TA/TL/2026/2127

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat dan Fosfat di Sungai Gajahwong Menggunakan Pemodelan QUAL2K dan QUAL2Kw

Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah
21513130

Dosen Pembimbing:
Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Desain Inovasi
Universitas Islam Indonesia
2026

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Determination of Nitrate and Phosphate Pollutant Load Capacity in the Gajahwong River Using QUAL2K and QUAL2Kw Modeling

Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah
22513130

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

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Engineering Design and Innovation
Universitas Islam Indonesia
2026

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat dan Fosfat di Sungai Gajahwong Menggunakan Pemodelan QUAL2K dan QUAL2Kw

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Desain Inovasi Universitas Islam Indonesia.

Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah

22513130

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 11 Agustus 2026 dan disetujui oleh:

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing)

21/8/2026

Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 1)

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng (Penguji 2)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI YOGYAKARTA

Any Juhani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, 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 merupakan gagasan, rumusan, dan studi 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. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan *(artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
   a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
   b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

   Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 25 Agustus 2026
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah
NIM 22513130

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat dan Fosfat di Sungai Gajahwong Menggunakan Pemodelan QUAL2K dan QUAL2Kw". Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan bimbingan, dorongan, serta doa dari berbagai pihak. Salah satunya kedua orang tua penulis yaitu Bapak Andriansyah dan Ibu Vivi Lilyana Oroh yang telah memberi dukungan, kepercayaan, bantuan, doa sepanjang pelaksanaan tugas akhir. Oleh karena itu, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan waktunya untuk membimbing, memberi arahan dan masukan untuk penulis.
2. Bapak Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng selaku Dosen Penguji 1 dan 2 Tugas Akhir yang turut memberikan masukan dan arahan untuk menjadikan penelitian ini menjadi lebih baik.
3. Seluruh dosen, staf, dan Keluarga Besar Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia atas bantuan pengajaran dan pengalaman yang telah diberikan.
4. Seluruh staf Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan.
5. Saudara kandung penulis yakni Muhammad Asyraf Raviansyah dan Muhammad Althaf Adlyansyah yang mendukung penulis sebagai adik dan abang kandung untuk menyelesaikan perkuliahan
6. Teman dekat dan terbaik penulis yakni Razaqa Fadhilah Adlan dan Jovano Rizky Putra Kullit yang telah membersamai, menuntun, dan saling mendukung dalam hal akademik maupun non akademik. Selain itu, terimakasih telah menjadi teman yang mengubah pandangan penulis dalam melihat dan menjalani kehidupan.

7. Alya Melan Anggraini Suwae, Andien Andriyani, Dininur Apriliani, Galih Wijiastuti yang sudah mendukung dan menemani penulis untuk menyelesaikan *wishlist* tempat *hangout* yang ada di Jogja disela-sela waktu penyelesaian penulisan Tugas Akhir.
8. Teman-teman TL D yang sudah menemani penulis dari Tahun 2022-2026 memberikan canda, tawa dan warna di dalam hidup penulis selama menjadi perantauan.
9. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah selaku penulis. "*Setiap proses memiliki waktunya sendiri, dan setiap perjuangan selalu menemukan maknanya*." Terimakasih telah bertahan pada hari-hari yang terasa berat, tetap melangkah ketika jalan tampak panjang, dan tetap percaya setiap doa dan usaha akan menemukan jawabannya pada waktu yang tepat.

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

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Sleman, 30 Juni 2026

Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah

Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat dan Fosfat di Sungai Gajahwong Menggunakan Pemodelan QUAL2K dan QUAL2Kw

Mahasiswa : Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah
NIM : 22513130
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Sungai Gajahwong merupakan salah satu sungai yang berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang melintasi 3 (tiga) kabupaten/kota, yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Sumber pencemar yang masuk di sepanjang Sungai Gajahwong dapat mengandung Nitrat dan Fosfat yang berasal dari limbah domestik, industri, drainase, persawahan, maupun perikanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai beban pencemar Fosfat dan Nitrat, menganalisis alokasi beban pencemar Fosfat dan Nitrat, serta membandingkan hasil pemodelan QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw di Sungai Gajahwong. Penelitian dibagi menjadi 8 segmen dengan 7 titik sampling, serta menerapkan 3 skenario pemodelan (Skenario 1: kondisi eksisting; Skenario 2: kondisi sesuai baku mutu dengan konsentrasi hulu eksisting; Skenario 3: kondisi sesuai baku mutu dengan konsentrasi hulu disesuaikan baku mutu Kelas II PP No. 22 Tahun 2021). Hasil kalibrasi menunjukkan model memiliki tingkat akurasi baik berdasarkan nilai RMSPE di bawah 50%. Hasil analisis alokasi menunjukkan daya tampung Nitrat bernilai negatif pada enam segmen, dengan penurunan terbesar diperlukan di Segmen sebesar 1,814,40 kg/hari, sedangkan daya tampung Fosfat bernilai negatif pada enam segmen dengan penurunan terbesar di Segmen Bendung Lepen - Grojogan sebesar 122,17 kg/hari. Perbandingan kedua software menunjukkan hasil konsentrasi Nitrat dan Fosfat yang identik, namun QUAL2K lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi hidrolik dibandingkan QUAL2Kw

Kata kunci: Alokasi Beban Pencemar, Fosfat, Nitrat, QUAL2K, QUAL2Kw, Sungai Gajahwong

Determination of Nitrate and Phosphate Pollutant Load Capacity in the Gajahwong River Using QUAL2K and QUAL2Kw Modeling

Student : Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah
Student Number : 22513130
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

The Gajahwong River is one of the rivers located in the Special Region of Yogyakarta Province that crosses 3 (three) regencies/cities, namely Sleman Regency, Yogyakarta City, and Bantul Regency. Pollutant sources entering along the Gajahwong River may contain Nitrate and Phosphate originating from domestic waste, industry, drainage, agricultural land, and fisheries. This study aims to determine the pollutant load values of Phosphate and Nitrate, analyze the allocation of Phosphate and Nitrate pollutant loads, and compare the modeling results of QUAL2K Version 3 and QUAL2Kw in the Gajahwong River. The study area was divided into 8 segments with 7 sampling points, and applied 3 modeling scenarios (Scenario 1: existing conditions; Scenario 2: conditions meeting water quality standards with existing upstream concentrations; Scenario 3: conditions meeting water quality standards with upstream concentrations adjusted to Class II standards under Government Regulation No. 22 of 2021). Calibration results indicate that the model achieved good accuracy, with RMSPE values below 50%. The load allocation analysis shows that Nitrate carrying capacity was negative in six segments, with the largest required reduction in Segment 8 at 1,814,40 kg/day, while Phosphate carrying capacity was negative in six segments, with the largest required reduction in Segment 7 at 122,17 kg/day. Comparison between the two software programs showed identical Nitrate and Phosphate concentration results, although QUAL2K was more accurate in representing hydraulic conditions than QUAL2Kw.

Keywords: *Nitrate, Phosphate, Gajahwong River, Pollutant Load Allocation, QUAL2K, QUAL2Kw.*

DAFTAR ISI

PRAKATA i
Abstrak iii
DAFTAR ISI i
DAFTAR TABEL iii
DAFTAR GAMBAR iv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Klasifikasi Air Sungai 4
2.2 Fosfat 4
2.3 Nitrogen 5
2.4 Nitrat 6
2.5 Eutrofikasi 6
2.6 Daya Tampung Beban Pencemar 7
2.7 QUAL2K 7
2.8 Penelitian Terdahulu 8
BAB III METODE PENELITIAN 10
3.1 Alur Penelitian 10
3.2 Segmentasi Sungai 11
3.3 Pengumpulan Data 13
3.3.1 Data Sekunder 13
3.3.2 Data Primer 13
3.4 Pemodelan QUAL2K 15
3.5 Analisis Data 17
3.5.1 Simulasi model 17
3.5.2 Perhitungan Kadar Fosfat 17
3.5.3 Perhitungan Kadar Nitrat 18
3.5.4 Perhitungan Beban Pencemar 18
3.5.5 Daya Tampung Beban Pencemar 18
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 20
4.1 Kondisi Lokasi Sampling 20

4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Gajahwong 23
4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai Gajahwong 24
4.3.1 Derajat Keasaman (pH) 24
4.3.2 Suhu 25
4.3.3 Nitrat 26
4.3.4 Fosfat 28
4.4 Sumber Pencemar Sungai Gajahwong 30
4.4.1 Point Source 30
4.4.2 Diffuse Source 31
4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Gajahwong dengan QUAL2K 31
4.5.1 Hasil Kalibrasi Model 32
4.5.2 Hasil Evaluasi Model 36
4.5.3 Perbandingan Model QUAL2K dan QUAL2Kw 38
4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar 39
4.6.1 Hasil Simulasi Model 39
4.6.2 Beban Pencemar 41
4.6.3 Daya Tampung Beban Pencemar 44
4.7 Perbandingan Penelitian 47
4.8 Rekomendasi Pengelolaan Lingkungan 48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 50
5.1 Kesimpulan 50
5.2 Saran 51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Titik Lokasi Point Source....14
Tabel 3.2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel Kualitas Air Sungai Gajahwong 15
Tabel 3.3 Alat Pengujian Parameter....15
Tabel 4.1 Kondisi Lokasi Sampling Sungai Gajahwong 20
Tabel 4.2 Titik Lokasi Sampling Air Sungai Gajahwong 22
Tabel 4.3 Data Hidrolik Sungai Gajahwong....23
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran pH 24
Tabel 4.5 Suhu Air Sungai Gajahwong....25
Tabel 4.6 Konsentrasi Nitrat Air Sungai Gajahwong....27
Tabel 4.7 Konsentrasi Fosfat Air Sungai Gajahwong....28
Tabel 4.8 Sumber Pencemar Point Source Sungai Gajahwong 30
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan RMSPE Debit....37
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan RMSPE Kedalaman 37
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan RMSPE Kecepatan Aliran....37
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan RMSPE Nitrat 38
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan RMSPE Fosfat....38
Tabel 4.14 Perbandingan Model QUAL2K dan QUAL2Kw 38
Tabel 4.15 Beban Pencemar Nitrat Skenario 1 41
Tabel 4.16 Beban Pencemar Fosfat Skenario 1 42
Tabel 4.17 Beban Pencemar Nitrat Skenario 2 43
Tabel 4.18 Beban Pencemar Fosfat Skenario 2 43
Tabel 4.19 Beban Pencemar Nitrat Skenario 3 44
Tabel 4.20 Beban Pencemar Fosfat Skenario 3 44
Tabel 4.21 Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat....45
Tabel 4.22 Daya Tampung Beban Pencemar Fosfat 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Fosfor 5
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 10
Gambar 3.2 Segmentasi Sungai 12
Gambar 3.3 Batas Segmentasi 13
Gambar 3.4 Peta Titik Lokasi Sampling 14
Gambar 4.1 Grafik pH Air Sungai Gajahwong 25
Gambar 4.2 Grafik Suhu Air Sungai Gajahwong 26
Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Nitrat Air Sungai Gajahwong 27
Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi Fosfat Air Sungai Gajahwong 29
Gambar 4.5 Grafik Hasil Kalibrasi Model Debit 33
Gambar 4.6 Model Kedalaman Sungai Setelah di Kalibrasi 34
Gambar 4.7 Model Kecepatan Aliran Sungai Setelah di Kalibrasi 34
Gambar 4.8 Model Fosfat Sungai Gajahwong Setelah Kalibrasi 35
Gambar 4.9 Model Nitrat Sungai Gajahwong Setelah Kalibrasi 35
Gambar 4.10 Hasil Simulasi Nitrat 40
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Model Fosfat 40

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Gajahwong yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki panjang 46.082 Km^2, dengan bagian hulu sungai ini berada di wilayah Kabupaten Sleman yang mencakup Kecamatan Pakem, Ngemplak, Ngaglik, Depok dan bagian hilir DAS ini berada di wilayah Kabupaten Bantul yang mencakup Kecamatan Pleret dan Banguntapan (Ahdiaty, 2020). Aliran sungai ini melewati daerah-daerah dengan aktivitas manusia yang tinggi, yang mana aktivitas ini merupakan penyebab utama dalam perubahan kualitas air Sungai Gajahwong tersebut. Air Sungai Gajahwong mengalami pencemaran yang disebabkan oleh limbah yang bersumber dari pembuangan air limbah domestik, peternakan dan pertanian (Firdausi, dkk., 2024).

Lebihnya kandungan Fosfat di air sungai yang tidak sesuai dengan baku mutu dapat menimbulkan peristiwa eutrofikasi yang merupakan sebuah peristiwa meningkatnya produktivitas primer ekosistem perairan akibat dari tingginya kandungan Fosfor didalam air sehingga terciptanya fenomena Alga *Blooming* atau pertumbuhan alga yang tidak terkendali. Eutrofikasi berpengaruh terhadap kelangsungan hidup biota perairan yang menyebabkan perubahan signifikan terhadap kekeruhan dan bau air sungai tersebut (Yusal, 2025). Selain itu juga pencemaran air ini dapat menimbulkan masalah kesehatan seperti gangguan pencernaan dan penyakit kulit.

Selain Fosfat, eutrofikasi juga di pengaruhi oleh senyawa nitrogen. Nitrogen memiliki peran utama sebagai unsur hara makro yang dibutuhkan oleh fitoplankton atau alga untuk proses fotosintesis dan pembentukan biomassa. Dalam bentuk senyawa seperti amonia, Nitrat, dan nitrit, nitrogen menjadi sumber nutrisi yang mendukung pertumbuhan serta reproduksi alga di perairan. Ketika ketersediaan nitrogen berada dalam kadar yang seimbang, ia membantu menjaga stabilitas produktivitas ekosistem laut. Namun, peningkatan konsentrasi nitrogen akibat aktivitas antropogenik, seperti limbah domestik dan pertanian, dapat meningkatkan laju pertumbuhan alga secara signifikan (Surya, dkk., 2024).

Menurut data Kualitas Air Sungai yang diterbitkan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta Tahun 2025, parameter Fosfat dan Nitrat di sungai Gajahwong menunjukkan dibeberapa titik sudah melebihi baku mutu Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Kelas 2. Selain itu juga adanya peningkatan persentase jumlah sampel yang melebihi baku mutu pada tahun 2024 dan 2025. Pada tahun 2024 jumlah sampel yang melebihi baku mutu untuk

parameter Fosfat sebesar 86,67% dan parameter Nitrat sebesar 0%, sedangkan pada tahun 2025 jumlah sampel yang melebihi baku mutu untuk parameter Fosfat sebesar 97,78% dan parameter Nitrat sebesar 22,22%.

Dari data yang diterbitkan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, diperlukannya perhitungan nilai daya tampung beban pencemar Fosfat dan Nitrat pada air sungai Gajahwong. Salah satu metode yang direkomendasikan adalah menggunakan *Software* QUAL2K Versi 3, karena model ini sangat sederhana dengan menginput data yang tidak terlalu banyak namun mendapatkan hasil yang sangat akurat (PerMenLHK Nomor 5 tahun 2021). QUAL2K ini merupakan versi pengembangan terbaru dari QUAL2E yang dirilis oleh US Environmental Protection Agency (USEPA) pada tahun 2007 berfungsi untuk mensimulasikan model parameter kualitas air dengan beban pencemaran dari titik sumber (*point source)* dan sumber tersebar (*diffuse source)* (Hasham & Ramal, 2022).

Penelitian Ghozali, (2024) menganalisis terkait daya dukung Sungai Gajahwong QUAL2Kw dengan parameter DO, BOD, Nitrat, Fosfat, pH, dan suhu, berdasarkan data sampling lapangan di 7 titik. Penelitian tersebut membuktikan bahwa daya dukung Sungai Gajahwong pada segmen Balerejo – Wirokerten telah terlampaui, terutama untuk parameter BOD dan Fosfat, sehingga diperlukan pengurangan beban pencemar pada kondisi simulasi April 2026 yang signifikan agar mutu air memenuhi baku mutu. Kondisi ini mengindikasikan bahwa senyawa nutrien, khususnya Fosfat, menjadi salah satu pencemar dominan yang berpotensi memicu eutrofikasi, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan.

selain Fosfat, Nitrat merupakan bentuk nitrogen tereduksi yang bersifat toksik dan berperan penting dalam siklus nitrogen, namun parameter ini masih jarang dikaji secara spesifik dalam penentuan daya tampung beban pencemar Sungai Gajahwong. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang terfokus untuk menentukan daya tampung beban pencemar Fosfat dan Nitrat menggunakan pemodelan QUAL2K. Pemodelan kualitas air menggunakan QUAL2K ini dipilih karena mampu mensimulasikan proses transport dan transformasi nutrien di sungai serta memperkirakan kemampuan sungai dalam menerima beban pencemar tanpa melampaui baku mutu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan kualitas air Sungai Gajahwong, khususnya dalam perumusan strategi pengendalian pencemaran nutrien dan penetapan beban pencemar yang diperbolehkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Berapa nilai beban pencemar Fosfat dan Nitrat terkini yang masuk ke Sungai Gajahwong?
2. Apakah daya tampung beban pencemar Fosfat dan Nitrat di Sungai Gajahwong sudah terlampaui?
3. Apa perbandingan pemodelan QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai beban pencemar Fosfat dan Nitrat di Sungai Gajahwong
2. Menganalisis kebutuhan reduksi beban pencemar Fosfat dan Nitrat di Sungai Gajahwong
3. Membandingkan hasil pemodelan QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan kontribusi kepada pemerintah dalam mengelola permasalahan kegiatan pencemaran kontaminan Fosfat dan Nitrat di Sungai Gajahwong
2. Memperbaharui penelitian mengenai daya tampung beban pencemar Fosfat dan Nitrat di Sungai Gajahwong dengan pemodelan menggunakan *software* QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini meliputi:

1. Pemodelan menggunakan *Software* QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw
2. Segmen Sungai Gajahwong yang akan dimodelkan di mulai dari Jembatan Selokan Mataram sampai ke Jembatan Ketonggo
3. Pengambilan data sampel mewakili satu waktu pengamatan pada musim kemarau di bulan April 2026.
4. Hasil penelitian ini hanya merepresentasikan kondisi sesaat pada periode pengambilan data tersebut dan belum menggambarkan variasi musim, kondisi debit kritis, maupun fenomena *first flush* pada saat hujan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Air Sungai

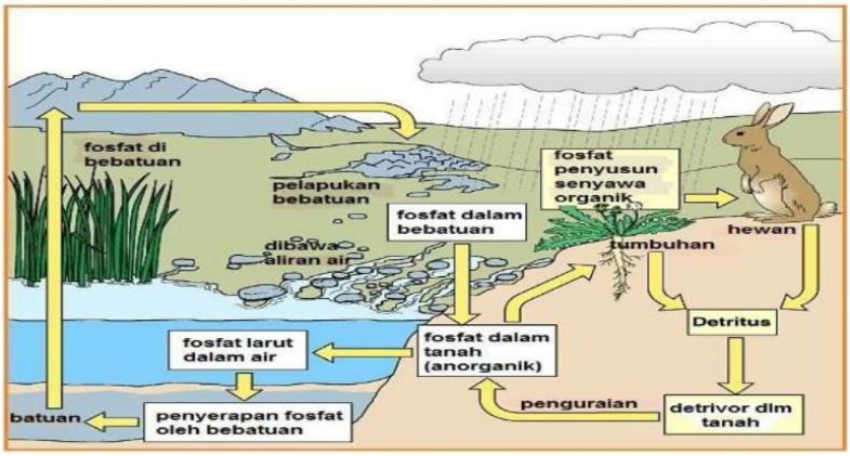
Klasifikasi mutu air Sungai menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas:

a. Kelas Satu: air yang peruntukannya digunakan untuk air baku minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
b. Kelas Dua: air yang diperuntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanahan, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
c. Kelas Tiga: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air sama dengan kegunaan tersebut.
d. Kelas Empat: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Sungai Gajahwong ditetapkan untuk kedua kelas air sungai tersebut dengan penetapan disetiap kelasnya berbeda-beda daerahnya. Untuk kelas satu berada di bagian hulu kearah hilir sampai dusun Ngebelgedhe, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, dan untuk kelas dua dimulai dari Dusun Ngebelgedhe, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman kearah hilir sampai pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Karet, Wonokromo, Pleret, Bantul (PerGub DIY No. 22 Tahun 2007).

2.2 Fosfat

Fosfor memiliki mekanisme tersendiri di lingkungan, yang mana siklus fosfor dimulai dari pelapukan batuan yang melepaskan Fosfat ke tanah dan air, kemudian Fosfat tersebut diserap oleh tumbuhan untuk membentuk senyawa organik seperti DNA dan ATP. Hewan memperoleh Fosfat dengan memakan tumbuhan, lalu ketika tumbuhan dan hewan mati atau melalui kotorannya, Fosfat kembali ke tanah sebagai detritus yang diuraikan oleh pengurai menjadi Fosfat anorganik. Fosfat ini dapat diserap kembali oleh tumbuhan atau terbawa aliran air menuju perairan, di mana Fosfat mengendap dan menjadi bagian dari batuan baru melalui proses geologis. Dalam jangka waktu sangat lama, pengangkatan dasar laut dapat membawa batuan Fosfat kembali ke daratan (Hunaepi & Firdaus, 2017).



Gambar 2.1 Siklus Fosfor

Sumber: Hunaepi & Firdaus, 2017

Fosfor atau Fosfat berperan sebagai nutrien yang membatasi laju pertumbuhan fitoplankton dan berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas primer di perairan. Tingkat produktivitas primer ini diindikasikan melalui konsentrasi klorofil-a serta jumlah fitoplankton yang ada (Warsa dkk., 2018). Fosfat merupakan salah satu senyawa yang menyebabkan pencemaran di sungai. Adanya Fosfat yang berlebihan ini menimbulkan fenomena eutrofikasi di sungai (Sutamihardja dkk., 2018).

Selain faktor alami dari adanya kandungan Fosfat di perairan, Fosfat di perairan juga dipengaruhi oleh kegiatan antropogenik yang berlangsung di sepanjang daerah aliran sungai seperti limbah domestik maupun limpasan dari kegiatan pertanian. Konsentrasi Fosfat yang tinggi di badan sungai umumnya terjadi akibat masuknya limbah dari kegiatan manusia yang menghasilkan limbah organik. Limbah domestik merupakan kontributor utama yang bersumber dari penggunaan deterjen dan sabun dalam aktivitas sumber utama. Selain itu, pupuk Fosfat yang digunakan oleh kegiatan pertanian dapat terbawa oleh limpasan air hujan dan mengalir ke sungai (Nipu, 2022)

Kandungan Fosfat yang terkandung di air sungai gajahwong pada tahun 2024 sebesar 1,25 mg/l, yang mana kandungan tersebut sudah melebihi ambang batas baku mutu kelas 2 Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 sebesar 0,20 mg/l (Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta Tahun 2024). Lebihnya kandungan Fosfat di air sungai ini apabila tidak diatasi akan menyebabkan fenomena alga blooming atau eutrofikasi.

2.3 Nitrogen

Nitrogen merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh organisme perairan, terutama fitoplankton dan alga, untuk pertumbuhan dan metabolisme. Dalam ekosistem perairan,

nitrogen berbentuk amonia, nitrit, dan Nitrat, yang dapat larut dan mudah berpindah ke badan air melalui limpasan pertanian, limbah domestik, maupun industri (Surya, dkk., 2024). Selain berperan sebagai nutrient, nitrogen berkontribusi terhadap proses eutrofikasi ketika jumlahnya berlebihan di air.

Dalam siklus nitrogen, senyawa organik yang mengandung nitrogen akan diuraikan menjadi amonia melalui proses amonifikasi. Selanjutnya, ammonia akan diubah menjadi nitrit oleh bakteri Nitrosomonas dan menjadi Nitrat melalui proses nitrifikasi oleh bakteri Nitrobacter (Marsidi, 2002). Senyawa Nitrat dapat direduksi kembali menjadi gas nitrogen dan dilepaskan ke udara melalui proses denitrifikasi (Herlambang, 2003).

2.4 Nitrat

Senyawa Nitrat (NO_3) merupakan bentuk nitrogen utama di perairan alami yang terbentuk dari proses Nitrifikasi. Nitrit terbentuk dari hasil oksidasi ammonia (NH3) dengan bantuan bakteri Nitrosomonas, sedangkan Nitrat (NO_3^-) merupakan hasil oksidasi lanjutan nitrit oleh bakteri Nitrobacter. Proses tersebut terjadi secara alami di perairan yang dipengaruhi oleh faktor aerasi, suhu, pH, kelembaban, dan nisbah karbon-nitrogen (Taroreh, dkk., 2016).

Sumber pencemar Nitrat yang berasal dari kegiatan antropogenik, terutama dari sektor pertanian, limbah domestik, dan limbah industri yang masuk ke badan sungai. Nutrient seperti Nitrat umumnya berasal dari sektor pertanian yang menggunakan pupuk kimia secara berlebihan. Selain itu, sumber Nitrat juga berasal dari limbah industri dan limbah domestik yang masuk ke sungai (Legasari, dkk., 2023).

Kandungan Nitrat di air sungai Gajahwong pada tahun 2025 rata-rata sebesar 7,47 mg/l yang mana masih didalam ambang batas baku mutu kelas 2 Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 sebesar 10 mg/l (Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta Tahun 2024). Dampak adanya senyawa Nitrat di air Dampak adanya senyawa Nitrat di air sungai sangat signifikan terhadap kondisi ekosistem dan kesehatan manusia. Karena kandungan Nitrat yang berlebih dapat berpotensi menimbulkan methemoglobinemia pada manusia, mengganggu keseimbangan biota dalam mengatur dan menjaga kadar air dan garam (ion) di dalam tubuhnya, dan mempercepat proses eutrofikasi (Novian, 2025).

2.5 Eutrofikasi

Eutrofikasi merupakan kondisi peningkatan produktivitas pada ekosistem perairan akibat lebihnya kandungan Fosfor dan nitrogen. Proses ini merupakan pemicu blooming atau pertumbuhan berlebih dan tidak terkendali pada alga di perairan. Eutrofikasi ini memberikan dampak bagi sektor perikanan, pariwisata, dan kesehatan, karena menyebabkan kematian

massal biota air, perubahan warna dan bau air, serta menurunkan nilai ekonomi hasil perikanan dan daya tarik wisatawan akibat dari air yang keruh, berbusa dan berbau. Selain itu eutrofikasi memicu gangguan kesehatan seperti iritasi kulit, gangguan pernapasan, penyakit pencernaan, malaria, dan demam berdarah (Yusal, 2025).

Selain itu, eutrofikasi merupakan proses pengayaan nutrien yang dapat menurunkan kualitas dan keseimbangan ekosistem perairan, khususnya melalui pendekatan remediasi. Adanya eceng gondok yang tumbuh banyak di permukaan air selama eutrofikasi dapat dimanfaatkan sebagai agen fitoremediasi untuk mengurangi kontaminan dalam air. Tanaman ini membentuk fitokelatin yang merupakan senyawa peptide yang berfungsi sebagai pengikat logam berat dengan konsentrasi tinggi di perairan. Eceng gondok juga disebut hiperakumulator dengan kemampuan meningkatkan proses biodegradasi yang membantu menurunkan konsentrasi senyawa organik dan anorganik di perairan (Maulina, 2020).

2.6 Daya Tampung Beban Pencemar

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, daya dukung lingkungan hidup merujuk pada kapasitas lingkungan untuk menopang kehidupan manusia, makhluk hidup lainnya, serta menjaga keseimbangan di antara keduanya. Daya tampung lingkungan hidup merupakan kemampuan lingkungan untuk menerima dan menyerap zat, energi, atau unsur lainnya yang masuk atau dimasukkan ke dalam lingkungan tersebut. Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010, daya tampung sungai terhadap pencemaran merupakan kemampuan badan air untuk menerima masuknya unsur pencemar tanpa menyebabkan terjadinya pencemaran pada air tersebut. Beban pencemaran merupakan total kandungan zat pencemar yang terdapat dalam air atau air limbah.

2.7 QUAL2K

QUAL2K atau Q2K merupakan *software* pemodelan kualitas air versi terbaru dari model QUAL2E. Model ini mensimulasikan migrasi dan transformasi berbagai parameter kualitas air, seperti suhu, oksigen terlarut, pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD), padatan tersuspensi, nitrogen amonium, Nitrat, nitrit, fosfor (Zhang, dkk, 2012). Pemodelan analisis menggunakan QUAL2K tidak hanya menggunakan komponen pencemar, namun juga menggunakan data hidrolik sungai berupa kecepatan dan debit aliran sungai (Triane & suharyanto, 2015).

QUAL2K adalah model satu dimensi yang mensimulasikan perpindahan polutan di sungai dengan membagi sungai menjadi beberapa segmen berdasarkan lokasi sumber pencemar, baik *point source* maupun *non-point source*. Kondisi hidrolik dalam model ini diasumsikan stabil

sehingga memudahkan analisis pada berbagai bagian sungai yang memiliki karakteristik berbeda. Dengan pendekatan ini, model dapat menyesuaikan penambahan polutan dari tiap segmen sungai dan melakukan simulasi pengambilan air, debit, serta dinamika morfologi aliran sungai (Al-Dalimy & Al-Zubaidi, 2023).

Kelebihan QUAL2K terletak pada kemampuannya mensimulasikan penyebaran polutan di badan sungai dengan kondisi aliran yang tidak seragam, serta kemudahan penggunaannya karena dijalankan melalui Excel Workbook pada sistem operasi Windows. Model ini sudah banyak dimanfaatkan dalam studi kualitas air untuk menilai daya tampung sungai dan menghitung beban pencemar maksimum di air sungai. Penerapan QUAL2K mendukung peneliti maupun pengambil kebijakan dalam merumuskan langkah pengendalian pencemaran yang lebih tepat, akurat, dan didasarkan pada kondisi sungai yang sebenarnya (Ghozali, dkk., 2024).

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Eko Sugiharto, dkk., (2014), ini bertujuan menilai kualitas air serta memperkirakan beban pencemar di Sungai Kampung Bugis, Kota Tarakan, Kalimantan Utara. Dengan menggunakan pemodelan QUAL2K dan metode Total Beban Tampung Maksimum Harian, hasil studi menunjukkan bahwa konsentrasi BOD dan NH_3 telah melampaui Baku Mutu Lingkungan. Pemodelan QUAL2K juga mengindikasikan bahwa sungai tersebut tidak mampu menampung beban pencemar TSS, BOD, dan NH_3, sementara NO_3 dan PO_4 masih berada dalam batas aman. Distribusi pencemar dari hulu ke hilir bersifat tidak merata untuk sebagian besar parameter, kecuali PO_4 dan NO_3. Total beban maksimum harian yang diperoleh yaitu BOD 90,32 kg/hari, TSS 73,77 kg/hari, NH_3 5,11 kg/hari, PO_4 0,03 kg/hari, dan NO_3 5,75 kg/hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Rezananda, (2018) adalah meneliti Sungai Klampok yang mengalami tekanan kualitas air akibat aktivitas penduduk di daerah aliran sungainya. Penelitian ini membagi sungai menjadi enam segmen untuk mengukur daya tampung pencemaran nitrit (NO_2) dan Nitrat (NO_3) dengan model QUAL2E. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar nitrit pada segmen 1, 2, dan awal segmen 3 telah melampaui baku mutu kelas I–III, dengan beban tertinggi 3,34 kg/hari pada debit maksimum. Sebaliknya, pencemaran Nitrat masih memenuhi baku mutu seluruh kelas, dengan beban tertinggi 308,72 kg/hari saat debit maksimum.

Damari, (2023) telah menganalisis daya tampung beban pencemar Ammonia dan Fosfat di Sungai Gajahwong menggunakan pemodelan QUAL2Kw dengan membagi

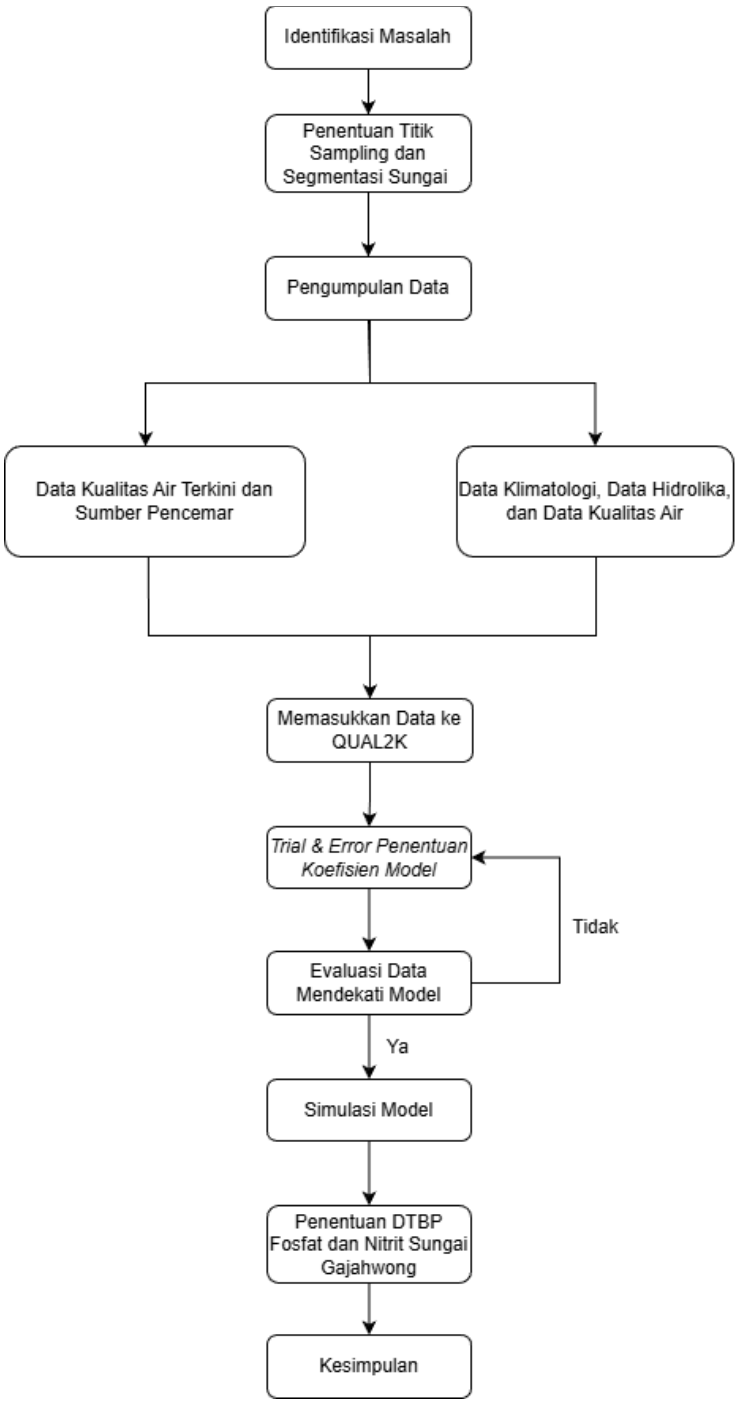
lokasi menjadi enam segmen dengan tujuh titik sampel dan menggunakan dua skenario pemodelan QUAL2Kw: skenario kondisi eksisting dan skenario pemenuhan baku mutu air Kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Daya tampung dihitung dari selisih beban pencemar antara kedua skenario. Hasilnya menunjukkan bahwa sungai telah tercemar karena beban amonia dan Fosfat melebihi daya tampung. Untuk memenuhi baku mutu, beban amonia harus dikurangi masing-masing 9,38 kg/hari di segmen 2 dan 12,11 kg/hari di segmen 4. Sementara itu, beban Fosfat harus diturunkan sebesar 11,13 kg/hari di segmen 2, 2,44 kg/hari di segmen 3, dan 7,41 kg/hari di segmen 4.

Penelitian yang dilakukan oleh Ghozali dkk., (2024) mengevaluasi daya dukung Sungai Gajahwong segmen Balerejo-Wirokerten sepanjang 6,84 km menggunakan model QUAL2Kw. Dengan validasi model yang akurat (U=0,09 ±0,08), hasil simulasi menunjukkan bahwa beban pencemar eksisitng, terutama BOD dan Fosfat telah melampaui daya dukung sungai. Untuk memenuhi baku mutu Kelas II, diperlukan pengurangan beban BOD sebesar 0,7-1,5 kali dan Fosfat sebesar 4,7 kali atau sekitar 470% dari beban semula. Tingginya beban polutan tersebut teridentifikasi dari buangan limbah domestik dan pipa pembuangan industri langsung ke badan air di sepanjang lokasi penelitian.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

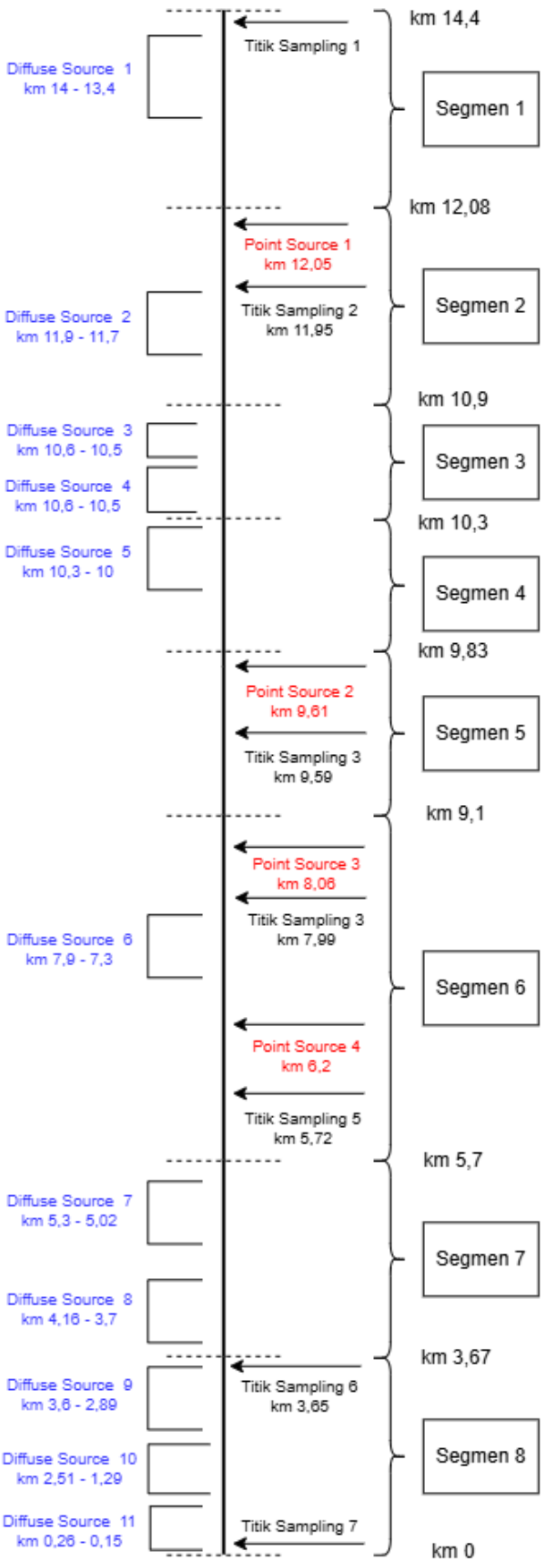
Diagram alur penelitian ini menggambarkan berbagai tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian. Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir penelitian.



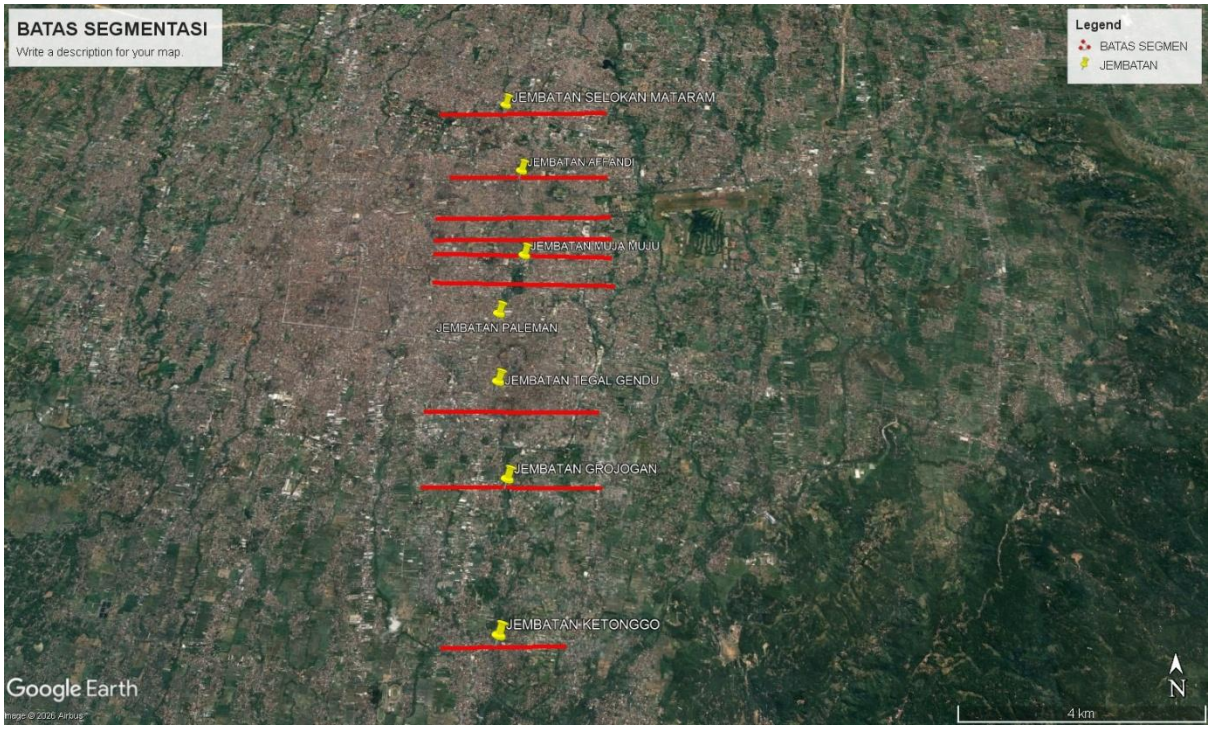
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Segmentasi Sungai

Segmentasi Sungai Gajahwong dibagi menjadi 8 segmen berdasarkan data debit air, kecepatan aliran, kedalaman sungai, aktivitas Masyarakat dan karakteristik penggunaan lahan. Selain itu, batas segmen ditentukan disetiap terjunan karena terjunan ini meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) air sungai yang diakibatkan adanya kontak air dengan udara yang dapat mengakibatkan perubahan kualitas air. Pembagian segmentasi dan batas segmen sungai dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Segmentasi Sungai



Gambar 3.3 Batas Segmentasi

3.3 Pengumpulan Data

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

3.3.1 Data Sekunder

Data sekunder berupa data literatur yang diperoleh dari website resmi instansi pemerintahan atau literatur lain yang berkaitan dengan penelitian ini sebagai berikut:

1. Data Meteorologis

   Data ini diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika Daerah Istimewa Yogyakarta (BMKG DIY), data yang di ambil merupakan data Meteorologis seperti kecepatan angin, temperatur udara, persenan radiasi matahari dan tutupan awan.
2. Data Kualitas Air Sungai

   Data kualitas air sungai terdahulu didapat melalui laporan analisis hasil pemantauan kualitas air Dinas Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta

3.3.2 Data Primer

Data primer didapatkan dari pengukuran *In Situ* di lapangan dan pengujian parameter kualitas air di laboratorium, yang terdiri dari:

1. Data Sumber Pencemar

   Data sumber pencemar didapatkan dengan cara melakukan sampling pada 4 titik point source. Titik lokasi point source tercantum pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Titik Lokasi Point Source

No	Lintang	Bujur	Daerah	Keterangan
1	-7,783138 LS	110,396682 BT	Affandi	Domestik (Pusat Perbelanjaan)
2	-7,802244 LS	110,397523 BT	Muja-Muju	Industri Susu
3	-7,813833 LS	110,39325 BT	Paleman	Drainase
4	-7,826973 LS	110,393577 BT	Tegal Gendu	Pemukiman

2. Data Kualitas Air Sungai

   Data kualitas air sungai terkini didapat melalui pengambilan sampel air sungai Gajahwong. Pengambilan sampel ini dilakukan berdasarkan titik sampling yang ditentukan berdasarkan acuan pada titik pemantauan kualitas air Sungai Gajahwong yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Yogyakarta. Lokasi titik pengambilan sampel kualitas air Sungai Gajahwong terdapat di gambar 3.4.



Gambar 3.4 Peta Titik Lokasi Sampling

Titik lokasi pengambilan sampel kualitas air Sungai Gajahwong tercantum pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel Kualitas Air Sungai Gajahwong

Lokasi	Titik	Koordinat	
		Lintang	Bujur
Jembatan Selokan Mataram	1	-7,767432 LS	110,393357 BT
Jembatan Affandi	2	-7,783138 LS	110,396682 BT
Jembatan Muja-Muju	3	-7,802244 LS	110,397523 BT
Jembatan Paleman	4	-7,815026 LS	110,393023 BT
Jembatan Tegal Gendu	5	-7,830513 LS	110,39371 BT
Jembatan Grojogan	6	-7,843727 LS	110,395585 BT
Jembatan Ketonggo	7	-7,868976 LS	110,394798 BT

Parameter air yang diuji pada penelitian ini meliputi Suhu, Tingkat Keasaman (pH), Fosfat dan Nitrat, dengan total 11 sampel yang pengujiannya dilakukan secara eksitu di laboratorium menggunakan perlakuan duplo pada setiap sampel untuk mengevaluasi presisi hasil analisis. Jumlah sampel tersebut disesuaikan dengan waktu, biaya, dan kondisi aksesibilitas lokasi sampling. Diperlukan beberapa alat pengujian yang tercantum pada tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Alat Pengujian Parameter

No	Parameter	Alat	Metode
1	Suhu	Termometer	SNI 06-6989.23-2005
2	Tingkat Keasaman (pH)	pH meter	SNI 6989.11-2019
3	Fosfat	Spektrofotometri UV-VIS	SNI 6989.31-2021
4	Nitrat	Spektrofotometri UV-VIS	SNI 6989.79-2011

3. Data Hidrolik Sungai Gajahwong

   Data yang diperoleh merupakan data seperti debit sungai, kedalaman sungai, kecepatan aliran, dan lebar yang didapat dari Dinas Lingkungan Hidup DIY.

3.4 Pemodelan QUAL2K

1. Input Data

   Tahapan ini melakukan penginputan data ke dalam *software* QUAL2K meliputi data hidrolik dan kualitas Sungai, data meteorologis, serta data sumber pencemar berupa *point source* dan *diffuse source.* berikut merupakan data yang di input ke dalam *Worksheet* Microsoft Excel *Software* QUAL2K versi 3:

   a. QUAL2K *Worksheet*

      Menginput informasi dan data umum sungai berupa nama sungai, nama file, tanggal simulasi, waktu matahari terbit dan waktu matahari terbenam.

b. *Headwater Worksheet*

Menginput data debit dan kualitas air pada hulu sungai.

c. *Reach Worksheet*

Menginput data pembagian segmen, Panjang segmen, koordinat segmen, kedalaman, n manning, elevasi dan terjunan.

d. *Air Temperature Worksheet*

Menginput data temperature udara pada setiap reach sungai.

e. *Wind Speed Worksheet*

Menginput data kecepatan angin pada setiap reach sungai.

f. *Cloud Cover Worksheet*

Menginput data tutupan awan.

g. *Solar Worksheet*

Menginput data radiasi sinar matahari pada setiap reach sungai.

h. *Point Source Worksheet*

Menginput data *Point Source* berupa konsentrasi pencemar dan debit.

i. *Diffuse Source Worksheet*

Menginput data *Diffuse Source* berupa konsentrasi pencemar dan debit.

2. Uji Kalibrasi

Uji kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan hasil model dengan data lapangan. Kalibrasi ini dilakukan dengan cara *trial and error* program sampai hasilnya mendekati data lapangan.

3. Evaluasi Model

Evaluasi dilakukan untuk mencocokkan data model dengan data lapangan. Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan data model dengan data lapangan menggunakan persamaan *Root Mean Square Percentage Error* (RMSPE)

Persamaan yang digunakan:

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{n}\left[\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{St-At}{At}\right)^2\right]}\,x100\%$$

Keterangan:

St = adalah nilai simulasi pada waktu t

At = adalah nilai aktual pada waktu t

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

Nilai persenan RMSPE yang didapatkan kurang dari 50%, maka hasil model diterima dan sebaliknya, apabila nilai RMSPE lebih dari 50% maka hasil model dinyatakan tidak valid (Wifarulah & Marlina, 2021).

3.5 Analisis Data

3.5.1 Simulasi model

Langkah simulasi model ini menggunakan dua skenario untuk menentukan kondisi sungai dengan beban pencemar. Skenario yang digunakan ialah:

1. Skenario 1 (Kondisi Eksisting)

   Skenario ini bertujuan untuk menghitung besar beban pencemar eksisting yang masuk ke dalam Sungai Gajahwong. Simulasi ini dilakukan dengan metode *trial and error* untuk membuat model yang sesuai dengan data yang ada di lapangan.
2. Skenario 2 (*Trial and Error*)

   Skenario ini dilakukan dengan simulasi pembentukan model kualitas air untuk perhitungan beban pencemaran maksimum yang sesuai standar baku mutu Kelas II (PP Nomor 22 Tahun 2021) untuk pencemar Fosfat dengan konsentrasi 0,2 mg/L dan pencemar Nitrat dengan konsentrasi 10 mg/L. Skenario ini menggunakan data *Point Source* dan *Diffuse Source* yang diperoleh melalui proses *trial and error.*
3. Skenario 3 (*Trial and Error*)

   Skenario ini diperlakukan sama seperti Skenario 2, namun konsentrasi di bagian hulu pada skenario ini disesuaikan dengan baku mutu Kelas II (PP Nomor 22 Tahun 2021).

3.5.2 Perhitungan Kadar Fosfat

Menghitung kadar Fosfat berdasarkan SNI 06-6989.31-2005 menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Fosfat (mg P/L)} = C \times fp$$

Dengan keterangan:

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

Fp : faktor pengenceran

3.5.3 Perhitungan Kadar Nitrat

Menghitung kadar Nitrat berdasarkan SNI 6989.79-2011 menggunakan metode pembacaan hasil absorbansi melalui kurva kalibrasi dengan persamaan berikut:

$$y=mx+c$$

Dengan Keterangan:

y : absorbansi sampel

x : konsentrasi sampel (mg/L)

m : gradien kurva

c : titik potong sumbu y

3.5.4 Perhitungan Beban Pencemar

Menentukan besarnya beban pencemar digunakan rumus atau persamaan sebagai berikut:

$$BP = C \times Q \times 86,4$$

Dengan Keterangan:

C : Konsentrasi Pencemaran (mg/L)

BP : Beban Pencemar Sungai (kg/hari)

Q : Debit Air (m^3/s)

86,4 = Faktor Perubahan satuan dari mg/L menjadi kg/hari

3.5.5 Daya Tampung Beban Pencemar

Daya dukung lingkungan hidup merujuk pada kapasitas lingkungan untuk menopang kehidupan manusia, makhluk hidup lainnya, serta menjaga keseimbangan di antara keduanya (UU RI Nomor 32 Tahun 2009). Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003, daya tampung sungai terhadap pencemaran merupakan kemampuan badan air untuk menerima masuknya unsur pencemar tanpa menyebabkan terjadinya pencemaran pada air tersebut. Beban pencemaran merupakan total kandungan zat pencemar yang terdapat dalam air atau air limbah. Menurut Irsanda (2014), perhitungan beban pencemar dilakukan sebagai berikut:

Daya tampung beban pencemar (kg/hari) =

$$BP_{maksimum} - BP_{eksisting}$$

Keterangan:

$BP_{eksisting}$: bersumber dari pencemar alami

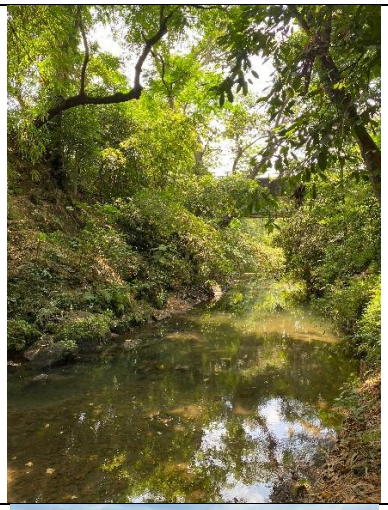
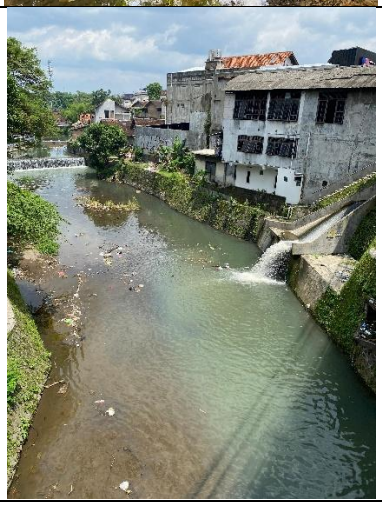
$BP_{maksimum}$: batas maksimum beban pencemar yang diperbolehkan

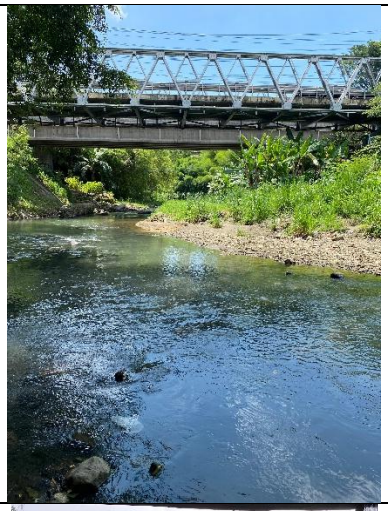
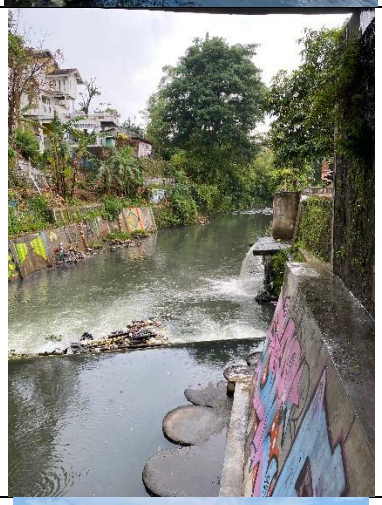
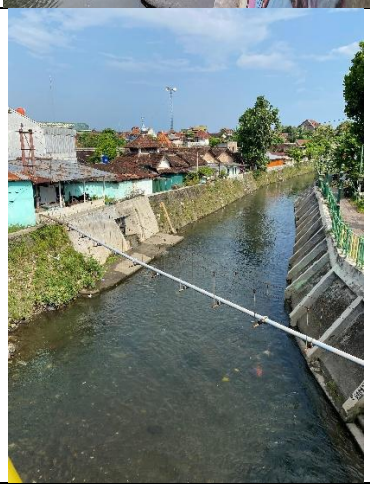
BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Lokasi Sampling

Lokasi sampling berada di Sungai Gajahwong yang merupakan salah satu sungai yang mengalir melintasi wilayah Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul di Daerah Istimewa Yogyakarta. Penentuan lokasi sampling ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi eksisting bagian hulu hingga hilir sungai dibeberapa titik strategis yaitu Jembatan Selokan Mataram, Jembatan Affandi, Jembatan Muja-Muju, Jembatan Paleman, Jembatan Tegal Gendu, Jembatan Grojogan, Jembatan Ketonggo. Titik tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan aksesibilitas, representasi sumber pencemar, serta relevansi terhadap dinamika perubahan kualitas air sepanjang aliran sungai. Kondisi lokasi sampling dapat dilihat pada Tabel 4.1. dan titik lokasi sampling untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Kondisi Lokasi Sampling Sungai Gajahwong

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Lokasi
Titik 1		Kondisi pada titik sampling 1 menunjukkan keadaan sungai yang dangkal, air sungai yang sedikit keruh dan terdapat vegetasi seperti semak belukar, pohon bambu, dan lumut. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,33 m dengan lebar 11,5 m, dan tidak ditemukannya sumber pencemar.
Titik 2		Kondisi pada titik sampling 2 menunjukkan keadaan air sungai yang keruh dan terdapat vegetasi seperti semak belukar dan lumut. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,2 m dengan lebar 18,4 m, dan terdapat *Point Source* yang berasal dari Mall Amplaz dengan aluran yang cukup deras.

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Lokasi
Titik 3		Kondisi pada titik sampling 3 menunjukkan keadaan air sungai yang sedikit keruh dan terdapat vegetasi seperti semak belukar, rerumputan dan lumut. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,26 m dengan lebar 10,5 m, dan terdapat *Point Source* yang berasal dari pabrik susu SGM dengan aliran yang cukup deras.
Titik 4		Kondisi pada titik sampling 4 menunjukkan keadaan air sungai yang sedikit keruh dan terdapat vegetasi seperti semak belukar, rerumputan dan lumut. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,33 m dengan lebar 12,4 m, dan terdapat *Point Source* yang berasal dari drainase dengan aliran yang cukup deras.
Titik 5		Kondisi pada titik sampling 5 bersebelahan dengan perkampungan wisata, keadaan air sungai yang jernih dan terdapat vegetasi seperti rerumputan. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,43 m dengan lebar 17,4 m, dan terdapat *Point Source* yang berasal dari drainase dengan aliran yang cukup deras.

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Lokasi
Titik 6		Kondisi pada titik sampling 6 menunjukkan keadaan air sungai yang jernih dan terdapat vegetasi seperti semak belukar, rerumputan. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,32 m dengan lebar 20,7 m, dan tidak terdapat *Point Source.*
Titik 7		Kondisi pada titik sampling 7 menunjukkan keadaan air sungai yang jernih dan terdapat vegetasi seperti semak belukar dan pohon bambu. Titik sampling ini memiliki kedalaman 0,6 m dengan lebar 11,8 m, dan tidak terdapat *Point Source*

Tabel 4.2 Titik Lokasi Sampling Air Sungai Gajahwong

Titik	**Lokasi**	**Alamat**	**Koordinat**		**Jarak**	**Elevasi**
			Lintang	**Bujur**	**km**	**m**
1	Jembatan Selokan Mataram	Jalan Selokan Mataram, Pringwulung Soropadan, Condongcatur Kec. Depok, Kab. Sleman	-7,767432 LS	110,393357 BT	14,4	138
2	Jembatan Affandi	Jl. Laksda Adisucipto Ambarukmo, Caturtunggal, Depok, Kab. Sleman	-7,783138 LS	110,396682 BT	11,95	116
3	Jembatan Muja-Muju	Jl. Kusumanegara Rejowinangun Kec. Kotagede, Kota Yogyakarta	-7,802244 LS	110,397523 BT	9,59	89
4	Jembatan Paleman	Jl. Ki Penjawi No.20 Prenggan	-7,815026 LS	110,393023 BT	7,99	81

Titik	Lokasi	Alamat	Koordinat		Jarak	Elevasi
			Lintang	Bujur	km	m
		Kec. Kotagede Kota Yogyakarta				
5	Jembatan Tegal Gendu	Jl. Werkudara, Giwangan, Umbulharjo, Kota Yogyakarta	-7,830513 LS	110,39371 BT	5,72	73
6	Jembatan Grojogan	Jl. Monumen Perjuangan Grojogan, Wirokerten Banguntapan, Kabupaten Bantul	-7,843727 LS	110,395585 BT	3,65	61
7	Jembatan Ketonggo	Jl. Jejeran - Pleret No.350 Kanggotan, Pleret Kec. Pleret Kabupaten Bantul	-7,868976 LS	110,394798 BT	0	46

4.2 Kondisi Hidrolik Sungai Gajahwong

Data hidrolik Sungai Gajahwong terdiri dari kecepatan aliran, debit, dan kedalam sungai yang diperoleh langsung dari hasil pengukuran lapangan yang dilakukan pada 7 titik. Data hidrolik dapat diperoleh dari dua metode yaitu, metode pertama pengambilan data langsung ke sungai dengan membawa peralatan *Current Meter* dan meteran. Metode kedua dilakukan jika aksesibilitas pengambilan sampel sulit, maka pengumpulan data dilakukan dengan cara menggunakan tongkat atau batang pohon yang sudah tumbang kemudian dicelupkan kedalam air dan di ukur kedalamannya menggunakan meteran. Pengukuran lebar sungai apabila dapat dijangkau maka pengukuran dilakukan di bawah jembatan, dan jika tidak memungkinkan maka pengukuran lebar sungai dilakukan dengan cara mengukur lebar jembatan yang ada di titik lokasi sampling. Data hidrolik Sungai Gajahwong terdapat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Data Hidrolik Sungai Gajahwong

No	Titik Sampling	Kecepatan Aliran	Kedalaman	Lebar	Q
		m/s	m	m	(m^3/s)
1	Jembatan Selokan Mataram	0,42	0,33	11,5	1,59
2	Jembatan Affandi	0,51	0,2	18,4	1,88
3	Jembatan Muja-Muju	0,38	0,36	15,6	2,13
4	Jembatan Paleman	0,54	0,33	12,4	2,21
5	Jembatan Tegal Gendu	0,32	0,43	17,4	2,39
6	Jembatan Grojogan	0,62	0,32	19,1	3,79
7	Jembatan Ketonggo	0,72	0,53	11,8	4,50

4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai Gajahwong

Kondisi kualitas air Sungai Gajahwong didapatkan dari hasil pengukuran secara *In Situ* meliputi parameter pH dan suhu air, sedangkan parameter Nitrat dan Fosfat dilakukan pengukuran secara *Ex Situ* yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII. Parameter Nitrat dan Fosfat dianalisis dan dibandingkan dengan baku mutu air kelas II PP 22 Tahun 2021 lampiran VI untuk mengetahui kualitas air Sungai Gajahwong.

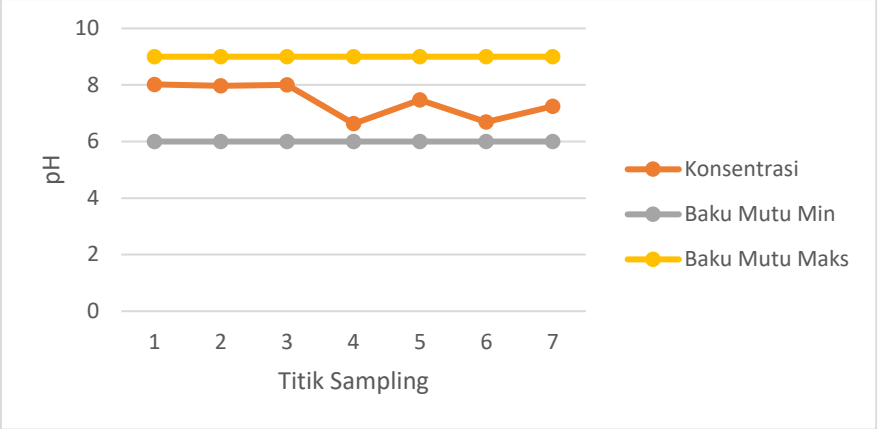
4.3.1 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas air di Sungai Gajahwong yang digunakan sebagai gambaran tingkat keasaman dan kebasaan suatu perairan. pH ini berskala 0-14, yang mana nilai pH sebesar 7 menandakan kondisi air bersifat netral, nilai pH di bawah 7 bersifat asam, dan nilai pH di atas 7 menandakan air bersifat basa. Nilai pH ini dipengaruhi oleh aktvitas alami maupun antropogenik di sekitar sungai.

Pada penelitian ini, pengukuran pH dilakukan disetiap titik secara *In Situ* menggunakan alat multi parameter pada saat sampling air Sungai Gajahwong. Data hasil pengukuran pH dibandingkan dengan baku mutu air kelas II pada PP Nomor 22 Tahun 2021. Hasil pengukuran dan perbandingan terdapat pada Tabel 4.4 dibawah.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran pH

No	Titik Sampling	pH	Baku Mutu Min	Baku Mutu Maks
1	Jembatan Selokan Mataram	8,02	6	9
2	Jembatan Affandi	7,97	6	9
3	Jembatan Muja-Muju	8	6	9
4	Jembatan Paleman	6,63	6	9
5	Jembatan Tegal Gendu	7,47	6	9
6	Jembatan Grojogan	6,69	6	9
7	Jembatan Ketonggo	7,25	6	9



Gambar 4.1 Grafik pH Air Sungai Gajahwong

Tabel 4.4 dan Gambar 4.1 menunjukkan nilai pH di Sungai Gajahwong memiliki rentang nilai antara 6,63 – 8,02. Seluruh nilai pH yang diperoleh berada dalam rentang baku mutu 6–9 sesuai dengan ketentuan PP 22 Tahun 2021 untuk air kelas II, sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi pH perairan di seluruh titik sampling masih memenuhi baku mutu yang berlaku. Nilai pH yang berkisaran netral hingga sedikit basa ini menunjukkan kualitas air Sungai Gajahwong masih cukup baik untuk mendukung aktivitas kehidupan biota air.

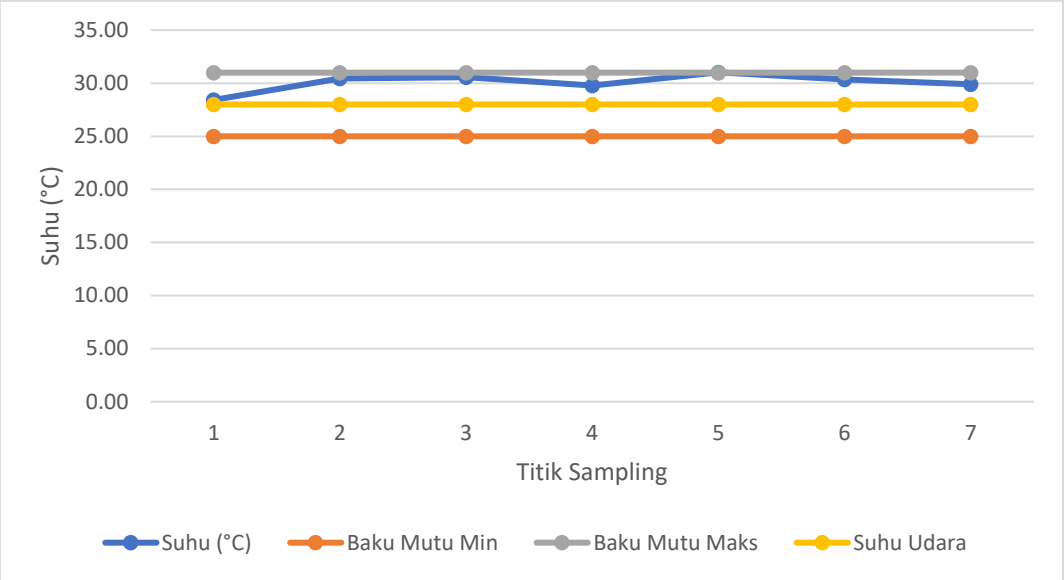
4.3.2 Suhu

Suhu atau temperatur air merupakan salah satu indikator untuk menilai kondisi kualitas air Sungai Gajahwong. Suhu perairan memiliki peran dalam mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, serta proses metabolisme organisme yang hidup di dalamnya. Perubahan suhu air dari faktor masuknya air limbah ke sungai maupun dari suhu udara memberikan dampak terhadap aktivitas biota perairan, termasuk proses pertumbuhan, meteabolisme, hingga berpotensi menyebabkan kematian organisme.

Pengukuran suhu air dilakukan secara *In Situ* menggunakan alat multi parameter di setiap titik pengambilan sampel. Data hasil pengukuran tersaji dalam Tabel 4.5

Tabel 4.5 Suhu Air Sungai Gajahwong

No	Titik Sampling	Suhu Air	Suhu Udara	Baku Mutu Min	Baku Mutu Max
		(°C)			
1	Jembatan Selokan Mataram	28	28	25	31
2	Jembatan Affandi	30			
3	Jembatan Muja-Muju	31			
4	Jembatan Paleman	30			
5	Jembatan Tegal Gendu	31			
6	Jembatan Grojogan	30			
7	Jembatan Ketonggo	30			



Gambar 4.2 Grafik Suhu Air Sungai Gajahwong

Tabel 4,5 dan Gambar 4,2 menunjukkan hasil pengukuran suhu air di beberapa titik sampling Sungai Gajahwong yang berkisar antara 28°C hingga 31°C, dengan suhu acuan (udara) sebesar 28°C. Menurut ketentuan PP 22 Tahun 2021, baku mutu suhu ditetapkan sebagai deviasi maksimum ±3°C dari kondisi alami, sehingga rentang yang diperbolehkan adalah 25°C hingga 31°C. Hasil pengukuran suhu air pada setiap titik sampling masih berada dalam rentang tersebut, sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter suhu di Sungai Gajahwong masih memenuhi baku mutu yang berlaku dan belum menunjukkan adanya perubahan temperatur yang signifikan akibat aktivitas pencemaran.

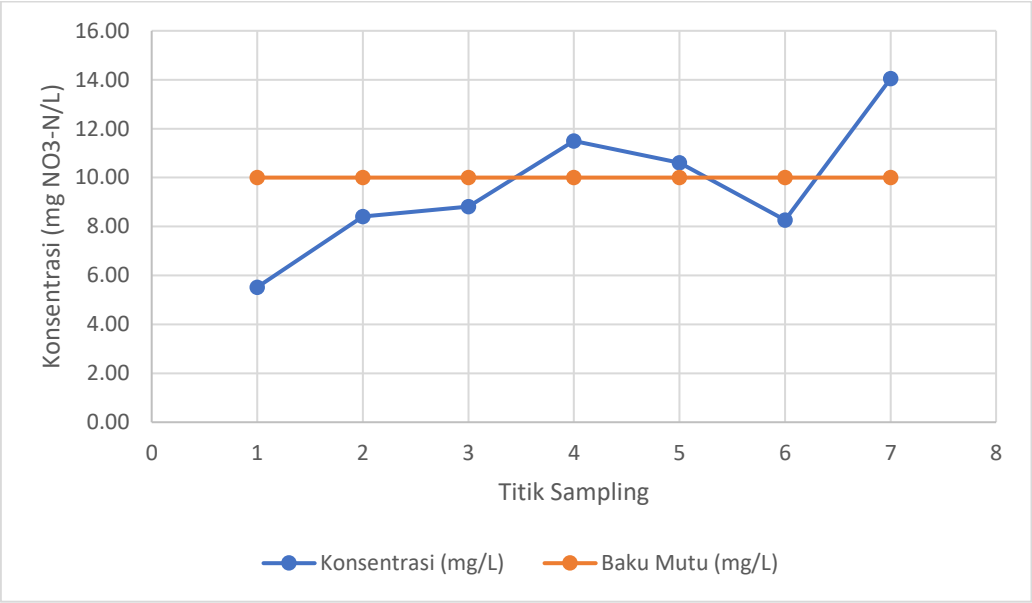
4.3.3 Nitrat

Nitrat merupakan salah satu parameter kimia yang menunjukkan kandungan senyawa nitrogen di perairan. Adanya kandungan Nitrat di dalam air berasal dari limbah domestik, aktivitas pertanian, dekomposisi bahan organik, serta limpasan pupuk yang masuk ke badan air. Dalam jumlah tertentu Nitrat dibutuhkan oleh organisme perairan, tetapi konsentrasi yang tinggi dapat memicu eutrofikasi.

Pengukuran Nitrat pada Sungai Gajahwong dilakukan di beberapa titik untuk mengetahui kondisi kualitas air dan kesesuaiannya terhadap baku mutu PP No. 22 Tahun 2021. Pengukuran dilakukan secara eksitu dengan menggunakan metode SNI 6989.79-2011 di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII. Hasil pengukuran Nitrat dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Konsentrasi Nitrat Air Sungai Gajahwong

No	Titik Sampling	Konsentrasi (mg NO3-N/L)	Baku Mutu (mg NO3-N/L)	Keterangan
1	Jembatan Selokan Mataram	5,52	10	Sesuai
2	Jembatan Affandi	8,41	10	Sesuai
3	Jembatan Muja-Muju	8,82	10	Sesuai
4	Jembatan Paleman	11,50	10	Tidak Sesuai
5	Jembatan Tegal Gendu	10,61	10	Tidak Sesuai
6	Jembatan Grojogan	8,27	10	Sesuai
7	Jembatan Ketonggo	14,04	10	Tidak Sesuai



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Nitrat Air Sungai Gajahwong

Hasil analisis kadar Nitrat pada 7 lokasi sampling di Sungai Gajahwong menunjukkan fluktuasi antara 5,52 mg NO_3-N/L hingga 14,04 mg NO_3-N/L. Konsentrasi Nitrat pada titik sampling 1 sampai titik sampling 3 tercatat masih memenuhi ambang baku mutu PP 22 Tahun 2021 sebesar 10 mg/L, dengan konsentrasi masing-masing sebesar 5,52 mg NO_3-N/L, 8,41 mg NO_3-N/L, dan 8,82 mg NO_3-N/L. Dari grafik tersebut menunjukkan tren kenaikan dari titik ke titik mengindikasikan adanya masukan pencemar dari aktivitas permukiman dan domestik di sepanjang aliran sungai.

Pelampauan baku mutu konsentrasi Nitrat terjadi pada 3 titik sampling, yaitu titik 4 sebesar 11,50 mg NO_3-N/L, titik 5 sebesar 10,61 mg NO_3-N/L, dan titik 7 sebesar 14,04 mg NO_3-N/L. Tingginya kadar Nitrat pada titik-titik tersebut diduga bersumber dari limbah domestik berupa air cucian dan buangan dapur, limpasan residu pupuk dari area pertanian, serta kegiatan usaha di sekitar daerah aliran sungai. Kondisi ini perlu mendapat perhatian

serius karena kadar Nitrat yang melebihi baku mutu dapat memicu eutrofikasi perairan yang berdampak pada penurunan kualitas ekosistem Sungai Gajahwong secara keseluruhan.

Pada titik 6, konsentrasi Nitrat juga masih memenuhi baku mutu dengan konsentrasi 8,27 mg NO_3-N/L yang kemungkinan hal ini disebabkan oleh proses *self-purification* alami sungai, salah satunya melalui peningkatan aerasi akibat adanya terjunan yang dapat mendorong proses asimilasi nitrat oleh biota akuatik. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Triwanda, dkk. (2023) yang menyatakan keberadaan terjunan dapat membantu proses *self-purification*, sehingga konsentrasi Nitrat cenderung mengalami penurunan ke arah hilir, kecuali terdapat masukan beban pencemar baru di segmen tersebut.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penurunan konsentrasi Nitrat pada titik 6 disebabkan oleh peningkatan aerasi akibat adanya terjunan yang mendukung proses *self-purification.* Selain itu, tidak adanya point source pada titik ini turut memperkuat dugaan penurunan konsentrasi Nitrat disebabkan oleh kemampuan *self-purification* alami sungai, bukan akibat pengaruh masukan beban pencemar baru.

4.3.4 Fosfat

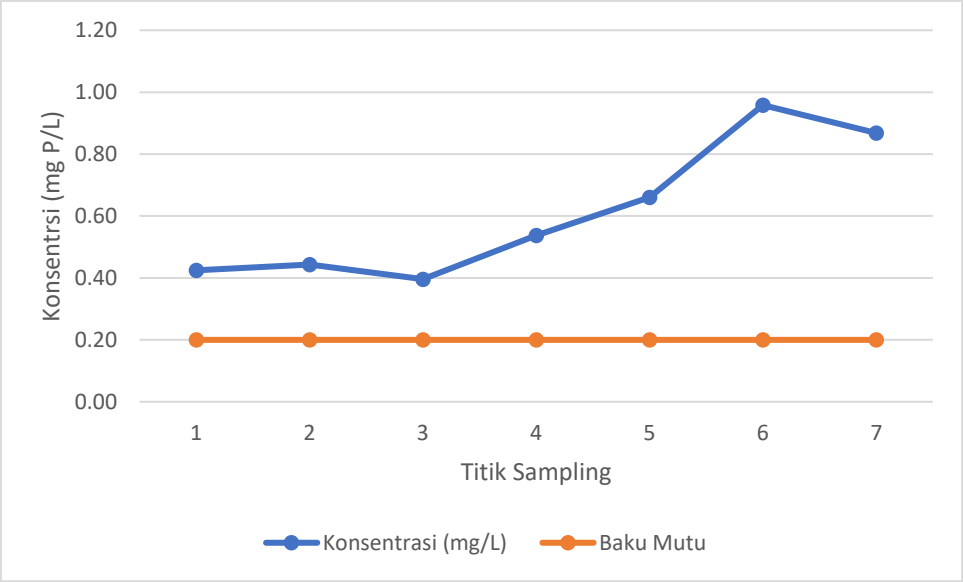
Fosfat dalam bentuk ortofosfat (PO_4) merupakan salah satu indikator kesuburan perairan sekaligus komponen kimia yang apabila berada pada konsentrasi tinggi dapat menurunkan kualitas air. Senyawa ini berasal dari limbah domestik dan penggunaan pupuk pertanian yang terbawa dan atau dibuang ke sungai. Fosfat dapat mengganggu ekosistem air sungai dengan cara menghambat pertumbuhan fitoplankton dan menyebabkan fenomena alga blooming.

Hasil nilai Fosfat pada setiap lokasi sampling diperoleh dari pengujian laboratorium FTSP UII menggunakan metode pengukuran secara asam askorbat menggunakan spektrofotometri UV-Vis dan nilai tersebut dibandingkan dengan baku mutu air kelas II dari PP 22 Tahun 2021. Hasil pengukuran dapat dilihat di Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Konsentrasi Fosfat Air Sungai Gajahwong

No	Titik Sampling	Konsentrasi	Baku Mutu	Keterangan
		mg P/L	mg P/L	
1	Jembatan Selokan Mataram	0,42	0,2	Tidak Sesuai
2	Jembatan Affandi	0,44	0,2	Tidak Sesuai
3	Jembatan Muja-Muju	0,40	0,2	Tidak Sesuai
4	Jembatan Paleman	0,54	0,2	Tidak Sesuai

No	Titik Sampling	Konsentrasi	Baku Mutu	Keterangan
		mg P/L	mg P/L	
5	Jembatan Tegal Gendu	0,66	0,2	Tidak Sesuai
6	Jembatan Grojogan	0,96	0,2	Tidak Sesuai
7	Jembatan Ketonggo	0,87	0,2	Tidak Sesuai



Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi Fosfat Air Sungai Gajahwong

Dari hasil pengukuran kadar Fosfat di air Sungai Gajahwong menunjukkan bahwa seluruh titik sampling memiliki konsentrasi Fosfat yang melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 0,2 mg/L. konsentrasi Fosfat terendah ada pada titik Jembatan Muja-Muju sebesar 0,40 mg P/L, sedangkan konsentrasi tertinggi terdapat pada titik Jembatan Grojogan sebesar 0,96 mg P/L. Hal ini menunjukkan bahwa perairan Sungai Gajahwong telah mengalami pencemaran nutrien Fosfat yang cukup tinggi.

Berdasarkan grafik terlihat adanya peningkatan konsentrasi Fosfat dari titik sampling hulu menuju hilir sungai. Peningkatan yang cukup signifikan dimulai dari titik Jembatan Paleman hingga mencapai puncaknya di Jembatan Grojogan, kemudian sedikit menurun pada titik Jembatan Ketonggo. Tingginya kandungan Fosfat di air Sungai Gajahwong ini disebabkan oleh masuknya limbah domestik dari hasil aktivitas masyarakat dan juga adanya limpasan dari kegiatan pertanian maupun perikanan di sekitar sungai. Kandungan Fosfat yang melebihi baku mutu mengindikasikan tingginya risiko pengayaan nutrien pada badan air.

4.4 Sumber Pencemar Sungai Gajahwong

4.4.1 Point Source

Point source merupakan sumber pencemar yang masuk ke badan sungai melalui titik pembuangan yang dapat diidentifikasi secara langsung lokasinya, seperti point source yang ada di Sungai Gajahwong terdiri dari air limbah domestik Mall Amplaz, air limbah Industri Susu, drainase Paleman, dan drainase Tegal Gendu. Identifikasi point source pada Sungai Gajahwong dilakukan dengan melakukan pengukuran konsentrasi Nitrat dan Fosfat pada masing-masing titik sumber pencemar. Data sumber pencemar point source Sungai Gajahwong tercantum pada Tabel.

Tabel 4.8 Sumber Pencemar *Point Source* Sungai Gajahwong

Segmen Sungai	**Sumber Pencemar**	**Nitrat**	**Fosfat**
		Konsentrasi (mg NO_3-N/L)	**Konsentrasi (mg P/L)**
	Point Source	**Point Source**	**Point Source**
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	8,27	0,17
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	19,34	0,05
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase Paleman	6,14	0,22
	Drainase Tegal Gendu	5,04	0,16

Data konsentrasi kedua parameter tersebut didapatkan dari pengujian di Laboratorium Kualitas Air FTSP UII. Dari data tersebut dapat dilihat terdapat 4 titik point source yang teridentifikasi pada Sungai Gajahwong, yaitu pada segmen 2 yang berasal dari Mall Amplaz dengan konsentrasi Nitrat 8,27 mg NO_3-N/L dan konsentrasi Fosfat 0,17 mg P/L. Pada segmen 5 sumber pencemar berasal dari Industri Susu dengan konsentrasi Nitrat 19,34 mg NO_3-N/L dan konsentrasi Fosfat 0,05 mg P/L. Kemudian pada segmen 6 terdapat dua sumber pencemar yaitu Drainase Paleman dengan konsentrasi Nitrat 6,14 mg NO_3-N/L dan konsentrasi Fosfat 0,22 mg P/L, serta Drainase Tegal Gendu dengan konsentrasi Nitrat 5,04 mg NO_3-N/L dan konsentrasi Fosfat sebesar 0,16 mg P/L.

Dari hasil identifikasi dapat diketahui bahwa industri susu pada segmen 5 merupakan sumber pencemar dengan kontribusi konsentrasi Nitrat terbesar dibandingkan dengan titik point source lainnya yaitu sebesar 19,34 mg NO_3-N/L, yang kemungkinan besar berasal dari limbah organik hasil pengolahan susu yang mengandung kadar nitrogen tinggi. Dalam hal ini keberadaan industri susu pada segmen 5 berpotensi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan beban pencemar Nitrat pada Sungai Gajahwong. Selain

Nitrat, konsentrasi Fosfat tertinggi ditemukan pada drainase Paleman dengan konsentrasi sebesar 0,22 mg P/L, yang mengindikasikan adanya kontribusi limbah domestik berupa detergen ataupun aktivitas rumah tangga lainnya yang mengandung senyawa Fosfat. Dapat disimpulkan bahwa keempat sumber pencemar tersebut memberikan kontribusi yang berbeda-beda terhadap peningkatan konsentrasi Nitrat dan Fosfat pada masing-masing segmen Sungai Gajahwong, dengan Industri Susu dan Drainase Paleman sebagai dua sumber pencemar dengan konsentrasi tertinggi di masing-masing parameter.

4.4.2 Diffuse Source

Identifikasi diffuse source pada Sungai Gajahwong tidak dapat dilakukan dengan pengambilan data secara langsung dikarenakan sulitnya akses menuju titik-titik sumber pencemar yang bersifat menyebar tersebut. Sehingga konsentrasi Nitrat dan Fosfat pada masing-masing segmen sungai yang teridentifikasi memiliki sumber pencemar diffuse source diperoleh melalui trial and error pada model QUAL2Kw, dengan memasukkan dan menyesuaikan nilai konsentrasi pada worksheet Diffuse Source hingga hasil simulasi model mendekati kondisi konsentrasi eksisting. Sumber pencemar dapat dilihat pada tabel berikut.

Segmen Sungai	**Sumber Pencemar**	**Nitrat**	**Fosfat**
		Konsentrasi (mg NO_3-N/L)	**Konsentrasi (mg P/L)**
	Diffuse Source	**Diffuse Source**	**Diffuse Source**
Jembatan Selokan Mataram	Limbah Domestik	17.5	0.45
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Persawahan	40	0.5
Embung Telogo Bangeran	Perikanan	0.1	0.1
	Domestik	2	0.2
DPRD Kota Yogyakarta	Persawahan	0.1	0.5
Gembira Loka-Tegal Gendu	Limbah Domestik	90	0.2
Bendung Lephen - Grojogan	Limbah Domestik	3	2.7
	Persawahan	5	0.1
Grojogan - Ketonggo	Perikanan	1	0.1
	Persawahan	5	1.5
	Limbah Domestik	90	1.2

4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Gajahwong dengan QUAL2K

Proses pemodelan kualitas air Sungai Gajahwong dilakukan menggunakan *Software* QUAL2K dengan memasukkan data primer dan data sekunder. Tahap awal pemodelan meliputi penginputan data kualitas air pada bagian hulu sungai (*Headwater Worksheet*), data kualitas air

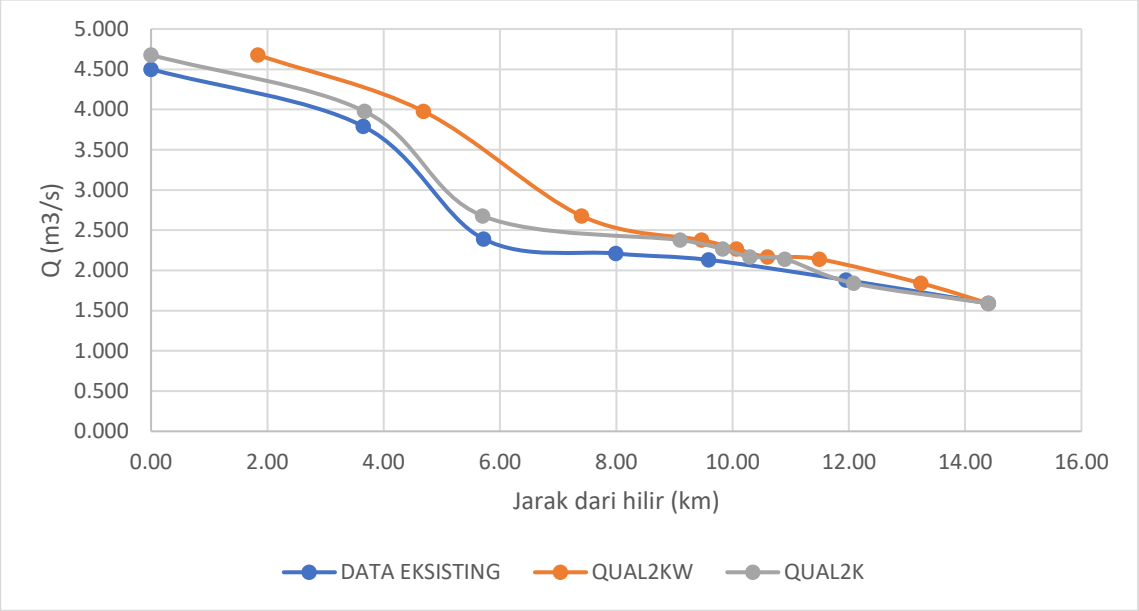
pada setiap segmen sungai (*Reach Worksheet)*, serta data meteorologi pendukung seperi suhu udara (*Air Temperature*) dan kecepatan angin (*Wind Speed*). Selanjutnya data sumber pencemar yang terdiri atas *Point Source* dan *Diffuse Source* dimasukkan kedalam *worksheet* masing-masing sesuai degan lokasi dan karakteristik sumber pencemar yang telah diidentifikasi. Setelah itu dilakukan penginputan data hidrolik sungai pada *hydraulics worksheet* yang meliputi debit dan karakteristik aliran sungai, kemudian dilanjutkan dengan memasukkan data kualitas air pada *worksheet* WQ data untuk parameter Nitrat dan Fosfat. Model yang tersusun kemudian di *Running* dan dikalibrasi dengan membandingkan simulasi terhadap data pengukuran lapangan sehingga diperoleh hasil pemodelan yang merepresentasikan kondisi kualitas air Sungai Gajahwong mendekati kondisi aktual.

4.5.1 Hasil Kalibrasi Model

Proses kalibrasi data menggunakan cara *Trial and Error* yagn dilakukan dengan beberapa kali pengulangan. Hal ini bertujuan agar data model mendekati dengan data eksisting atau data lapangan. Kalibrasi dilakukan pada model hidrolik meliputi parameter debit, kedalaman, dan lebar sungai, serta model kualitas air yang meliputi parameter Fosfat dan Nitrat menggunakan perangkat lunak QUAL2K Versi 3. Kalibrasi model hidrolik dilakukan pada *Worksheet Point Source* dan *Diffuse Source* pada bagian tabel *point inflow* dan *diffuse inflow*, sedangkan kalibrasi model kualitas air dilakukan pada *Worksheet Point & Diffuse Source, Rates,* serta *Reach Rates* pada bagian tabel yang sesuai dengan masing-masing parameter.

Penentuan keberhasilan kalibrasi model dievaluasi menggunakan nilai *Root Mean Square Percentage Error* (RMSPE) yang dihitung berdasarkan selisih antara nilai hasil simulasi model dengan nilai data lapangan dibandingkan dengan rata-rata keduanya. Proses kalibrasi seluruh parameter dilakukan berulang kali hingga diperoleh nilai %RMSPE yang memenuhi kriteria keberhasilan kalibrasi, sehingga simulasi model dapat dinyatakan sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan. Semakin kecil nilai RMSPE yang dihasilkan maka semakin kecil tingkat kesalahan model.

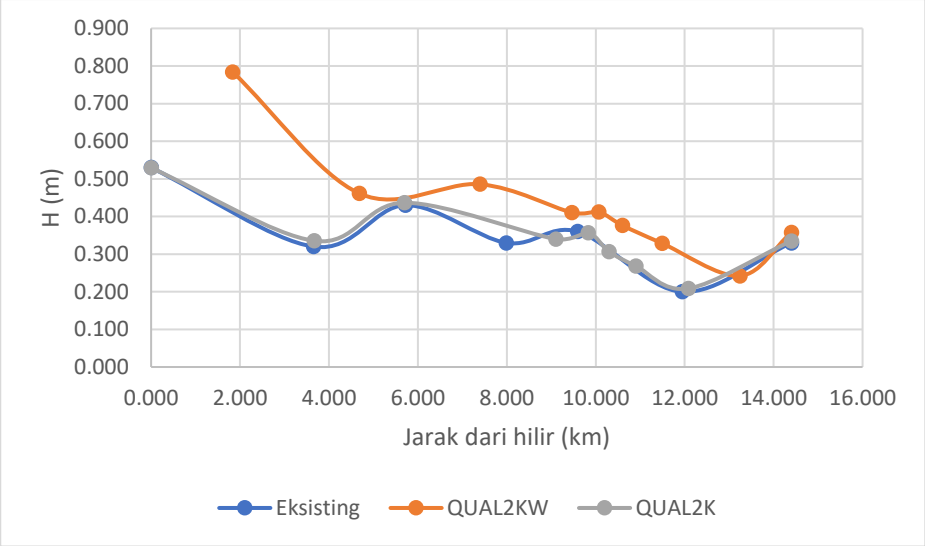
a. Kalibrasi Model Debit



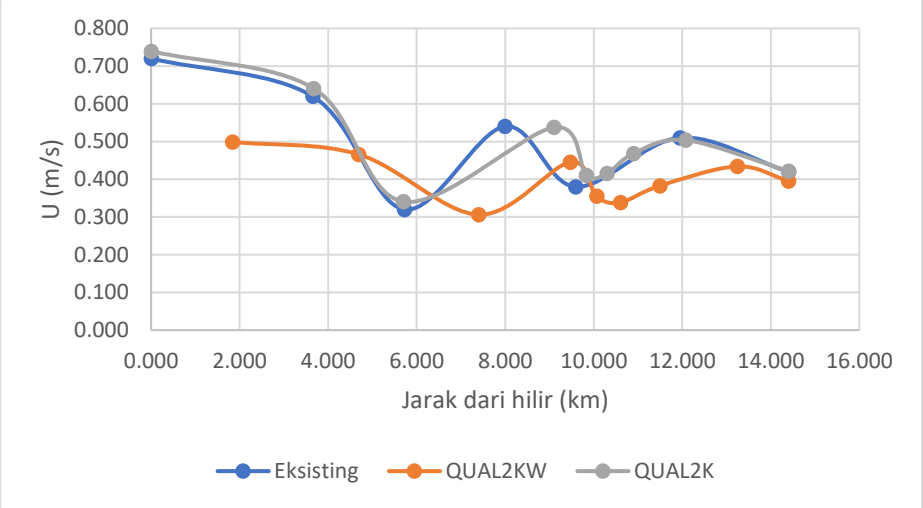
Gambar 4.5 Grafik Hasil Kalibrasi Model Debit

Hasil kalibrasi model hidrolik debit dari software QUAL2K dan QUAL2Kw menunjukkan tren yang sama dan saling mendekati terhadap grafik eksisting. Berdasarkan hasil perbandingan, diketahui nilai debit yang dihasilkan oleh kedua software tersebut terlihat sama, namun perbedaan terjadi di pembagian jarak segmen antara QUAL2Kw dan QUAL2K, sehingga titik-titik nilai debit yang sama tersebut diplot pada posisi jarak yang sedikit berbeda pada sumbu Jarak.

Berdasarkan hasil tersebut disimpulkan bahwa perbandingan QUAL2K dengan QUAL2Kw menghasilkan nilai debit yang sama persis, sehingga tidak terdapat perbedaan akurasi antara kedua software dalam mensimulasikan parameter debit. Perbedaan visual yang tampak pada grafik merupakan perbedaan dari pembagian segmen yang digunakan oleh masing-masing software, tidak disebabkan oleh perbedaan metode perhitungan atau tingkat akurasi model itu sendiri.



Gambar 4.6 Model Kedalaman Sungai Setelah di Kalibrasi

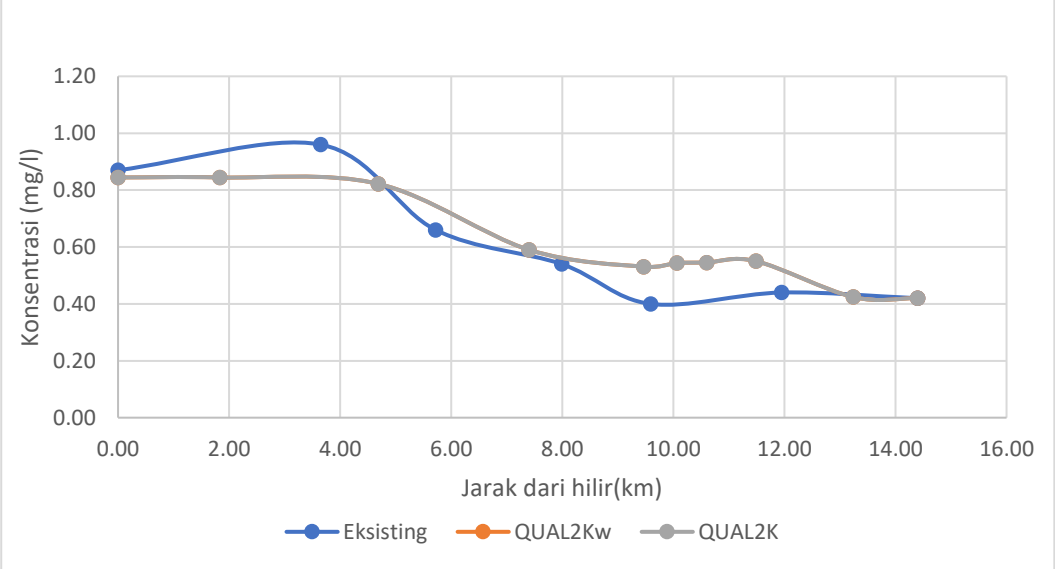


Gambar 4.7 Model Kecepatan Aliran Sungai Setelah di Kalibrasi

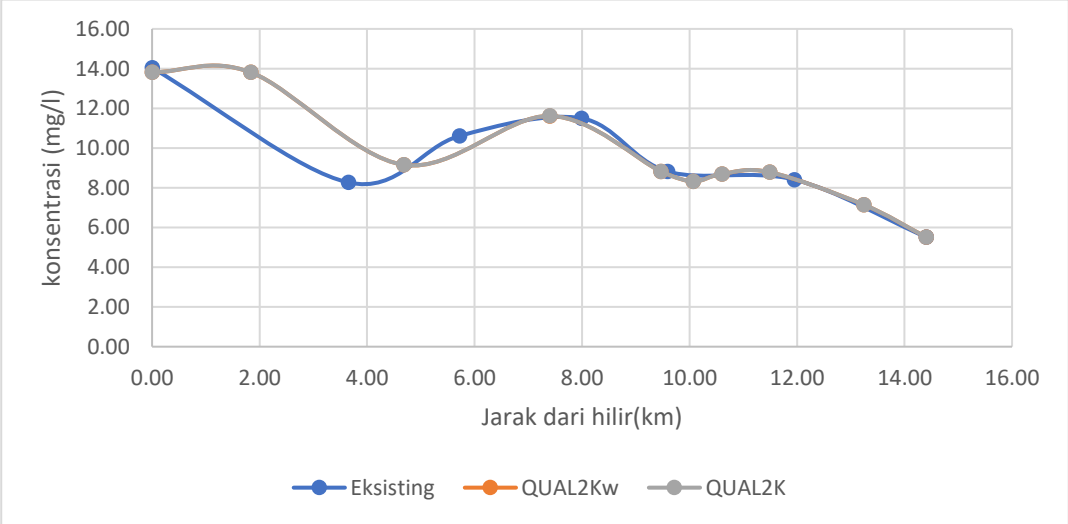
Hasil kalibrasi hidrolik dilakukan dengan mengubah-ubah nilai debit pada *worksheet headwater* dan nilai *diffuse inflow* pada *worksheet diffuse source* hingga diperoleh hasil debit model yang mendekati data debit eksisting. Hasil kalibrasi debit menunjukkan bahwa nilai debit model memiliki kecenderungan yang sama dengan data debit eksisting di sepanjang segmen sungai. Debit eksisting meningkat dari 1,590 m^3/s pada jarak 14,40 km menjadi 4,500 m^3/s pada jarak 0 km, sedangkan debit model menunjukkan peningkatan dari 1,590 m^3/s menjadi 4,500 m^3/s pada rentang jarak yang sama. Kedua kurva menunjukkan posisi yang sama hampir di sepanjang segmen, hal ini menunjukkan bahwa proses *trial and error* yang dilakukan pada nilai debit di *headwater* dan *diffuse inflow* telah menghasilkan model debit yang representatif terhadap kondisi eksisting debit sungai.

Ketidaksesuaian grafik model dengan eksisting pada model debit, kedalaman, dan kecepatan aliran ini disebabkan oleh perbedaan pembagian jarak antara data hasil pengukuran lapangan dengan pembagian segmen (*Reach*) pada model, yang mana nilai kedalaman dan kecepatan aliran model dihasilkan berdasarkan jarak segmen yang ditentukan pada worksheet Reach, sehingga pada jarak-jarak tertentu titik model tidak tepat dengan titik eksisting. Meskipun itu secara keseluruhan model masih dapat dikatakan cukup representatif karena pola tren pada segmen-segmen lainnya menunjukkan kesesuaian antara eksisting dengan hasil model, sehingga data tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk mensimulasikan kualitas air pada tahap analisis selanjutnya.

b. Kalibrasi Model Kualitas Air



Gambar 4.8 Model Fosfat Sungai Gajahwong Setelah Kalibrasi



Gambar 4.9 Model Nitrat Sungai Gajahwong Setelah Kalibrasi

Untuk mengetahui tingkat akurasi kedua software dalam mensimulasikan parameter kualitas air, dilakukan perbandingan antara hasil kalibrasi konsentrasi Nitrat dan Fosfat menggunakan QUAL2K dan QUAL2Kw terhadap data konsentrasi Nitrat dan Fosfat eksisting. Hasil perbandingan menunjukkan nilai konsentrasi Nitrat dan Fosfat yang dihasilkan oleh kedua software tersebut identik disetiap titik, sehingga kurva hasil simulasi QUAL2Kw sama dengan kurva simulasi QUAL2K. kondisi ini sejalan dengan hasil perbandingan pada parameter debit yang telah dibahas sebelumnya, dimana kedua software menghasilkan nilai yang mendekati untuk parameter yang sama.

Hasil perbandingan model konsentrasi Nitrat dan Fosfat menggunakan QUAL2K dengan QUAL2Kw menunjukkan tidak adanya perbedaan hasil konsentrasi kedua software tersebut dalam mensimulasikan parameter kualitas air ini. Hal ini menunjukkan perbedaan antara QUAL2K dan QUAL2Kw terletak pada kemampuan kalibrasi per segmen yang dimiliki QUAL2Kw, dan tidak berpengaruh terhadap perbedaan nilai hasil simulasi parameter kualitas air itu sendiri.

4.5.2 Hasil Evaluasi Model

Hasil evaluasi model dilakukan untuk menilai seberapa baik hasil simulasi model merepresentasikan data yang digunakan dalam proses kalibrasi. Proses ini menggunakan data yang sama dengan data kalibrasi, yaitu data lapangan yang meliputi parameter hidrolik berupa debit, kedalaman, dan lebar sungai, serta parameter kualitas air berupa Fosfat dan Nitrat. Uji kesesuaian dilakukan dengan membandingkan nilai hasil simulasi model pada QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw terhadap nilai data pengukuran lapangan yang sama dengan yang digunakan pada tahap kalibrasi.

Tingkat kesesuaian model dinilai menggunakan nilai *Root Mean Square Percentage Error* (RMSPE) yang dihitung berdasarkan selisih antara nilai simulasi model dengan nilai data lapangan dibandingkan terhadap rata-rata keduanya. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai %RMSPE yang diperoleh pada seluruh parameter, baik hidrolik maupun kualitas air memenuhi kriteria keberhasilan yang telah ditetapkan. Hal ini mengindikasikan bahwa model yang telah dikalibrasi mampu merepresentasikan kondisi eksisting di lapangan. Kemampuan prediksi model terhadap kondisi di luar dataset kalibrasi (misalnya pada waktu atau kondisi hidrologi yang berbeda) belum diuji dalam penelitian ini, sehingga hasil evaluasi ini sebaiknya diinterpretasikan sebagai indikator kesesuaian kalibrasi, bukan sebagai jaminan akurasi prediksi model secara umum.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan RMSPE Debit

Titik	Km	Data	QUAL2K			QUAL2Kw		
			Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE	Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE
1	14,4	1,590	1,59	0,000000	5,88	1,59	0,000000	5,88
2	11,95	1,880	1,84	0,000473		1,84	0,000473	
3	9,59	2,130	2,27	0,003652		2,27	0,003652	
4	7,99	2,210	2,38	0,004936		2,38	0,004936	
5	5,72	2,390	2,68	0,011494		2,68	0,011494	
6	3,65	3,790	3,98	0,002211		3,98	0,002211	
7	0	4,500	4,68	0,001432		4,68	0,001432	
Jumlah				0,024198			0,024198	

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan RMSPE Kedalaman

Titik	Km	Data	QUAL2K			QUAL2Kw		
			Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE	Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	Model
1	14,4	0,330	0,33	0,000217	2,75	0,36	0,005912	20,81
2	11,95	0,200	0,21	0,001749		0,24	0,030415	
3	9,59	0,360	0,36	0,000098		0,41	0,015838	
4	7,99	0,330	0,34	0,000896		0,41	0,038457	
5	5,72	0,430	0,44	0,000229		0,49	0,013195	
6	3,65	0,320	0,34	0,002106		0,46	0,093785	
7	0	0,530	0,53	0,000002		0,78	0,105152	
Jumlah				0,005296			0,302754	

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan RMSPE Kecepatan Aliran

Titik	Km	Data	QUAL2K			QUAL2Kw		
			Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE	Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	Model
1	14,4	0,420	0.42	0.000022	2,35	0,40	0,003886	23,67
2	11,95	0,510	0.50	0.000155		0,43	0,030637	
3	9,59	0,380	0.41	0.005450		0,36	0,004899	
4	7,99	0,540	0.54	0.000022		0,45	0,045086	
5	5,72	0,320	0.34	0.003668		0,31	0,002051	
6	3,65	0,620	0.64	0.001069		0,47	0,109101	
7	0	0,720	0.74	0.000689		0,50	0,196163	
Jumlah				0.011075			0,391823	

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan RMSPE Nitrat

Titik	Km	Data	QUAL2K			QUAL2Kw		
			Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE	Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE
1	14,4	5,520	5,52	0,000000	14,33	5,52	0,000000	14,33
2	11,95	8,410	7,15	0,031186		7,15	0,031186	
3	9,59	8,820	8,32	0,003644		8,32	0,003644	
4	7,99	11,500	8,83	0,091616		8,83	0,091617	
5	5,72	10,610	11,62	0,007529		11,62	0,007524	
6	3,65	8,270	9,15	0,009306		9,15	0,009298	
7	0	14,040	13,81	0,000271		13,81	0,000275	
Jumlah				0,143283			0,143554	

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan RMSPE Fosfat

Titik	Km	Data	QUAL2K			QUAL2Kw		
			Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE	Model	Kuadrat Kesalahan Relatif	RMSPE
1	14,4	0,420	0,42	0,000000	12,79	0,42	0,000000	12,79
2	11,95	0,440	0,42	0,001410		0,42	0,001410	
3	9,59	0,400	0,54	0,069737		0,54	0,069738	
4	7,99	0,540	0,53	0,000295		0,53	0,000295	
5	5,72	0,660	0,59	0,014002		0,59	0,014005	
6	3,65	0,960	0,82	0,028093		0,82	0,028096	
7	0	0,870	0,84	0,000910		0,84	0,000912	
Jumlah				0,114447			0,114457	

4.5.3 Perbandingan Model QUAL2K dan QUAL2Kw

Perbandingan antara model QUAL2K dan QUAL2Kw dilakukan untuk mengevaluasi perbedaan kinerja kedua perangkat lunak dalam mensimulasikan kondisi kualitas air Sungai Gajahwong, khususnya terkait aspek hidrolik, tingkat kesesuaian model, serta hasil simulasi konsentrasi Nitrat dan Fosfat. Perbandingan ini penting dilakukan mengingat kedua model memilki basis perhitungan yang serupa, namun terdapat perbedaan dalam pembacaan segmen serta kemampuan kalibrasi yang dapat mempengaruhi keakuratan hasil simulasi terhadap kondisi eksisting. Hasil perbandingan kedua model disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.14 Perbandingan Model QUAL2K dan QUAL2Kw

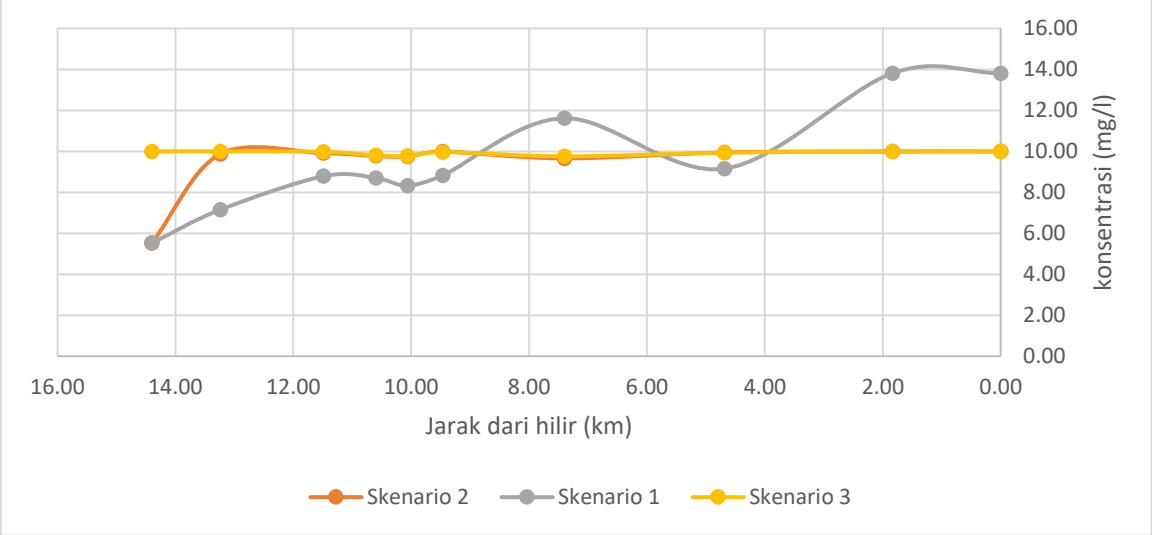
Aspek	QUAL2K	QUAL2Kw
Hidrolik	Pembacaan batas segmen sungai sesuai dengan data eksisting yang di input	Hasil batas segmen sungai berbeda dengan data eksisting yang di input seperti segmen 1 berada di km 13,24 dan

Aspek	QUAL2K	QUAL2Kw
		segmen 8 berada pada km 1,84 sehingga kurva model bergeser sedikit dari data eksisting namun hasil model mendekati dengan data eksisting
Kesesuaian model	hasil kesesuaian model menunjukkan QUAL2K secara umum lebih baik dalam melakukan pemodelan, karena setiap model menunjukkan persenan RMSPE yang rendah, yang mengartikan model mampu merepresentasikan kondisi eksisting.	Hasil RMSPE menunjukkan bahwa QUAL2Kw memiliki nilai persenan mirip dengan QUAL2K, namun untuk kecepatan aliran dan kedalaman memiliki penyimpangan yang jauh lebih besar, akibat ketidak sesuaian model pada segmen mendekati hilir. Hal ini menunjukkan untuk parameter kedalaman dan kecepatan aliran, QUAL2Kw kurang mampu dalam merepresentasikan model ke kondisi eksisting.
Nitrat	Tidak ada perbedaan antara model QUAL2K dan QUAL2Kw	Tidak ada perbedaan antara model QUAL2K dan QUAL2Kw
Fosfat	Tidak ada perbedaan antara model QUAL2K dan QUAL2Kw	Tidak ada perbedaan antara model QUAL2K dan QUAL2Kw

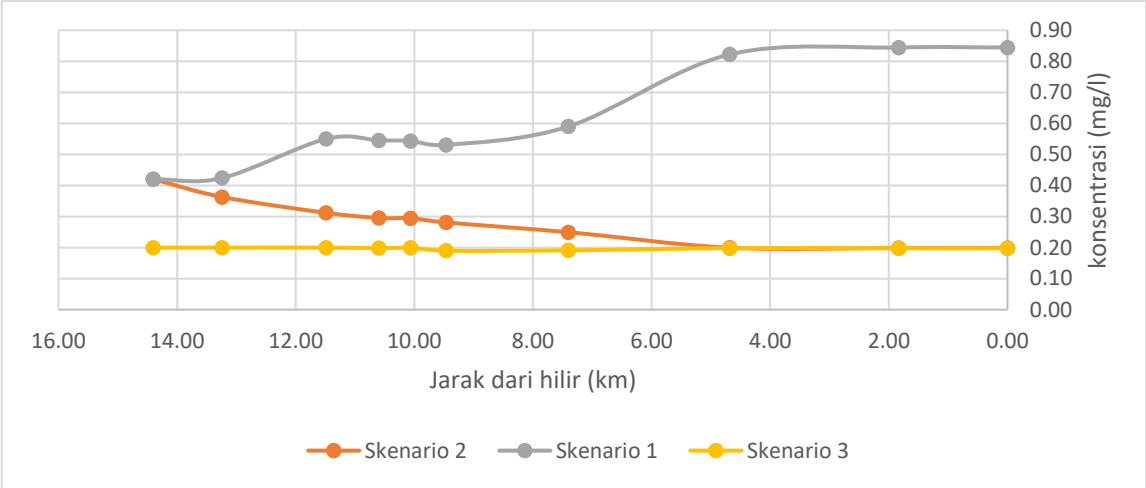
4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar

4.6.1 Hasil Simulasi Model

Simulasi model dilakukan setelah proses uji kesesuaian model mendapatkan hasil yang baik. Simulasi ini dijalankan berdasarkan skenario-skenario yang telah disusun sebelumnya. parameter yang disimulasikan adalah Nitrat dan Fosfat dengan menggunakan tiga (3) skenario, yaitu skenario 1 merupakan simulasi model kualitas air untuk kondisi eksisting, skenario 2 merupakan simulasi model kualitas air sesuai dengan baku mutu dengan konsentrasi hulunya sesuai dengan eksisting, dan skenario 3 merupakan simulasi model kualitas air yang bagian hulunya sesuai dengan baku mutu. Hasil dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 4.10 Hasil Simulasi Nitrat



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Model Fosfat

Kedua gambar diatas menunjukkan hasil Simulasi parameter Nitrat dan Fosfat. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan antara Skenario 1 yang mendekati data eksisting, Skenario 2 dan skenario 3 yang mendekati baku mutu baku mutu kualitas air Kelas II PP 22 Tahun 2021, dengan konsentrasi Nitrat sebesar 10 mg/L dan Fosfat sebesar 0,2 mg/L.

Perbandingan hasil dari skenario 2 dan skenario 3 untuk kedua parameter dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi batas hulu terhadap efektivitas pengendalian beban pencemar di sepanjang Sungai Gajahwong. Skenario 2 menggunakan konsentrasi hulu sesuai dengan kondisi eksisting dengan pengendalian sumber pencemar di sepanjang segmen sungai agar memenuhi baku mutu, sedangkan skenario 3 mengasumsikan konsentrasi hulu sesuai dengan baku mutu sejak awal simulasi. Pada parameter Nitrat, kondisi eksisting hulu masih jauh dibawah baku mutu, sehingga pada saat skenario 2

dilakukan, seluruh segmen dari hulu hingga hilir dapat memenuhi baku mutu tanpa harus mengubah konsentrasi sumber pencemar secara signifikan. Hal ini menunjukkan hasil simulasi skenario 2 dan skenario 3 pada parameter Nitrat menunjukkan pola yang relatif berimpit sepanjang sungai.

Perbedaan kondisi pada parameter Fosfat, yang mana konsentrasi eksisting Fosfat di bagian hulu sudah melampaui baku mutu. Sehingga pada saat skenario 2 dijalankan, pengendalian sumber pencemar di sepanjang segmen sungai hanya mampu menurunkan konsentrasi hingga memenuhi baku mutu pada titik km 4,69, km 1,84 dan km 0, sedangkan titik yang lainnya masih melebihi baku mutu akibat beban awal yang sudah tinggi sejak titik masuk simulasi. Hal ini menunjukkan bahwa beban Fosfat dari hulu tidak dapat diasimilasi hanya dengan mengendalikan sumber pencemar di ruas tengah-hilir. Pada skenario 3, konsentrasi hulu telah diasumsikan sesuai dengan baku mutu sejak awal, seluruh segmen sungai dari hulu hingga hilir secara konsisten memenuhi baku mutu, sehingga hal ini memperkuat bahwa sumber pencemar Fosfat di segmen hulu berasal dari sumber diffuse source diluar lingkup penelitian.

4.6.2 Beban Pencemar

Beban pencemar dihitung dengan cara mengalikan nilai debit aliran yang masuk ke sungai (Inflow) yang memiliki satuan m3/detik dengan konsentrasi pencemar yang masuk ke sungai dalam satuan mg/L. data konsentrasi pencemar yang digunakan dalam perhitungan ini diperoleh dari worksheet Source Summary pada software QUAL2Kw, yang merupakan hasil simulasi berdasarkan Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3. Perhitungan beban pencemar ini dilakukan terhadap parameter Nitrat dan Fosfat. Hasil perhitungan beban pencemar kedua parameter tersebut tersaji pada tabel berikut:

Tabel 4.15 Beban Pencemar Nitrat Skenario 1

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg NO3-N/L)		Beban Pencemar (kg NO3-N /hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	17,5	378,00
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	8,27	40	488,51
Embung Telogo Bangeran	-	Perikanan	0	0,007	0	0,1	0,06
	-	Domestik	0	0,02	0	2	3,46

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg NO3-N/L)		Beban Pencemar (kg NO3-N /hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
DPRD Kota Yogyakarta	-	Perikanan	0	0,1	0	0,1	0,86
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	19,34	0	183,81
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase	Domestik	0,1	0,1	6,14	90	830,65
	Drainase	-	0,1	0	5,04	0	43,55
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	3	155,52
	-	Persawahan	0	0,7	0	5	302,40
Grojogan - Ketonggo	-	Perikanan	0	0,2	0	1	17,28
	-	Persawahan	0	0,2	0	5	86,40
	-	Domestik	0	0,3	0	90	2332,80

Tabel 4.16 Beban Pencemar Fosfat Skenario 1

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg P/L)		Beban Pencemar (kg P/hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	0,45	9,72
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	0,17	0,5	7,26
Embung Telogo Bangeran	-	Perikanan	0	0,007	0	0,1	0,06
	-	Domestik	0	0,02	0	0,2	0,35
DPRD Kota Yogyakarta	-	Persawahan	0	0,1	0	0,5	4,32
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	0,05	0	0,48
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase	Domestik	0,1	0,1	0,22	0,2	3,63
	Drainase	-	0,1	0	0,16	0	1,38
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	2,7	139,97
	-	Persawahan	0	0,7	0	0,1	6,05
Grojogan - Ketonggo	-	Perikanan	0	0,2	0	0,1	1,73
	-	Persawahan	0	0,2	0	1,5	25,92
	-	Domestik	0	0,3	0	1,2	31,10

Tabel 4.17 Beban Pencemar Nitrat Skenario 2

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg NO3-N/L)		Beban Pencemar (kg NO3-N /hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	37,5	810,00
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	8,27	14	263,87
Embung Telogo Bangeran	-	Perikanan	0	0,007	0	9	5,44
	-	Domestik	0	0,02	0	7	12,10
DPRD Kota Yogyakarta	-	Persawahan	0	0,1	0	0,5	4,32
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	15	0	142,56
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase	Domestik	0,1	0,1	6,14	10	139,45
	Drainase	-	0,1	0	5,04	0	43,55
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	3	155,52
	-	Persawahan	0	0,7	0	17	1028,16
Grojogan - Ketonggo	-	Perikanan	0	0,2	0	1	17,28
	-	Persawahan	0	0,2	0	5	86,40
	-	Domestik	0	0,3	0	20	518,40

Tabel 4.18 Beban Pencemar Fosfat Skenario 2

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg P/L)		Beban Pencemar (kg P/hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	0	0,00
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	0	0	0,00
Embung Telogo Bangeran	-	Perikanan	0	0,007	0	0	0,00
	-	Domestik	0	0,02	0	0	0,00
DPRD Kota Yogyakarta	-	Persawahan	0	0,1	0	0	0,00
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	0	0	0,00
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase	Domestik	0,1	0,1	0	0	0,00
	Drainase	-	0,1	0	0	0	0,00
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	0	0,00
	-	Persawahan	0	0,7	0	0,18	10,89
Grojogan - Ketonggo	-	Perikanan	0	0,2	0	0	0,00
	-	Persawahan	0	0,2	0	0,3	5,18
	-	Domestik	0	0,3	0	0,25	6,48

Tabel 4.19 Beban Pencemar Nitrat Skenario 3

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg NO3-N/L)		Beban Pencemar (kg NO3-N /hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	10	216,00
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	8,27	13	255,23
Embung Telogo Bangeran	-	Perikanan	0	0,007	0	10	6,05
	-	Domestik	0	0,02	0	6	10,37
DPRD Kota Yogyakarta	-	Persawahan	0	0,1	0	0,05	0,43
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	14	0	133,06
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase	Domestik	0,1	0,1	6,14	13	165,37
	Drainase	-	0,1	0	5,04	0	43,55
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	2,5	129,60
	-	Persawahan	0	0,7	0	17	1028,16
Grojogan - Ketonggo	-	Perikanan	0	0,2	0	1	17,28
	-	Persawahan	0	0,2	0	5	86,40
	-	Domestik	0	0,3	0	20	518,40

Tabel 4.20 Beban Pencemar Fosfat Skenario 3

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m3/s)		Konsentrasi (mg P/L)		Beban Pencemar (kg P/hari)
	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	Point Source	Diffuse Source	
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	0,2	4,32
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	0	0,6	5,18
Embung Telogo Bangeran	-	Perikanan	0	0,007	0	0,1	0,06
	-	Domestik	0	0,02	0	0,18	0,31
DPRD Kota Yogyakarta	-	Persawahan	0	0,1	0	0,55	4,75
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	0	0	0,00
Gembira Loka-Tegal Gendu	Drainase	Domestik	0,1	0,1	0	0,6	5,18
	Drainase	-	0,1	0	0	0	0,00
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	0,25	12,96
	-	Persawahan	0	0,7	0	0,18	10,89
Grojogan - Ketonggo	-	Perikanan	0	0,2	0	0,01	0,17
	-	Persawahan	0	0,2	0	0,3	5,18
	-	Domestik	0	0,3	0	0,25	6,48

4.6.3 Daya Tampung Beban Pencemar

Daya tampung beban pencemar merupakan kapasitas maksimum badan air dalam menerima masukan beban pencemar tanpa menyebabkan badan air tersebut melampaui

kriteria mutu air yang telah ditetapkan sesuai dengan peruntukannya. Nilai daya tampung beban pencemar diperoleh dari selisih antara beban pencemar maksimum yang dihasilkan dari simulasi Skenario 2 dan skenario 3 dengan beban pencemar eksisting yang dihasilkan dari simulasi Skenario 1.

Apabila nilai daya tampung beban pencemar (DTBP) yang dihasilkan bernilai positif, maka badan sungai masih memiliki kapasitas untuk menerima tambahan beban pencemar tanpa melampaui baku mutu yang ditetapkan. Sebaliknya, apabila nilai DTBP yang dihasilkan bernilai negatif, maka beban pencemar yang masuk ke badan sungai telah melampaui kapasitas maksimum yang dapat ditampung, sehingga konsentrasi pencemar pada badan sungai telah melebihi baku mutu yang berlaku. Perhitungan daya tampung beban pencemar dilakukan terhadap parameter Nitrat dan Fosfat dengan hasil perhitungan terdapat pada tabel berikut:

Tabel 4.21 Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat

Segmen Sungai	Jarak		Beban Pencemar Skn 1 (kg NO3-N /hari)	Beban Pencemar Skn 2 (kg NO3-N /hari)	Beban Pencemar Skn 3 (kg NO3-N /hari)	DTBP Skn 2 (kg NO3-N /hari)	DTBP Skn 3 (kg NO3-N /hari)
	Upstream	Downstream					
Jembatan Selokan Mataram	14,40	12,08	378,00	810,00	216,00	432,00	-162,00
Kampus UIN Sunan Kalijaga	12,08	10,90	488,51	263,87	255,23	-224,64	-233,28
Embung Telogo Bangeran	10,90	10,30	3,52	17,54	16,42	14,02	12,90
DPRD Kota Yogyakarta	10,30	9,83	0,86	4,32	0,43	3,46	-0,43
Jembatan Muja-Muju	9,83	9,10	183,81	142,56	133,06	-41,25	-50,75
Gembira Loka-Tegal Gendu	9,10	5,70	874,20	183,00	208,92	-691,20	-665,28
Bendung Lephen - Grojogan	5,70	3,67	457,92	1183,68	1157,76	725,76	699,84
Grojogan - Ketonggo	3,67	0,00	2436,48	622,08	622,08	-1814,40	-1814,40

Hasil perhitungan daya tampung beban pencemar Nitrat menunjukkan perbedaan antara DTBP Skenario 2 dan DTBP Skenario 3. Perbedaan terjadi pada jumlah segmen sungai yang melebihi daya tampung beban pencemar, yang mana untuk skenario 2

memiliki 4 segmen sungai yang melebihi daya tampung, sedangkan skenario 3 memiliki 6 segmen sungai yang melebihi daya tampung. Selain itu, perbedaan juga terlihat pada bagian hulu sungai atau bagian segmen 1, yang mana untuk DTBP skenario 2 menunjukkan segmen 1 masih dapat menampung beban pencemar Nitrat hingga 432 kg NO3-N /hari, sedangkan DTBP skenario 3 menunjukkan segmen 1 memiliki daya tampung yang sudah melebihi sebanyak -162 kg NO3-N /hari.

Tabel 4.22 Daya Tampung Beban Pencemar Fosfat

Segmen Sungai	Jarak		Beban Pencemar Skn 1 (kg P/hari)	Beban Pencemar Skn 2 (kg P/hari)	Beban Pencemar Skn 3 (kg P/hari)	DTBP Skn 2 (kg P/hari)	DTBP Skn 3 (kg P/hari)
	Upstream	Downstream					
Jembatan Selokan Mataram	14,40	12,08	9,72	0,00	4,32	-9,72	-5,40
Kampus UIN Sunan Kalijaga	12,08	10,90	7,26	0,00	5,18	-7,26	-2,07
Embung Telogo Bangeran	10,90	10,30	0,41	0,00	0,37	-0,41	-0,03
DPRD Kota Yogyakarta	10,30	9,83	4,32	0,00	4,75	-4,32	0,43
Jembatan Muja-Muju	9,83	9,10	0,48	0,00	0,00	-0,48	-0,48
Gembira Loka-Tegal Gendu	9,10	5,70	5,01	0,00	5,18	-5,01	0,17
Bendung Lephen - Grojogan	5,70	3,67	146,02	10,89	23,85	-135,13	-122,17
Grojogan - Ketonggo	3,67	0,00	58,75	11,66	11,84	-47,09	-46,92

Hasil perhitungan daya tampung beban pencemar Fosfat menunjukkan perbedaan antara DTBP skenario 2 dan DTBP skenario 3. Hal ini terjadi karena DTBP skenario 2 memiliki konsentrasi hulu lebih dari baku mutu yang ditetapkan, sehingga pada saat kalibrasi pengendalian sumber pencemar dilakukan untuk menurunkan konsentrasi seluruh titik agar mencapai baku mutu. Namun upaya tersebut hanya menurunkan konsentrasi di segmen 7-8 sehingga beban pencemar yang dapat dihitung hanya di segmen 7 dan 8. Untuk skenario 3, perubahan dilakukan dengan mengubah konsentrasi hulu sesuai dengan baku mutu dan juga melakukan pengendalian pencemaran. Upaya tersebut membuat seluruh segmen memiliki beban pencemar yang masuk ke sungai, kecuali segmen 5 yang tidak

memiliki beban pencemar dikarenakan dari pengendalian sumber pencemar. Dari Skenario 3 ini hanya memiliki 2 segmen sungai yang masih memilki daya tampungnya yaitu, segmen 4 dapat menampung sebesar 0,43 kg P/hari dan segmen 6 dapat menampung sebesar 0,17 kg P/hari.

Kedua parameter ini memiliki hasil daya tampung beban pencemar yang berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi di bagian hulu sungai, yaitu parameter Nitrat memiliki konsentrasi hulu yang masih jauh dibawah baku mutu, sedangkan parameter Fosfat memiliki konsentrasi hulu yang sudah melebihi baku mutu. Titik dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu menyebabkan tidak dapatnya menghitung beban pencemar di titik tersebut yang dapat berpengaruh dalam menghitung daya tampung beban pencemar di segmen tersebut. Sehingga untuk menghitung beban pencemar dipastikan seluruh titik memiliki konsentrasi yang sudah sesuai dengan baku mutu.

4.7 Perbandingan Penelitian

Hasil analisis daya tampung beban pencemar pada penelitian ini menunjukkan perbedaan dengan penelitian Ghozali (2024), terutama pada parameter nitrat. Pada penelitian Ghozali, hasil Skenario 4 menunjukkan bahwa daya tampung nitrat masih bernilai positif hampir seluruh titik pengamatan dan hanya bernilai negatif sebesar -1,0 kg/hari pada titik 7. Sementara itu, untuk parameter fosfat, nilai DTBP masih bernilai negatif pada titik 2, 3, 4, dan 7, masing-masing sebesar -5,2 kg/hari, -1,3 kg/hari, -0,6 kg/hari, dan -0,1 kg/hari, sedangkan titik 1 mencapai nilai 0,0 kg/hari dan titik 5 serta 6 bernilai positif sebesar 0,5 kg/hari dan 1,2 kg/hari. Sebaliknya, hasil Skenario 3 pada penelitian ini menunjukkan bahwa daya tampung nitrat bernilai negatif pada segmen 1, 2, 4, 5, 6, dan 8, yaitu sebesar -162,00 kg/hari, -233,28 kg/hari, -0,43 kg/hari, -50,75 kg/hari, -665,28 kg/hari, dan -1814,40 kg/hari. Untuk parameter fosfat, nilai DTBP negatif terdapat pada segmen 1, 2, 3, 5, 7, dan 8 dengan nilai berturut-turut -5,40 kg/hari, -2,07 kg/hari, -0,03 kg/hari, -0,48 kg/hari, -122,17 kg/hari, dan -46,92 kg/hari, sedangkan segmen 4 dan 6 memiliki nilai positif sebesar 0,43 kg/hari dan 0,17 kg/hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dibandingkan penelitian Ghozali, penelitian ini memperlihatkan kondisi daya tampung parameter nitrat yang lebih banyak mengalami pelampauan, sedangkan pada parameter fosfat kedua penelitian sama-sama menunjukkan masih terdapat beberapa segmen yang telah melampaui daya tampung beban pencemar, meskipun dengan jumlah segmen dan besaran nilai DTBP yang berbeda.

Hasil analisis daya tampung beban pencemar parameter fosfat pada penelitian ini menunjukkan perbedaan dibandingkan dengan penelitian Damari (2023). Pada penelitian Damari, daya tampung beban pencemar fosfat masih bernilai negatif pada segmen 2, 3, dan 4, masing-masing sebesar -11,13 kg/hari, -2,44 kg/hari, dan -7,41 kg/hari, sedangkan segmen 1, 5, dan 6 masih memiliki daya tampung positif sebesar 2,53 kg/hari, 3,48 kg/hari, dan 14,24 kg/hari. Sementara itu, hasil penelitian ini pada Skenario 3 menunjukkan bahwa nilai DTBP fosfat bernilai negatif pada segmen 1, 2, 3, 5, 7, dan 8, yaitu sebesar -5,40 kg/hari, -2,07 kg/hari, -0,03 kg/hari, -0,48 kg/hari, -122,17 kg/hari, dan -46,92 kg/hari, sedangkan segmen 4 dan 6 masih memiliki daya tampung positif sebesar 0,43 kg/hari dan 0,17 kg/hari. Dibandingkan dengan penelitian Damari, penelitian ini menunjukkan jumlah segmen yang mengalami pelampauan daya tampung fosfat lebih banyak, dengan nilai DTBP negatif yang jauh lebih besar terutama pada segmen 7 dan 8. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kondisi pencemaran fosfat pada lokasi penelitian ini lebih tinggi dibandingkan lokasi yang diteliti oleh Damari dan juga perbedaan skenario yang digunakan kedua penelitian ini dapat mempengaruhi hasil perhitungan daya tampung beban pencemar fosfat.

4.8 Rekomendasi Pengelolaan Lingkungan

Pengelolaan Nitrat dapat difokuskan pada penerapan IPAL dengan proses nitrifikasi-denitrifikasi pada keempat titik point source dan disertai pengawasan baku mutu effluen. Selain itu perlu dilakukannya upaya optimalisasi sanitasi komunal yang diterapkan di kawasan permukiman padat sepanjang daerah aliran sungai melalui pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPAL) komunal berskala kawasan atau septic tank komunal yang dilengkapi unit biofilter anaerob-aerob, sehingga air limbah rumah tangga diolah terlebih dahulu untuk menurunkan kadar nitrogen sebelum di buang ke sungai.

Pengelolaan Fosfat dilakukan meliputi identifikasi sumber pencemar di kawasan hulu yang belum teridentifikasi mengingat konsentrasi hulu telah melampaui baku mutu, pengawasan effluen pada keempat titik point source khususnya drainase serta melakukan sosialisasi mengenai bahaya dan pembatasan penggunaan deterjen berfosfat. Penerapan zona penyangga vegetasi (*riparian buffer zone*) juga perlu dilakukan di sepanjang bantaran sungai berupa penanaman vegetasi seperti rumput, bambu, atau tanaman berakar serabut yang berfungsi menyerap dan menyaring limpasan permukaan sebelum mencapai badan sungai.

Beberapa aspek pengelolaan jangka panjang dapat mendukung pemulihan kualitas air secara berkelanjutan. Penetapan alokasi beban pencemar perlu dilakukan agar setiap sumber pencemar memiliki batas maksimum beban yang proporsional dan terukur. Pemantauan

kualitas air perlu diperluas dengan cara penambahan titik pantau atau dipantau mencakup musim hujan dan kemarau agar dinamika beban pencemar dapat terdata lebih representatif dibandingkan pemantauan satu waktu. Penguatan pengawasan izin pembuangan air limbah disertai penegakan hukum lingkungan terhadap pelaku usaha yang melanggar baku mutu dan pelibatan masyarakat melalui program berbasis komunitas perlu dilakukan untuk meningkatkan sumber daya manusia dalam peduli lingkungan. Kajian ekonomi juga diperlukan untuk menghitung perbandingan biaya kerugian yang dikeluarkan akibat pencemaran tersebut dengan biaya dan manfaat investasi IPAL komunal sebagai pemulihan kualitas air. Hasil kajian ini penting untuk menunjukkan bahwa investasi pengelolaan lingkungan jauh lebih kecil dibandingkan kerugian jangka panjang apabila pencemaran dibiarkan berlanjut.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Beban pencemar Nitrat dan Fosfat Skenario 1 yang masuk ke Sungai Gajahwong menunjukkan nilai yang bervariasi di setiap segmen. Beban pencemar Nitrat tertinggi ada pada Segmen Grojogan - Ketonggo sebesar 2436,48 kgNO_3-N/hari dan terendah pada Segmen DPRD Kota Yogyakarta sebesar 0,86 kgNO_3-N/hari, sedangkan beban pencemar Fosfat tertinggi terdapat pada Segmen Bendung Lepen - Grojogan sebesar 146,02 kg P/hari dan terendah pada Segmen Embung Telogo Bangeran sebesar 0,41 kg P/hari
2. Hasil perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) Nitrat dan Fosfat pada Skenario 3 menunjukkan bahwa beberapa segmen telah melampaui daya tampungnya sehingga diperlukan pengurangan beban pencemar. Kebutuhan reduksi beban pencemar di setiap segmen tercantum sebagai berikut.
    a) Nitrat
        - Segmen Jembatan Selokan Mataram: -162,00 kgNO_3-N/hari
        - Segmen Kampus UIN Sunan Kalijaga: -233,28 kgNO_3-N/hari
        - Segmen Embung Telogo Bangeran: 12,90 kgNO_3-N/hari
        - Segmen DPRD Kota Yogyakarta: -0,43 kgNO_3-N/hari
        - Segmen Jembatan Muja-Muju: -50,75 kgNO_3-N/hari
        - Segmen Gembira Loka - Tegal Gendu: -665,28 kgNO_3-N/hari
        - Segmen Bendung Lepen - Grojogan: 699,84 kgNO_3-N/hari
        - Segmen Grojogan - Ketonggo: -1814,40 kgNO_3-N/hari
    b) Fosfat
        - Segmen Jembatan Selokan Mataram: -5,40 kg P/hari
        - Segmen Kampus UIN Sunan Kalijaga: -2,07 kg P/hari
        - Segmen Embung Telogo Bangeran: -0,03 kg P/hari
        - Segmen DPRD Kota Yogyakarta: 0,43 kg P/hari
        - Segmen Jembatan Muja-Muju: -0,48 kg P/hari
        - Segmen Gembira Loka - Tegal Gendu: 0,17 kg P/hari
        - Segmen Bendung Lepen - Grojogan: -122,17 kg P/hari
        - Segmen Grojogan - Ketonggo: -46,92 kg P/hari

3. Perbandingan pemodelan QUAL2K Versi 3 dan QUAL2Kw untuk pemodelan kualitas air terutama parameter Nitrat dan Fosfat menghasilkan nilai konsentrasi simulasi yang identik di sepanjang sungai. Pada konfigurasi dan dataset penelitian ini, QUAL2K Versi 3 menunjukkan nilai *goodness of fit* yang lebih baik untuk parameter hidrolik dibandingkan QUAL2Kw, yang ditunjukkan oleh nilai %RMSPE QUAL2K yang lebih rendah yaitu untuk parameter debit 5,88%, kedalaman 2,75%, dan kecepatan aliran 2,35%. Untuk parameter kualitas air, nilai %RMSPE kedua model relatif serupa, yaitu Nitrat 14,33% dan Fosfat 12,79%. Pembacaan QUAL2K dan QUAL2Kw memiliki perbedaan pada posisi *reach* dalam pembagian segmennya, sehingga perbedaan nilai %RMSPE hidrolik tersebut turut dipengaruhi oleh perbedaan konfiguras, bukan karena perbedaan kemampuan model secara umum. Selain itu, hasil ini merupakan uji kesesuaian (*goodness of fit*) terhadap dataset kalibrasi, sehingga belum dapat digeneralisasi sebagai kesimpulan bahwa QUAL2K secara umum lebih unggul dari QUAL2Kw, mengingat belum dilakukan validasi independen dengan dataset yang berbeda.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengukuran data diffuse source secara langsung di lapangan, mengingat pada penelitian ini nilai konsentrasi diffuse source masih diperoleh melalui metode trial and error dikarenakan sulitnya akses menuju titik-titik sumber pencemar yang bersifat menyebar, sehingga akurasi data yang dihasilkan dapat ditingkatkan pada penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ahdiaty, R., & Fitriana, D. 2020. Pengambilan Sampel Air Sungai Gajah Wong di Wilayah Kota Yogyakarta. *Ind. J. Chem. Anal.,* 3(2), 65-73

Ahmad Kamal., Muhammad, N. S., & Abdullah, J. (2020). Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2KGIS. Environmental Pollution, 259, 113909.

Al-Dalimy, S. Z., & Al-Zubaidi, H. A. M. (2023). Application of QUAL2K Model for Simulating Water Quality in Hilla River, Iraq. Journal of Ecological Engineering, 24(6). https://doi.org/10.12911/22998993/162873

Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.9-2004: Air dan Air Limbah – Bagian 9: Cara Uji Nitrit (NO_2-N) Secara Spektrofotometri

Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 06-6989.23-2005: Air dan Air Limbah – Bagian 23: Cara Uji Suhu Dengan Termometer

Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 06-6989.31-2005: Air dan Air Limbah – Bagian 31: Cara Uji Kadar Fosfat Dengan Spektrofotometer Secara Asam Askorbat

Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 6989.11-2019: Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) Dengan Menggunakan pH meter

Damari, S. F. (2023). Analisis daya tampung beban pencemar amonia dan Fosfat di Sungai Gajahwong dengan pemodelan QUAL2Kw (Skripsi, Universitas Islam Indonesia).

Dinas Lingkungan Hidup. Basis Data Lingkungan Hidup. https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/basis-data-lingkungan-hidup. Diakses tanggal 23 Mei 2025

Firdausi, E., Surnarto, S., & Dewangga, A. Pengelolaan Sumber Daya Air di Daerah Aliran Sungai Gajah Wong: Studi Kasus Kelurahan Mrican, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, *12*(1), 1-6.

Ghozali, A. A., Eviane, D., & Lestari, A. D. N. (2024). ANALISIS DAYA DUKUNG SUNGAI MENGGUNAKAN QUAL2Kw: STUDI KASUS SEGMEN SUNGAI GAJAHWONG, YOGYAKARTA. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *24*(1). 27-38.

Gikas, G. D. (2014). Water Quality of Drainage Canals and Assessment of Nutrient Loads Using QUAL2Kw. *Environmental Processes*, *1*(4). https://doi.org/10.1007/s40710-014-0027-5

Hasham, G. J., & Ramal, M. M. (2022). Application of QUAL2K for Water Quality Modeling and Management for the Euphrates River in Fallujah City as a Case Study. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *17*(5). https://doi.org/10.18280/ijsdp.170515

Herlambang, A & R. Marsidi. 2003. Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat. Jurnal Teknologi Lingkungan; Vol 4 (1) : 46-55.

Hunaepi, & Firdaus, L. (2017). *Ekologi berbasis kearifan lokal*. Duta Pustaka Ilmu.

Juliasih, N. L. G. R., Hidayat, D., & Ersa, M. P. (2017). Penentuan kadar nitrit dan Nitrat pada perairan teluk Lampung sebagai indikator kualitas lingkungan perairan. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*.

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003

Legasari, L., Noviarni, N., Wijayanti, F., Oktaria, M., & Miarti, A. (2023). Analisis kadar Fosfat pada air sungai menggunakan spektrofotometri UV-VIS. *Jurnal Redoks: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, *6*(2).

Lusiana, N., Sulianto, A. A., Devianto, L. A., & Sabina, S. (2020). Penentuan Indeks Pencemaran Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Software QUAL2Kw (Studi Kasus Sungai Brantas Kota Malang). Jurnal Wilayah Dan Lingkungan, 8(2), 161–176.

Marsidi, R. (2002). Proses nitrifikasi dengan sistem biofilter untuk pengolahan air limbah yang mengandung amoniak konsentrasi tinggi. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, *3*(3), 149220.

Maulina, I. D. 2020. Eutrofikasi: Hijau Tidak Selalu Lestari.

Nipu, L. P. (2022). Penentuan kualitas air tanah sebagai air minum dengan metode indeks pencemaran. *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, *2*(1), 106–111. https://doi.org/10.59632/magnetic.v2i1,150

Novian, R. (2025). Pencemaran Perairan Sungai Bengkulu akibat Nitrat dan Fosfat dari Aktifitas Pertanian: Studi Literatur. *Integrative Perspectives of Social and Science Journal*, *2*(03 Juni), 3805-3814.

Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007 Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

Peraturan Menteri Linkgungan Hidup Nomor 5 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 Tentang Laksana Pengendalian Pencemaran Air

Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2011 Tentang Sungai

Rezananda, A. (2018). PENENTUAN DAYA TAMPUNG BEBAN CEMARAN NITRIT (NO2) DAN NITRAT (NO3) MENGGUNAKAN PROGRAM QUAL2E (STUDI KASUS: SUNGAI KLAMPOK, KABUPATEN SEMARANG) (Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro).

Sugiharto, E., Setyabudi, C. W. P., & Astuti, E. (2014). Kajian Total Daya Tampung Beban Pencemaran Harian Menggunakan Pemodelan Qual2k Untuk Pencemar BOD, TSS, Ammonia, Fosfat Dan Nitrat di Sungai Kampung Bugis (Study of Total Maximum Daily Load Using Qual2k Modelling for BOD, TSS, Ammonia, Phosphate). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, *21*(1), 21-29.

Surya, A. T. J., Sasongko, A. S., & Cahyadi, F. D. (2024). Kandungan amonia, Fosfat, Nitrat dan nitrit air laut di perairan pesisir desa lontar. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, *5*(3), 238-245.

Sutamihardja, R., Azizah, M., & Hardini, Y. (2018). STUDI DINAMIKA SENYAWA FOSFAT DALAM KUALITAS AIR SUNGAI CILIWUNG HULU KOTA BOGOR. *Jurnal Sains Natural*, *8*(1). https://doi.org/10.31938/jsn.v8i1,114

Taroreh, F. L., Karwur, F., & Mangimbulude, J. (2016). Transformasi nitrogen secara biologis di air panas sarongsong Kota Tomohon. In *Seminar Nasional Teknik Kimia" Kejuangan"* (p. 6).

Triane, D. (2015). Pemodelan Kualitas Air menggunakan Model Qual2K (Studi Kasus: DAS Ciliwung). Journal of Environmental Engineering ITB, 21(2), 190-200.

Triwanda, D., Sholichin, M., & Yuliani, E. (2023). Studi analisa kualitas air hulu Sungai Brantas ruas Kota Malang menggunakan program QUAL2Kw. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, *3*(2), 550-563.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Warsa, A., Haryadi, J., & Astuti, L. P. (2018). Mitigasi Beban Fosfor dari Kegiatan Budidaya dengan Penebaran Ikan Bandeng (Chanos chanos) Di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *19*(2). https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2669

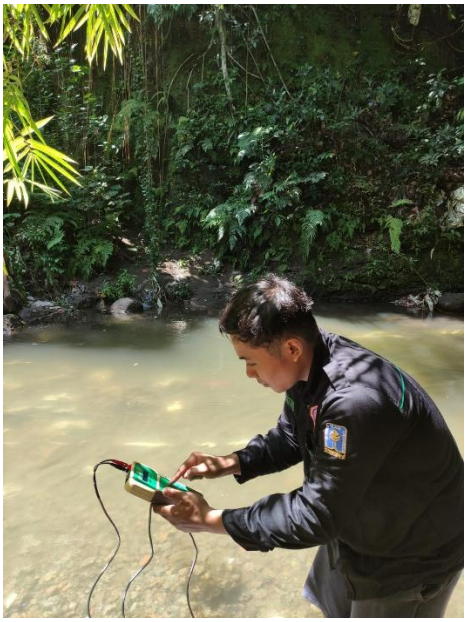
Wifarulah, Y. O., & Marlina, N. (2021). Analisis daya tampung beban pencemar BOD, COD, dan TSS di Sungai Widuri dengan menggunakan software QUAL2Kw. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, *13*(1), 1-16.

Yusal, M. S., Hasyim, A., Hastuti, H., Arif, A., & Pratomo, R. H. S. (2025). Review Eutrofikasi: Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *24*(1), 124-135.

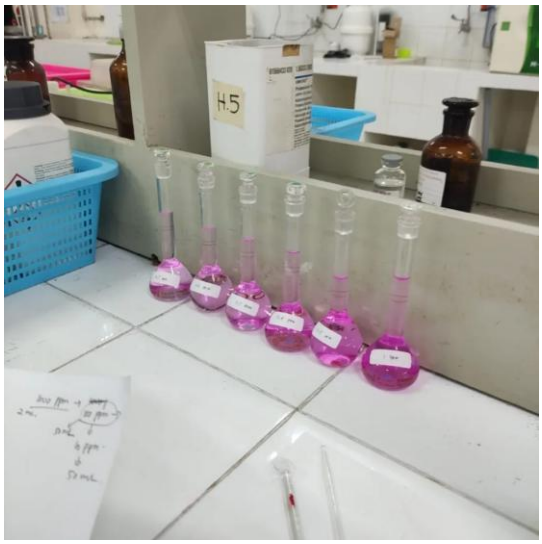
LAMPIRAN

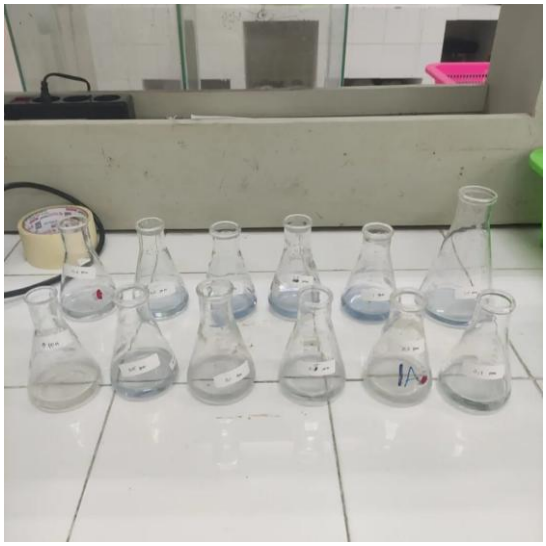
Lampiran 1. Dokumentasi Kegiatan Sampling





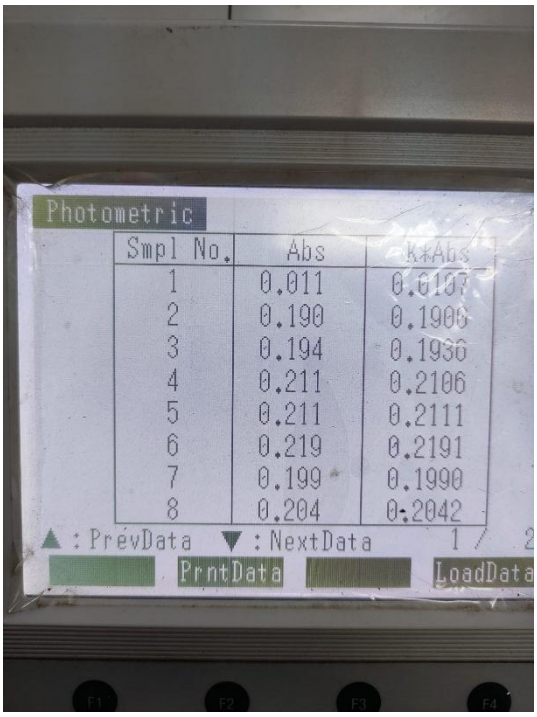
Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan Laboratorium


H.5








Photometric
Smpl No. Abs KxAbs
1 0.011 0.0107
2 0.190 0.1900
3 0.194 0.1936
4 0.211 0.2106
5 0.211 0.2111
6 0.219 0.2191
7 0.199 0.1990
8 0.204 0.2042
▲ : PrevData ▼ : NextData 1 / 2
PrntData
LoadData

Lampiran 3. Worksheet QUAL2K

a. Worksheet Headwater

Number of Headwaters	1																	
Headwater 0 (Mainstem)																		
Headwater label	Reach No	Flow	Elevation				Weir					Rating Curves				Manning Formula		Prescribed
		Rate		Bot Width	Side	Side	Weir	Height	Width	adam	bdam	Velocity		Depth		Channel	Manning	Dispersion
		(m^3/s)	(m)	m	Slope	Slope	Type	(m)	(m)			Coefficient	Exponent	Coefficient	Exponent	Slope	n	m2/s
Mainstem headwater	1	1.590	138.000	11.25	0.00	0.00	Sharp	0.2000	17.5300	1.2500	0.9000					0.0082	0.0350	0.00

b. Worksheet Reach

Reach for diel plot	8																	
Element for diel plot	1	Reach	Headwater	Reach				Location		Element	Elevation		Downstream					
Reach	Downstream	Number	Reach	length	Downstream		Slope	Upstream	Downstream	Number	Upstream	Downstream	Latitude			Longitude		
Label	end of reach label			(km)	Latitude	Longitude	(m/m)	(km)	(km)	>=1	(m)	(m)	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds
Segmen 1		1	Yes	2.32	7.77	-110.39	0.0081897	14.400	12.080	1	138.000	119.000	7.00	46	3	110.00	23	36
Segmen 2		2		1.18	7.78	-110.40	0.0152542	12.080	10.900	1	119.000	101.000	7.00	46	58	110.00	23	49
Segmen 3		3		0.60	7.79	-110.40	0.0033333	10.900	10.300	1	101.000	99.000	7.00	47	31	110.00	23	46
Segmen 4		4		0.47	7.80	-110.40	0.0191489	10.300	9.830	1	99.000	90.000	7.00	47	48	110.00	23	48
Segmen 5		5		0.73	7.80	-110.40	0.0027397	9.830	9.100	1	90.000	88.000	7.00	48	0	110.00	23	55
Segmen 6		6		3.40	7.81	-110.40	0.0047059	9.100	5.700	1	88.000	72.000	7.00	48	22	110.00	23	49
Segmen 7		7		2.03	7.83	-110.39	0.0054187	5.700	3.670	1	72.000	61.000	7.00	49	50	110.00	23	39
Segmen 8		8		3.67	7.84	-110.40	0.0040872	3.670	0.000	1	61.000	46.000	7.00	50	38	110.00	23	44

			Hydraulic Model (Weir Overrides Manning Formula; Manning Formula Override Rating Curves)									
			Weir					Rating Curves				Manning Formula	
Bot Width	Side	Side	Weir	Height	Width	adam	bdam	Velocity		Depth		Channel	Manning
m	Slope	Slope	Type	(m)	(m)			Coefficient	Exponent	Coefficient	Exponent	Slope	n
17.50			Sharp	0.0600	17.5300	1.2500	0.9000					0.0082	0.0350
17.00			Sharp	0.0600	12.2600	1.2500	0.9000					0.0153	0.0350
17.00			Sharp	0.0700	10.2800	1.2500	0.9000					0.0033	0.0350
15.50			Sharp	0.1800	16.7100	1.2500	0.9000					0.0191	0.0350
13.00			Sharp	0.1300	13.4800	1.2500	0.9000					0.0027	0.0350
18.00			Sharp	0.3100	32.4700	1.2500	0.9000					0.0047	0.0350
18.50			Sharp	0.1200	21.7400	1.2500	0.9000					0.0054	0.0350
11.95			Sharp	0.1500	10.9400	1.2500	0.9000					0.0041	0.0350

c. Worksheet Diffuse Source

	Tributary	Headwater	Location		Diffuse	Diffuse	Nitrate	Particulate	Dissolved	Inorganic
			Up	Down	Abstraction	Inflow	N	Org P	Org P	P
Name	No.*	Label	km	km	m3/s	m3/s	ugN/L	ugP/L	ugN/L	ugP/L
Domestik (Segm 1)	0	Mainstem headwater	14.00	13.40	0.0000	0.2500	17500.0			450.00
Persawahan (Segm 2)	0	Mainstem headwater	11.90	11.70	0.0000	0.1000	40000.0			500.00
Perikanan (Segmen 3)	0	Mainstem headwater	10.60	10.50	0.0000	0.0070	100.0			100.00
Domestik (Segmen 3)	0	Mainstem headwater	10.50	10.30	0.0000	0.0200	2000.0			200.00
Persawahan (Segm 4)	0	Mainstem headwater	10.30	10.00	0.0000	0.1000	100.0			500.00
Domestik (Segm 6)	0	Mainstem headwater	7.90	7.30	0.0000	0.1000	90000.0			200.00
Domestik (Segm 7)	0	Mainstem headwater	5.30	5.02	0.0000	0.6000	3000.0			2700.00
Persawahan (Segm 7)	0	Mainstem headwater	4.16	3.70	0.0000	0.7000	5000.0			100.00
Perikanan (segmn 8)	0	Mainstem headwater	3.60	2.89	0.0000	0.2000	1000.0			100.00
Persawahan (Segmn 8)	0	Mainstem headwater	2.51	1.29	0.0000	0.2000	5000.0			1500.00
Domestik (Segmn 8)	0	Mainstem headwater	0.26	0.15	0.0000	0.3000	90000.0			1200.00

d. Worksheet Point Source

	Tributary	Headwater	Location	Point	
				Abstraction	Inflow
Name	No.	Label	km	m3/s	m3/s
Mall Amplaz	0	Mainstem headwater	12.05	0.0000	0.2000
Industri Susu	0	Mainstem headwater	9.61	0.0000	0.1100
Drainase Jembatan Paleman	0	Mainstem headwater	8.06	0.0000	0.1000
Drainase Jembatan Tegal Gendu	0	Mainstem headwater	6.20	0.0000	0.1000

Nitrate + Nitrite N			Particulate Organic P			Dissolved Organic P			Inorganic P		
mean	range/2	time of	mean	range/2	time of	mean	range/2	time of	mean	range/2	time of
ugN/L	ugN/L	max	ugP/L	ugP/L	max	ugP/L	ugP/L	max	ugP/L	ugP/L	max
8270.00									1736.00		
19340.00									270.00		
6140.00									2180.00		
5040.00									800.00		

e. Worksheet Hydraulics Data

Tributary No.	Distance x(km)	Q data m3/s	H data m	U data m/s	Travel time data d
0	14.400	1.590	0.330	0.420	
0	11.950	1.880	0.200	0.510	
0	9.590	2.130	0.360	0.380	
0	7.990	2.210	0.330	0.540	
0	5.720	2.390	0.430	0.320	
0	3.650	3.790	0.320	0.620	
0	0.000	4.500	0.530	0.720	

f. Worksheet WQ Data

Tributary No.	Distance km	NO3 (ugN/L) data	POP (ugP/L) data	DOP (ugP/L) data	Pinorg (ugP/L) data
0	14.40	5520.00			420.00
0	11.95	8410.00			440.00
0	9.59	8820.00			400.00
0	7.99	11500.00			540.00
0	5.72	10610.00			660.00
0	3.65	8270.00			960.00
0	0.00	14040.00			870.00

Lampirann 4. Worksheet QUAL2Kw

a. Worksheet Headwater

Headwater Flow	1.590	m3/s			
Prescribed downstream boundary?	Yes				
Headwater Water Quality	*Units*	*12:00 AM*	*1:00 AM*	*2:00 AM*	*3:00 AM*
Temperature	C	28.40	28.40	28.40	28.40
Conductivity	umhos				
Inorganic Solids	mgD/L	67.00	67.00	67.00	67.00
Dissolved Oxygen	mg/L	2.94	2.94	2.94	2.94
CBODslow	mgO2/L				
CBODfast	mgO2/L				
Organic Nitrogen	ugN/L				
NH4-Nitrogen	ugN/L				
NO3-Nitrogen	ugN/L	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
Organic Phosphorus	ugP/L				
Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L	200.00	200.00	200.00	200.00
Phytoplankton	ugA/L				
Detritus (POM)	mgD/L				
Pathogen	cfu/100 mL				
Generic constituent	user defined	0.01	0.01	0.01	0.01
Alkalinity	mgCaCO3/L	100.00	100.00	100.00	100.00
pH	s.u.	8.02	8.02	8.02	8.02

b. Worksheet Reach

Reach for diel plot:	8	<-------- change diel plots to this reach														
			Reach			*Downstream*	*Elevation*		*Downstream*						*Weir*	
Reach	*Downstream*		*length*	*Downstream*		*location*	*Upstream*	*Downstream*	*Latitude*			*Longitude*			*Height*	*Width*
Label	*end of reach label*	*Number*	*(km)*	*Latitude*	*Longitude*	*(km)*	*(m)*	*(m)*	*Degrees*	*Minutes*	*Seconds*	*Degrees*	*Minutes*	*Seconds*	*(m)*	*(m)*
	Headwater	0		7.76	110.39	14.400		138.000	7.00	45	49	110.00	23	38.43	0.0600	17.0000
Segmen 1		1	2.32	7.77	110.39	12.080	138.000	119.000	7.00	46	3	110.00	23	36	0.0600	17.5300
Segmen 2		2	1.18	7.78	110.40	10.900	119.000	101.000	7.00	46	58	110.00	23	49	0.0600	12.2600
Segmen 3		3	0.60	7.79	110.40	10.300	101.000	99.000	7.00	47	31	110.00	23	46	0.0700	10.2800
Segmen 4		4	0.47	7.80	110.40	9.830	99.000	90.000	7.00	47	48	110.00	23	48	0.1800	16.7100
Segmen 5		5	0.73	7.80	110.40	9.100	90.000	88.000	7.00	48	0	110.00	23	55	0.1300	13.4800
Segmen 6		6	3.40	7.81	110.40	5.700	88.000	72.000	7.00	48	22	110.00	23	49	0.3100	32.4700
Segmen 7		7	2.03	7.83	110.39	3.670	72.000	61.000	7.00	49	50	110.00	23	39	0.1200	21.7400
Segmen 8		8	3.67	7.84	110.40	0.000	61.000	0.000	7.00	50	38	110.00	23	44	0.1500	10.9400

Manning Formula				
Channel Slope	Manning n	Bot Width m	Side Slope	Side Slope
0.0082	0.0350	17.00		
0.0082	0.0350	17.50		
0.0153	0.0350	17.00		
0.0033	0.0350	17.00		
0.0191	0.0350	15.50		
0.0027	0.0350	13.00		
0.0047	0.0350	18.00		
0.0054	0.0350	18.50		
0.0041	0.0350	11.95		

c. Worksheet Diffuse Source

			Diffuse Abstraction	Diffuse Inflow	Nitrate N	Organic P	Inorganic P
Name	Up (km)	Down (km)	m3/s	m3/s	ugN/L	ugP/L	ugP/L
Domestik (Segm 1)	14.00	13.40	0.0000	0.2500	17500.0		450.00
Persawahan (Segm 2)	11.90	11.70	0.0000	0.1000	40000.0		500.00
Perikanan (Segmen 3)	10.60	10.50	0.0000	0.0070	100.0		100.00
Domestik (Segmen 3)	10.50	10.30	0.0000	0.0200	2000.0		200.00
Persawahan (Segm 4)	10.30	10.00	0.0000	0.1000	100.0		500.00
Domestik (Segm 6)	7.90	7.30	0.0000	0.1000	90000.0		200.00
Domestik (Segm 7)	5.30	5.02	0.0000	0.6000	3000.0		2700.00
Persawahan (Segm 7)	4.16	3.70	0.0000	0.7000	5000.0		100.00
Perikanan (segmn 8)	3.60	2.89	0.0000	0.2000	1000.0		100.00
Persawahan (Segmn 8)	2.51	1.29	0.0000	0.2000	5000.0		1500.00
Domestik (Segmn 8)	0.26	0.15	0.0000	0.3000	90000.0		1200.00

d. Worksheet Point Source

		Point	Point
		Abstraction	Inflow
Name	Location (km)	m3/s	m3/s
Mall Amplaz	12.05	0.0000	0.2000
Industri Susu	9.61	0.0000	0.1100
Drainase Jembatan Paleman	8.06	0.0000	0.1000
Drainase Jembatan Tegal Gendu	6.20	0.0000	0.1000

Nitrate + Nitrite N			Organic P			Inorganic P		
mean	range/2	time of	mean	range/2	time of	mean	range/2	time of
ugN/L	ugN/L	max	ugP/L	ugP/L	max	ugP/L	ugP/L	max
8270.00						1736.00		
19340.00						270.00		
6140.00						2180.00		
5040.00						800.00		

e. Worksheet Hydraulics Data

Distance	Q-data	H-data	U-data	Travel time
x(km)	m3/s	m	m/s	data (d)
14.400	1.590	0.330	0.420	
11.950	1.880	0.200	0.510	
9.590	2.130	0.360	0.380	
7.990	2.210	0.330	0.540	
5.720	2.390	0.430	0.320	
3.650	3.790	0.320	0.620	
0.000	4.500	0.530	0.720	

f. Worksheet WQ Data

Distance	NO3 (ugN/L)	Porg (ugN/L)	Inorg P (ugP/L)
km	data	data	data
14.40	5520.00		420.00
11.95	8410.00		440.00
9.59	8820.00		400.00
7.99	11500.00		540.00
5.72	10610.00		660.00
3.65	8270.00		960.00
0.00	14040.00		870.00

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah, lahir di Banda Aceh pada tanggal 19 Desember 2004. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dengan kedua orang tua bernama Bapak Andriansyah dan Ibu Vivi Lilyana Oroh. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai di SD Negeri 20 Banda Aceh (2010-2016), kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 6 Banda Aceh (2016-2019), dan SMA Negeri 3 Banda Aceh hingga lulus pada tahun 2022. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Islam Indonesia, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik. Penulis berkesempatan menjadi Asisten Laboratorium Praktikum Teknik Lingkungan 2 (2026) dan Asisten Lapangan Ilmu kebumian (2025)

Selain itu, penulis juga dipercaya sebagai Student Staff di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang memberikan pengalaman dalam mendukung berbagai kegiatan administrasi dan akademik di lingkungan program studi. Penulis turut berpartisipasi sebagai panitia Enviro Champions, ajang olahraga Program Studi Teknik Lingkungan dan Panitia Envirolympics yang merupakan ajang perlombaan akademik nasional Program Studi Teknik Lingkungan.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.), penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Nitrat dan Fosfat di Sungai Gajahwong Menggunakan Pemodelan QUAL2K dan QUAL2Kw." Melalui penelitian tersebut, penulis berharap dapat memberikan kontribusi dalam penyediaan informasi mengenai kondisi kualitas air Sungai Gajahwong sebagai dasar dalam upaya pengelolaan dan pelestarian lingkungan perairan.