, B. P. S. (2017). **Provinsi DI Yogyakarta Dalam Angka.** Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- DIY, B. P. S. (2018). **Provinsi DI Yogyakarta Dalam Angka.** Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- DIY, B. P. S. (2019). **Provinsi DI Yogyakarta Dalam Angka.** Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- DIY, B. P. S. (2020). **Provinsi DI Yogyakarta Dalam Angka.** Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. (2018). **Water quality analysis and pollution load capacity of Pesanggrahan River, province of DKI Jakarta.** *Journal of Natural and Environmental Resources Management*, 8(1), 127-133.
- DLH. (2022). **Kualitas sungai Yogyakarta turun, warga diimbau kelola limbah domestik.** <https://www.antaraneews.com/berita/3144805/kualitas-sungai-yogyakarta-turun-warga-diimbau-kelola-limbah-domestik>
- DLH Bantul, K. (2020). **DLH Kabupaten Bantul.** <https://dlh.bantulkab.go.id/>
- DLH DIY. (2020). *Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah.*
- 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 (Application 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.

- Elida Novita, Rodzika Diah Mauvi, & Pradana, H. A. (2022). **Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Bedadung Kabupaten Jember Menggunakan Qual2kw.** *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 10(1)
- Fitria, Firda Lutfiatul dan Sarwoko Mangkoedihardjo. 2016. **Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Tanaman Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) untuk Menurunkan Kadar Amonium dan BOD pada Bed Evapotranspirasi.** *Jurnal Purifikasi*. Vol. 16, No. 2 : 78-90.
- Flickinger, D. L., Dantas, D. P., Proença, D. C., David, F. S., & Valenti, W. C. (2020). **Phosphorus in the culture of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) and tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in monoculture and in integrated multitrophic systems.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4), 1002–1023.
- Gandaseca, S., Rosli, N., Ngayop, J., & Arianto, C. I. (2011). **Status of water quality based on the physico-chemical assessment on river water at Wildlife Sanctuary Sibuti Mangrove Forest, Miri Sarawak.** *American Journal of Environmental Sciences*, 7(3), 269.
- Gao, Y., Li, H., Zheng, Y., Guo, R., & Liu, Z. (2021). **Study of water quality analysis and evaluation of Hengshui Lake.** *E3S Web of Conferences*, 272, 3–6.
- Gerrard M.A. (2008). **The ability of vetiver grass to act as a primary purifier of waste water; an answer to low cost sanitation and fresh water pollution.** *The Vetiver Network International*, Texas
- Gupta, N., Pandey, P., & Hussain, J. (2017). **Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India.** *Water Science*, 31(1), 11–23.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H., Suwito, S., & Maury, H. K. (2018). **Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di perairan distrik depapre, kabupaten jayapura.** *EnviroScienteeae*, 14(1), 8-15.
- Hashim, K. S., Al Khaddar, R., Jasim, N., Shaw, A., Phipps, D., Kot, P., ... & Alawsh, R. (2019). **Electrocoagulation as a green technology for phosphate removal from River water.** *Separation and Purification Technology*, 210, 135-144.
- Hendrawan, D. (2005). **Kualitas air sungai dan situ di DKI Jakarta.** *Makara Journal of Technology*, 9(1), 148037.
- Hikmah, N. (2021). **Analisis Kadar Ammonia (Nh3) Di Perairan Sekitar Pabrik Karet Daerah Banjarmasin Menggunakan Spektrofotometri Visible.** *Journal of Pharmaceutical Care Anwar Medika (J-PhAM)*, 4(1), 20-30.
- Ihsan, I. M. (2014). **Fitoremediasi Fosfat Dan Nitrogen Dengan Menggunakan**

Tanaman Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) Dan Teknologi Pulau Terapung Buatan. Pusat Teknologi Lingkungan BPPT

- Karches, T. (2018). **Effect of aeration on residence time in biological wastewater treatment.** *Pollack Periodica*, 13(2), 97-106.
- Kaspar, T.C., E.J. Kladvko, J.W. Singer, S. Morse, and D.R. Mutch. 2008. **Potential and limitations of cover crops, living mulches, and perennials to reduce nutrient losses to water sources from agricultural fields in the Upper Mississippi River Basin.** In *Final Report: Gulf Hypoxia and Local Water Quality Concerns Workshop*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- KemenPUPR, L. A. (2014). **Model sistem kualitas air sungai dan air tanah.**
- Koniyo, Y. (2020). **Analisis Kualitas Air Pada Lokasi Budidaya Ikan Air Tawar Di Kecamatan Suwawa Tengah.** *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 8(1), 52–58.
- Kudubun, R., Kisworo, K., & Rahardjo, D. (2020, September). **Pengaruh Tata Guna Lahan, Tipe Vegetasi Riparian, Dan Sumber Pencemar Terhadap Kualitas Air Sungai Winongo Di Daerah Istimewa Yogyakarta.** In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 6, No. 1, pp. 392-400).
- Kumar, M., & Puri, A. (2012). **A Review Of Permissible Limits Of Drinking Water.** *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 16(1), 40.
- Lestari, E. S., Wirman, S. P., Febriani, N., & Suroso, A. (2015). **Uji Ph Dan Karakter Fisik Kualitas Air Di Pemukiman Pabrik Kelapa Sawit (Pks) Naga Sakti Tapung Hilir.** *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*, 5(2), 131-139.
- Lestari, H., Haribowo, R., & Yuliani, E. (2019). **Determination of Pollution Load Capacity Using QUAL2Kw Program on The Musi River Palembang.** *Civil and Environmental Science Journal (CIVENSE)*, 2(2), 105-116.
- Lin, K., Zhu, Y., Zhang, Y., & Lin, H. (2019). **Determination of ammonia nitrogen in natural waters: Recent advances and applications.** *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 24, e00073.
- Lusiana, N., Sulianto, A. A., Devianto, L. A., & Sabina, S. (2020). **Penentuan Indeks Pencemaran Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Software QUAL2Kw (Studi Kasus Sungai Brantas Kota Malang).** *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 8(2), 161–176.
- M. Ghufran H. Kordi K., & Tancung, A. B. (2007). **Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budi Daya Perairan.** Rineka Cipta.
- Nasional, S. B. S. (2005). **SNI 6989.30: 2005 Tentang Cara Uji Kadar Amonia Dengan Spektrofotometer Secara Fenat.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Nasional, S. B. S. (2005). **SNI 6989.31: 2005 Tentang Cara Uji Kadar Fosfat Dengan Spektrofotometer Secara Asam Askorbat**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nasional, S. B. S. (2008). **SNI 6989.57: 2008 Tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nirwani, Z. (2010). **Keanekaragaman Tumbuhan Bawah Yang Berpotensi Sebagai Tanaman Obat Di utan Taman Nasional Gunung Leuser Sub Seksi Bukit Lawang**. *Jurnal Botani* Volume 2 Nomor 1, 7-8.
- Park, T. J., Lee, J. H., Lee, M. S., Park, C. H., Lee, C. H., Moon, S. D., Chung, J., Cui, R., An, Y. J., Yeom, D. H., Lee, S. H., Lee, J. K., & Zoh, K. D. (2018). **Development of water quality criteria of ammonia for protecting aquatic life in freshwater using species sensitivity distribution method**. *Science of the Total Environment*, 634, 934–940.
- Patty, S. I., & Akbar, N. (2019). **Sebaran Horizontal Fosfat, Nitrat dan Oksigen Terlarut di Perairan Pantai Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara**. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 2(1).
- Prasetyo, H. D., & Retnaningdyah, C. (2013). **Peningkatan Kualitas Air Irigasi Akibat Penanaman Vegetasi Riparian dari Hidromakrofit Lokal selama 50 Hari**. *Jurnal Biotropika*, 1(4), 149–153.
- Pratiwi, A., & Lanskap, F. A. (2019). **Bioindikator Kualitas Perairan Sungai**. *Jurnal Ilmiah Manusia dan Kesehatan*, 1(1), 1-6.
- Raehsi, N., Moradi, S., & Scholz, M. (2022). **Surface Water Resources Assessment and Planning with the QUAL2KW Model: A Case Study of the Maroon and Jarahi Basin (Iran)**. *Water*, 14(5), 705.
- Rahmat Eko, S., & Rilia, I. (2018). **Kualitas Air Sungai Di Desa Tanipah (Gambut Pantai), Kalimantan Selatan**. *BioLink Jurnal Biologi Lingkungan, Industri, Kesehatan*, 5, 1-10.
- Ramadhanti, N. R. N. (2019). **Hubungan Kualitas Vegetasi Riparian Terhadap Tingkat Keanekaragaman Makroinvertebrata Di Sumber Maron Kabupaten Malang Sebagai Sumber Belajar Biologi** (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- Rezagama, A., Sarminingsih, A., Rahmadani, A. Y., & Aini, A. N. (2019). **Pemodelan Peningkatan Kualitas Air Sungai melalui Variasi Debit Suplesi**. *TEKNIK*, 40(2), 106-114.
- Rosdiansyah, H. (2019). **Analisis kualitas air dan daya tampung beban pencemaran Kali Surabaya di Kecamatan Driyorejo** (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).
- Rosmeiliyana, R. (2021). **TA: Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Cisangkan, Kota Cimahi** (Doctoral dissertation,

Institut Teknologi Nasional Bandung).

- Rumhayati, B. (2018). **Studi senyawa fosfat dalam sedimen dan air menggunakan teknik diffusive gradient in thin films (DGT)**. *Jurnal Ilmu Dasar*, 11(2), 160-166.
- Samudro, S., Agustiningsih, D., & Sasongko, S. B. (2012). **Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal**. *Jurnal Presipitasi*, 9(2), 1–106.
- Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2021). **Impact Of COVID-19 Pandemic On Waste Management**. *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 7951–7960.
- Sastrawijaya, T. (2009). **Pencemaran Lingkungan (Environmental Pollution)**. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Sattuang, H. (2020). **Analisis Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Studi Kasus Batikite Resort Jenepono**. *Jurnal Ecosolum*, 9(1), 56-68.
- Sharp, D., & Sharp, D. (2018). **Dixie Drain 2017 Temperature Report Dixie Drain 2017 Temperature Monitoring and Analysis Report** Prepared by : September.
- Singh, J., Yadav, P., Pal, A. K., & Mishra, V. (2020). **Water Pollutants: Origin And Status. In Sensors In Water Pollutants Monitoring: Role Of Material** (pp. 5-20). Springer, Singapore.
- Singh PK., S. P. (2015). **Analysis of Water Quality of River Narmada**. *Vol. 7 No*, 24073-24076.
- Singh, R. L. S. and P. K. (2017). **Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future**. *Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future*.
- Staddal, I., Haridjaja, O., & Hidayat, Y. (2017). **Analisis debit aliran sungai DAS Bila, Sulawesi Selatan**. *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(2), 117–130.
- Sulistyo, B. (2017). **Tata Cara Analisis Pemodelan Lingkungan Berbasis Data Raster**. Lokus Tiara Wacana Group
- Sulistyono Putro, D., & Imam Santoso, A. (2022). **Dampak Penerapan Protokol Kesehatan Coronavirus Disease (COVID-19) Mencuci Tangan Terhadap Kualitas Air Permukaan Kota Palangkaraya Pada Era New Normal**. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 9(1), 45.
- Sutamihardja, R., Azizah, M., & Hardini, Y. (2018). **Studi Dinamika Senyawa Fosfat Dalam Kualitas Air Sungai Ciliwung Hulu Kota Bogor**. *Jurnal Sains Natural*, 8(1), 43.
- Sutrisno, A. J., Kaswanto, R. L., & Arifin, H. S. (2018). **Spatial and temporal**

- distribution of nitrate concentration in Ciliwung River, Bogor City.** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 179(1).
- Syafi'i, M., & Masduqi, A. (2011). **Aplikasi Model Simulasi Komputer Qual2kw Pada Studi Pemodelan Kualitas Air Kali Surabaya.** Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tansel, B., Lunn, G., & Monje, O. (2018). **Struvite formation and decomposition characteristics for ammonia and phosphorus recovery: A review of magnesium-ammonia-phosphate interactions.** *Chemosphere*, 194, 504–514.
- Tokatli, C., Titiz, A. M., Uğurluoğlu, A., Islam, M. S., Ustaoglu, F., & Islam, A. R. M. T. (2022). **Assessment of The Effects Of COVID-19 Lockdown Period on Groundwater Quality Of A Significant Rice Land In An Urban Area Of Türkiye.** *Environmental Science and Pollution Research*, 71752–71765.
- Ngoc Tran, C., Yossapol, C., Tantemsapya, N., Kosa, P., & Kongkhiaw, P. (2022). **Water Quality Simulation and Dissolved Oxygen Change Scenarios in Lam Takhong River in Thailand.** *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 10(1), 1-13.
- Wahyuningsih, S., & Gitarama, A. M. (2020). **Amonia pada sistem budidaya ikan.** *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 5(2), 112-125.
- Walker, D. B., Baumgartner, D. J., Gerba, C. P., & Fitzsimmons, K. (2019). **Surface Water Pollution.** In *Environmental and Pollution Science* (3rd ed.). Elsevier Inc.
- Whitehead, P. G., Jin, L., Bussi, G., Voepel, H. E., Darby, S. E., Vasilopoulos, G., Manley, R., Rodda, H., Hutton, C., Hackney, C., Tri, V. P. D., & Hung, N. N. (2019). **Water quality modelling of the Mekong River basin: Climate change and socioeconomics drive flow and nutrient flux changes to the Mekong Delta.** *Science of the Total Environment*, 673, 218–229.
- Wibowo, S. (2021). **Aplikasi Sistem Aquaponik Dengan Hidroponik Dft Pada Budidaya Tanaman Selada (*Lactuca Sativa L.*).** *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 8(2), 125-133.
- Wulandari, N., Perwira, I., & Ernawati, N. M. (2021). **Profil kandungan fosfat pada air di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Ayung, Bali.** *Current Trends in Aquatic Science IV*, 2(2), 108–115.
- Yanti, K. D., Fitriyaningsih, Y., & Saziati, O. (2022). **Analisis Kualitas Air dan Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Kapuas di Kecamatan Mukok Kabupaten Sanggau.** *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(1), 022-031.
- Yati, R. (2021). **Permasalahan Pencemaran Sungai Akibat Aktivitas Rumah Tangga Dan Dampaknya Bagi Masyarakat.**

- Yildiz, H. Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). **Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces-A review.** *Water (Switzerland)*, 9(1), 1–17.
- Yulianti, T., Saraswati, S. P., & Ahmad, J. S. M. (2019). **Perbaikan Kualitas Air Embung Techno Park Untuk Pengendalian Pencemaran Air Sungai Code.**
- Yulistia, E. (2020). **Dampak Kegiatan Masyarakat di Sempadan Sungai Terhadap Kualitas Air Sungai Ogan di Kota Baturaja Kabupaten OKU.** *UNBARA Environmental Engineering Journal (UEEJ)*, 1(1), 26-31.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hidrolik Sungai Winongo

Titik	Q (m ³ /s)	H Rata-rata (m)	B Rata-rata (m)	V Rata-rata (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 2 Data Klimatologis Sungai Winongo

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

Lampiran 3 Data Kualitas Sumber Pencemar Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

Sumber Pencemar	Fosfat (mg/L)	Amonia (mg/L)	DO (mg/L)	pH	Suhu (°C)	Sumber Data		
						Peneliti	Tahun	Judul
Perikanan	0,05-2,41	0,021-2,16	1-14,5	6,95-8,69	26 - 33	Pramleonita, M., Yuliani, N., Arizal, R., & Wardoyo, S. E.	2018	Parameter Fisika Dan Kimia Air Kolam Ikan Nila Hitam (<i>Oreochromis niloticus</i>)
						Mega Kusuma Wardani,, Eka Iriadenta, dan Deddy Dharmaji	2017	Kelayakan Kualitas Perairan Kolam Di Perkebunan Kelapa Sawit Desa Gunung Melati Kecamatan Batu Ampar Kabupaten Tanah Laut
Drainase	1,5-5,66	0,1-0,4	1,0-1,4	5,1-6,4	26-32	Leonardo, Rosana Elvince, Ardianor	2020	Pengaruh Air Limbah Kota Palangka Raya Pada Kualitas Air Sungai Kahayan
						Soni Dewantara Jhonny MTS, Winardi	2014	Kajian Beban Pencemaran Saluran Drainase (Parit) Terhadap Bagian Hilir Sungai Kapuas Di Kelurahan Sungai Jawi Luar Kecamatan Pontianak Barat
						Nurul Shaumi Ramadhani, Rizki Purnaini, Kiki Prio Utomo	2013	Analisis Sebaran Oksigen Terlarut Saluran Sungai Jawi

Lanjutan Lampiran 3 Data Kualitas Sumber Pencemar Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

Sumber Pencemar	Fosfat (mg/L)	Amonia (mg/L)	DO (mg/L)	pH	Suhu (°C)	Sumber Data		
						Peneliti	Tahun	Judul
Limbah Domestik	2,13-20,19	0,38-37,64	1,41-2,83	5,5-8,2	28 -30	Rita Novitasari, Dyah Ayu Widyastuti, Atip Nurwahyunani	2021	Kemampuan Tanaman Lotus (Nelumbo nucifera) dalam Menurunkan Kadar Fosfat pada Fitoremediasi Limbah Domestik Grey Water.
						Wijayaningrat, A. T. P.	2018	Evaluasi Kinerja Ipal Komunal Di Kecamatan Banguntapan Dan Bantul, Kabupaten Bantul, Di Yogyakarta Ditinjau Dari Parameter Fisik Dan Kimia.
						Arif Sumantri, Muhammad Reza, Cordova	2011	Dampak Limbah Domestik Perumahan Skala Kecil Terhadap Kualitas Air Ekosistem Penerimaannya Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat

Lanjutan Lampiran 3 Data Kualitas Sumber Pencemar Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

Sumber Pencemar	Fosfat (mg/L)	Amonia (mg/L)	DO (mg/L)	pH	Suhu (°C)	Sumber Data		
						Peneliti	Tahun	Judul
Limbah Pertanian	0,3-5,364	0,15-5,075	2,07-6,5	5,36-6,86	28 -30	Syahriyati Mutiah, Sumardiyono	2022	Analisis Parameter Nitrit, Nitrat, Amonia, Fosfat Pada Air Limbah Pertanian Dusun Bendungan, Genuk Harjo, Wuryantoro, Wonogiri
						M.Iqbal Elmussando	2021	Pemanfaatan Zn/Zeolit Alam Clinoptilolit-Ca Sebagai Pendegradasi Air Limbah Irigasi Pertanian Secara Fotolisis Dan Pengaruhnya Terhadap Kadar Fosfat, Amoniak, Serta Nilai BOD
						Dr. Ir. Momon Rusmono, MS. Ir. Maman Rochaman, M.Sc. Hj. Ida Nuraeni, M.Ed.	2012	Pengertian, Macam dan Sifat serta Potensi Limbah Pertanian
Anak Sungai 1	0,087	0,03	5,4	7,2	28,55	Hasil Observasi dan Pengukuran Laboratorium, 2021		
Anak Sungai 2	0,765	0,321	3,5	6,5	29,00			
Anak Sungai 3	0,562	0,225	5,5	7,3	30,00			

Lampiran 4 Data Kualitas Air Sungai Winongo Parameter Fosfat dan Amonia

Titik Pengambilan Sampel	Fosfat (mg/L)	Baku mutu (mg/L)	Amonia (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
Titik 1 (headwater)	0.25	0.2	0.053	0.2
Titik 2	0.32	0.2	0.055	0.2
Titik 3	0.53	0.2	0.113	0.2
Titik 4	0.48	0.2	0.092	0.2
Titik 5	0.86	0.2	0.46	0.2
Titik 6	0.79	0.2	0.247	0.2
Titik 7	0.91	0.2	0.232	0.2
Titik 8	0.98	0.2	0.354	0.2

Lampiran 5 Tabel χ^2 metode Chi Square

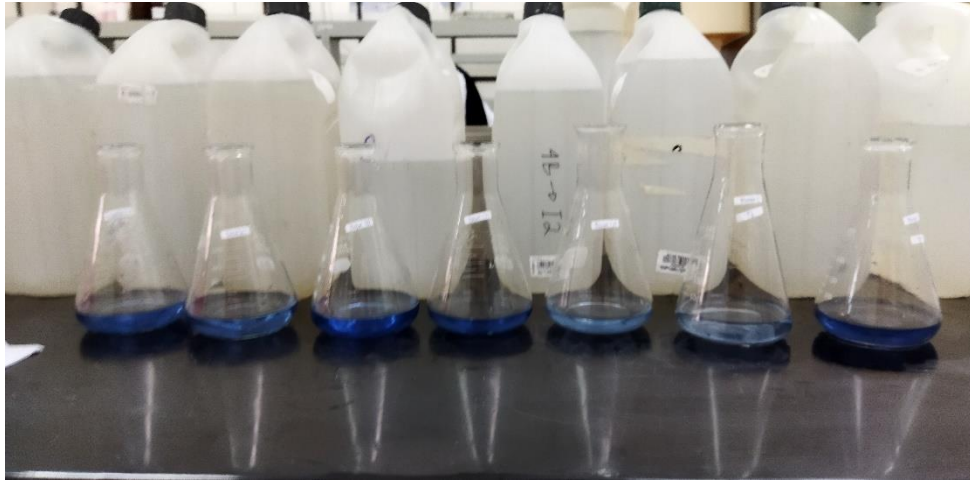
Titik Persentase Distribusi Chi-Square untuk d.f. = 1 - 50

Pr df	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

Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan Sampling



Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian Fosfat dan Amonia



Lampiran 8 Status Kelas Air Sungai Winongo

j. Sungai Winongo

Analisis terhadap indeks pencemaran Sungai Winongo pada tahun 2021 menunjukkan kondisi Sungai Winongo memiliki status cemaran ringan dan cemaran sedang. Lokasi pemantauan berada pada 3 titik yang meruakan jembatan-jembatan yang ada di Sungai Winongo perwakilan dari hulu sampai dengan hilir. Berikut meruakan hasil analisis indeks pencemaran Sungai Winongo ada tahun 2021:

Tabel 2.14 Rekap Hasil Indeks Pencemaran Sungai Winongo Tahun 2021

Baku Mutu	Lokasi Pemantauan	Nilai Indeks Pencemaran		
		Juni	Agustus	Oktober
Kelas II	Jembatan Pules Lor Suradadi, Girikerto, Turi, Sleman	3,05	7,73	4,19
		Cemaran Ringan	Cemaran Sedang	Cemaran Ringan
Kelas II	Jembatan Jl. PJKA Deggung, Sumberadi, Mlati, Sleman (Sate Kuda Deggung)	2,26	5,26	1,84
		Cemaran Ringan	Cemaran Sedang	Cemaran Ringan
Kelas II	Jembatan Jatimulyo, Kricak, Yogyakarta	2,33	5,94	4,59
		Cemaran Ringan	Cemaran Sedang	Cemaran Ringan

Lampiran 9 Baku mutu air kelas II PP No 22 Tahun 2021

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl ⁻)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Fluorida (F ⁻)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN ⁻)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Sungai Bahar Tujuh, 24 September 2000. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Suparman dan Sri Suhartini. Penulis menempuh pendidikan di SDN 176/IX di Bukit Subur pada tahun 2006-2012, kemudian MTsN Model di Kota Jambi pada tahun 2012-2015, dan SMAN 2 di Kota Jambi pada tahun 2015-2018. Saat menjadi siswa SMA, penulis aktif mengikuti kegiatan Lomba Cerdas Cermat 4 Pilar MPR RI tingkat provinsi, serta mengikuti OSIS. Setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi pada tahun 2018 di Universitas Islam Indonesia dengan Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Kegiatan yang dilakukan pada saat menjadi mahasiswa diantaranya menjadi panitia dalam acara yang diadakan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL), berpartisipasi dalam organisasi HMTL periode 2019/2020 untuk Departemen Pengabdian Masyarakat sebagai sekretaris sekaligus staff yang bertanggungjawab atas *Zero Waste* FTSP UII, berpartisipasi dalam organisasi Lembaga Eksekutif Mahasiswa (LEM) periode 2020/2021 sebagai kepala Bidang Sosial dan Lingkungan, kemudian pada Januari 2021 dan Desember 2021 penulis menjadi Tenaga Harian Lepas (THL) bidang *Quality, Health, Safety, and Environment* (QHSE) di PT. Greenlab Indo Global, pada April-Juli 2021 penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Brantas Abipraya proyek pembangunan *Flyover* Mranggen Demak dengan topik Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), pada bulan Februari-Juli 2022 penulis mengikuti magang pada Program Merdeka Belajar Kampus Belajar Batch 2 dengan mitra PT. Lastana Express Indonesia (Lazada Logistics) sebagai HSE (*Health, Safety, and Environment*). Pada bulan Desember 2021-2022 penulis melakukan penelitian terkait pemodelan kualitas air sungai pada parameter fosfat dan amonia menggunakan software Qual2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo, DIY) untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Lingkungan.