

Perbandingan daya tampung beban pencemar fosfat Sungai Gajahwong pada Tahun 2023 dan 2026 berdasarkan model QUAL2Kw

Muhammad Zaki-Ul Khairiansyah, Adam Rus Nugroho*, Sabiq Fikri Damari, Nelly Marlina

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584

*Email: adam.rusn@uii.ac.id

Received 15 Agustus 2026; Received in revised 29 September 2026; Accepted 30 September 2026

Abstrak

Sungai Gajahwong di Provinsi DIY merupakan sub-DAS Opak yang secara terus-menerus menerima akumulasi beban pencemar fosfat dari aktivitas domestik, industri, drainase, dan pertanian. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis komparatif Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) khusus parameter fosfat pada Sungai Gajahwong antara kondisi tahun 2023 dan tahun 2026 menggunakan pemodelan QUAL2Kw. Simulasi QUAL2Kw membandingkan kondisi eksisting pada kedua tahun tersebut dengan kriteria baku mutu air Kelas II berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Hasil uji validasi model menunjukkan nilai Root Mean Square Percentage Error (RMSPE) sebesar 15,97% pada tahun 2023 dan 12,79% pada tahun 2026 untuk parameter fosfat. Pada pemodelan tahun 2023 dengan 6 segmen, status overkapasitas fosfat terjadi pada Segmen Affandi hingga Segmen Paleman, di mana beban pencemar melampaui daya tampung sungai sehingga memerlukan penurunan sebesar 11,13 kg/hari (Affandi), 2,44 kg/hari (Muja-Muju), dan 7,41 kg/hari (Paleman). Pada pemodelan tahun 2026 dengan pembagian 8 segmen, kondisi overkapasitas teridentifikasi pada seluruh segmen, yaitu Segmen Jembatan Selokan Mataram (9,72 kg/hari), Kampus UIN Sunan Kalijaga (7,26 kg/hari), Embung Telogo Bangeran (0,41 kg/hari), DPRD Kota Yogyakarta (4,32 kg/hari), Jembatan Muja-Muju (0,48 kg/hari), Gembira Loka-Tegal Gendu (5,01 kg/hari), Bendung Lephen-Grojogan (135,13 kg/hari), dan Grojogan-Ketonggo (47,09 kg/hari), sehingga tidak ada segmen yang masih memiliki daya tampung tersisa. Perbandingan tahun 2023 dan 2026 menunjukkan perubahan kondisi beban pencemar fosfat yang cukup besar, terutama pada beberapa segmen, sehingga diperlukan strategi pengelolaan limbah yang terfokus pada segmen-segmen tersebut.

Kata kunci: daya tampung beban pencemar, fosfat, QUAL2Kw, Sungai Gajahwong

Abstract

The Gajahwong River in the Special Region of Yogyakarta, Indonesia, is a sub-watershed of the Opak River Basin that continuously receives phosphate pollutant loads from domestic activities, industrial activities, drainage systems, and agricultural activities. This study aims to comparatively assess the phosphate pollutant load capacity of the Gajahwong River in 2023 and 2026 using the QUAL2Kw water quality model. The simulations evaluated the existing conditions in both years against the Class II water quality criteria stipulated in Government Regulation No. 22 of 2021. Model validation resulted in Root Mean Square Percentage Error (RMSPE) values of 15.97% in 2023 and 12.79% in 2026 for phosphate, indicating improved model performance in 2026. In 2023, the river was divided into six segments, with phosphate overcapacity occurring in Segments 2–4. The required pollutant load reductions were 11.13 kg/day in Segment 2, 2.44 kg/day in Segment 3, and 7.41 kg/day in Segment 4. In 2026, the river was divided into eight segments, and overcapacity conditions were identified in all segments, with required reductions of 9.72, 7.26, 0.41, 4.32, 0.48, 5.01, 135.13, and 47.09 kg/day from the most upstream to the most downstream segment, indicating that no segment retained available pollutant load capacity. The comparison between 2023 and 2026 indicates substantial changes in phosphate pollutant loads and pollutant load capacity across several river segments. These findings highlight the need for targeted pollution control and waste management strategies, particularly in segments experiencing overcapacity conditions.

Keywords: Gajahwong River, pollutant load capacity, phosphate, QUAL2Kw

1. PENDAHULUAN

Sungai Gajahwong merupakan salah satu sub-DAS dari DAS Opak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang setiap harinya menerima akumulasi beban pencemar fosfat dari aktivitas domestik, industri, drainase, dan pertanian di sepanjang aliran. Tingginya konsentrasi fosfat pada segmen Balerejo-Wirokerten diduga berasal dari limbah detergen rumah tangga yang langsung dibuang ke badan sungai (Ghozali *et al.*, 2024). Keberadaan fosfat yang berlebih berpotensi memicu eutrofikasi, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta mengancam keberlangsungan biota akuatik apabila tidak dikelola dengan baik.

Penilaian kemampuan sungai menerima beban pencemar tanpa melampaui baku mutu dilakukan menggunakan analisis Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP). Salah satu instrumen yang umum digunakan adalah model QUAL2Kw. Model ini dipilih karena merupakan perangkat lunak yang direkomendasikan penggunaannya dalam PerMenLH No. 1 Tahun 2010, serta telah banyak diterapkan pada berbagai penelitian DTBP sungai di Indonesia karena kemampuan mensimulasikan perubahan kualitas air sungai (Wifarulah dan Marlina, 2021). Kajian khusus perbandingan kondisi DTBP fosfat pada dua periode waktu yang berbeda di Sungai Gajahwong masih terbatas untuk memahami tren perubahan beban pencemar seiring waktu sekaligus mengevaluasi efektivitas pengelolaan lingkungan yang telah dilakukan.

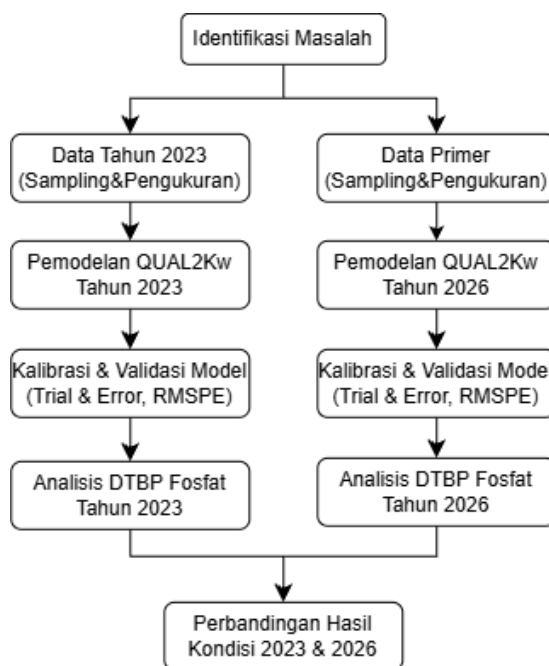
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan analisis komparatif DTBP khusus parameter fosfat pada Sungai Gajahwong antara kondisi Tahun 2023 dan Tahun 2026 menggunakan pemodelan QUAL2Kw, mengacu pada baku mutu air Kelas II PP No. 22 Tahun 2021 sebesar 0,2 mg/L. Hasil penelitian diharapkan dapat mengidentifikasi segmen-segmen kritis yang mengalami overkapasitas fosfat pada masing-masing periode, sekaligus memberikan informasi yang bermanfaat untuk menyusun strategi pengelolaan limbah yang lebih terfokus guna mendukung pemulihan dan pelestarian kualitas air Sungai Gajahwong secara berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Kerangka penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah untuk menganalisis perbandingan Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) fosfat Sungai Gajahwong antara kondisi Tahun 2023 dan Tahun 2026. Untuk kondisi Tahun 2026, data primer hasil pengukuran lapangan dimodelkan menggunakan software QUAL2Kw melalui tahapan kalibrasi dan validasi model.

Hasil simulasi model Tahun 2026 yang tervalidasi kemudian digunakan untuk menghitung DTBP fosfat pada setiap segmen sungai, lalu dibandingkan dengan kondisi Tahun 2023 guna mengidentifikasi perubahan status daya tampung serta segmen yang mengalami overkapasitas. Alur kerangka penelitian secara rinci disajikan pada gambar berikut.



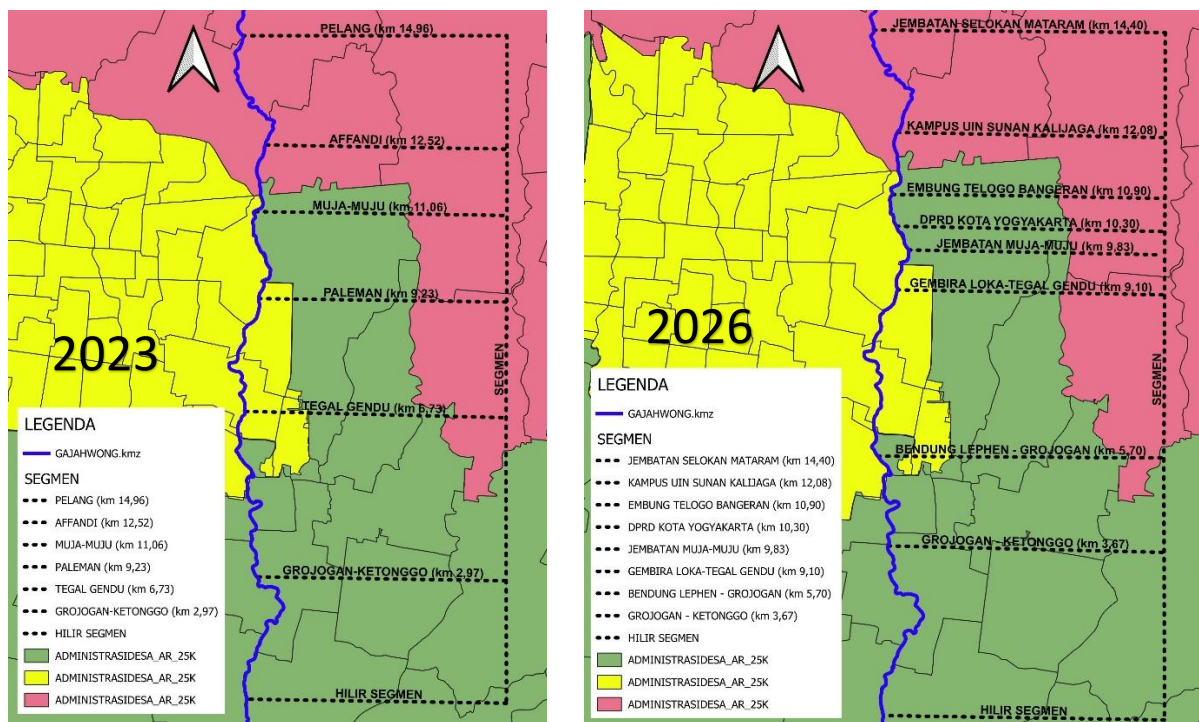
Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Pengumpulan data

Data primer diperoleh dari pengambilan sampel kualitas air secara langsung pada tujuh titik lokasi di sepanjang Sungai Gajahwong pada masing-masing tahun, yaitu dari Jembatan Pelang hingga Jembatan Ketonggo pada Tahun 2023 dan dari Jembatan Selokan Mataram hingga Jembatan Ketonggo pada Tahun 2026, dengan satu kali pengambilan sampel di setiap titik pada bulan April. Parameter yang digunakan meliputi suhu, pH, fosfat, kecepatan aliran, kedalaman, dan lebar sungai. Data sumber pencemar *point source* diperoleh dari identifikasi lapangan, sedangkan *diffuse source* diidentifikasi melalui *Google Earth*.

Segmentasi sungai dilakukan untuk mengumpulkan karakteristik sungai yang serupa sehingga hasil pemodelan diharapkan bisa menjadi lebih akurat dan dapat mewakili kondisi sebenarnya (Aljawzi *et al.*, 2026; Kamal *et al.*, 2020). Segmentasi sungai dilakukan berdasarkan kesamaan karakteristik hidrolis sungai, dengan mencegah terjadinya perubahan hidrolis yang terlalu besar di tengah segmen. Hasil segmentasi sungai pada Tahun 2023 dan 2026 (Gambar

2) menunjukkan bahwa terdapat sedikit perbedaan dalam penentuan segmen, yang disebabkan perbedaan pengelompokan karakteristik hidrolik sungai pada kedua tahun.



Gambar 2. Segmentasi Sungai Gajahwong pada Tahun 2023 dan 2026

2.3 Analisis data

2.3.1 Perhitungan beban pencemar fosfat

Beban pencemar fosfat dihitung berdasarkan konsentrasi fosfat dan debit aliran sungai. Perhitungan beban pencemar menggunakan persamaan:

$$BP = C \times Q \times 86,4 \quad (1)$$

dengan BP merupakan beban pencemar fosfat (kg P/hari), C merupakan konsentrasi fosfat pada sumber pencemar (mg P/L), Q merupakan debit sungai (m³/s), dan 86,4 merupakan faktor konversi satuan. Persamaan tersebut digunakan untuk memperoleh besarnya beban fosfat yang masuk ke badan sungai dalam satuan kg P/hari.

2.3.2 Penentuan daya tampung beban pencemar

Daya tampung beban pencemar fosfat ditentukan berdasarkan selisih antara beban pencemar maksimum yang diperbolehkan dengan beban pencemar pada kondisi eksisting. Pada pemodelan Tahun 2023 dan 2026, Skenario 1 digunakan sebagai beban pencemar eksisting, sedangkan Skenario 2 digunakan sebagai beban pencemar maksimum yang

diperbolehkan berdasarkan kondisi baku mutu kelas II. Perhitungan DTBP dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$DTBP = BP_{maksimum} - BP_{eksisting} \quad (2)$$

dengan DTBP merupakan daya tampung beban pencemar (kg P/hari), BPmaksimum merupakan beban pencemar berdasarkan Skenario 2 (kg P/hari), dan BPeksisting merupakan beban pencemar berdasarkan Skenario 1 (kg P/hari). Nilai DTBP positif menunjukkan bahwa beban pencemar pada kondisi baku mutu lebih besar daripada kondisi eksisting sehingga masih terdapat daya tampung, sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa beban pencemar eksisting telah melebihi beban pencemar pada kondisi baku mutu sehingga diperlukan pengurangan beban pencemar.

2.3.3 Evaluasi model

Validasi model tahun 2023 dan 2026 dilakukan menggunakan rumus *Root Mean Square Percentage Error* (RMSPE), dengan kriteria nilai RMSPE semakin rendah maka semakin akurat dan semakin tinggi nilai RMSPE maka model semakin tidak akurat. Model yang memenuhi kriteria tersebut dianggap layak digunakan sebagai dasar analisis DTBP pada masing-masing periode.

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

Keterangan:

St = adalah nilai simulasi pada waktu t

At = adalah nilai aktual pada waktu t

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis hidrolik sungai

Data hidrolik sungai pada tahun 2023 dan 2026 yang digunakan meliputi debit, kedalaman, dan kecepatan aliran. Berdasarkan Tabel 1, debit Sungai Gajahwong pada tahun 2023 berkisar antara 0,61 - 5,08 m³/s. Debit terendah terdapat pada Jembatan Pelang sebesar 0,61 m³/s, sedangkan debit tertinggi terdapat pada Jembatan Ketonggo sebesar 5,08 m³/s. Variasi debit pada setiap titik pengamatan dipengaruhi oleh perbedaan kecepatan aliran, kedalaman, dan lebar penampang sungai, karena debit diperoleh dari hasil kali kecepatan aliran dengan luas penampang basah, yaitu lebar dikalikan kedalaman sungai (Mustika dan

Sofyan, 2016; Sugiharto *et al.*, 2014). Secara umum, debit menunjukkan kecenderungan meningkat dari bagian hulu menuju hilir sungai.

Tabel 1. Data hidrolik Sungai Gajahwong

Titik sampling	Kecepatan aliran (m/detik)		Kedalaman (m)		Lebar (m)		Q (m ³ /detik)	
	2023	2026	2023	2026	2023	2026	2023	2026
Jembatan Pelang	0,5	-	0,16	-	7,9	-	0,61	-
Jembatan Selokan Mataram	-	0,42	-	0,33	-	11,5	-	1,59
Jembatan Affandi	1	0,51	0,10	0,2	16,30	18,4	1,63	1,88
Jembatan Muja-Muju	1,08	0,38	0,45	0,36	5,00	15,6	2,43	2,13
Jembatan Paleman	0,29	0,54	0,80	0,33	13,35	12,4	3,10	2,21
Jembatan Tegal Gendu	0,95	0,32	0,43	0,43	9,40	17,4	3,84	2,39
Jembatan Grojogan	0,75	0,62	0,30	0,32	18,30	19,1	4,12	3,79
Jembatan Ketonggo	0,94	0,72	0,53	0,53	10,20	11,8	5,08	4,50

Data tahun 2026, debit Sungai Gajahwong pada tahun 2026 berkisar antara 1,59 - 4,50 m³/s. Debit terendah terdapat pada Jembatan Selokan Mataram sebesar 1,59 m³/s, sedangkan debit tertinggi terdapat pada Jembatan Ketonggo sebesar 4,50 m³/s. Perbedaan nilai debit pada setiap titik dipengaruhi oleh variasi kecepatan aliran, kedalaman, dan lebar penampang sungai (Widiatmono *et al.*, 2019; Rahayu *et al.*, 2018). Secara umum, debit juga menunjukkan kecenderungan meningkat menuju bagian hilir. Kalibrasi model QUAL2Kw dilakukan secara *trial and error* dengan melakukan penyesuaian nilai konsentrasi fosfat hingga hasil simulasi model mendekati data hasil pengamatan. Nilai konsentrasi fosfat yang telah disesuaikan pada tahap kalibrasi selanjutnya digunakan dalam proses validasi model dengan membandingkan hasil simulasi dengan data observasi.

3.2 Konsentrasi fosfat

Konsentrasi fosfat pada Tahun 2023 dan 2026 menunjukkan perbedaan konsentrasi terhadap baku mutu. Pada Tahun 2023, konsentrasi fosfat berkisar antara 0,05 hingga 0,26 mg P/L, empat dari tujuh titik, yaitu Jembatan Affandi (0,22 mg P/L), Muja-Muju (0,23 mg P/L), Paleman (0,24 mg P/L), dan Tegal Gendu (0,26 mg P/L), telah melebihi baku mutu. Sedangkan pada Tahun 2026, konsentrasi berkisar antara 0,40 hingga 0,96 mg P/L dengan seluruh titik melebihi baku mutu, dan konsentrasi tertinggi berada di Jembatan Grojogan (0,96 mg P/L). Peningkatan konsentrasi dari Tahun 2023 ke 2026 diduga berkaitan dengan bertambahnya sumber pencemar yang masuk di sepanjang aliran Sungai Gajahwong.

Tabel 2. Konsentrasi Fosfat

Titik Sampling	Konsentrasi (mg P/L)		Baku Mutu
	2023	2026	
Jembatan Pelang	0,05	-	0,2 mg/L
Jembatan Selokan Mataram	-	0,42	
Jembatan Affandi	0,22	0,44	
Jembatan Muja-Muju	0,23	0,40	
Jembatan Paleman	0,24	0,54	
Jembatan Tegal Gendu	0,26	0,66	
Jembatan Grojogan	0,17	0,96	
Jembatan Ketonggo	0,16	0,87	

3.3 Analisis sumber pencemar

Sumber pencemar yang masuk ke badan sungai diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *point source* (sumber pencemar titik) dan *diffuse source* (sumber pencemar tersebar). *Point source* merupakan sumber pencemar yang masuk ke badan air melalui lokasi pembuangan tertentu yang dapat diidentifikasi secara jelas, seperti saluran pembuangan limbah industri, outlet instalasi pengolahan air limbah, dan saluran drainase dengan titik keluaran yang teridentifikasi. Sementara itu, *diffuse source* merupakan sumber pencemar yang berasal dari aktivitas pada suatu kawasan dan masuk ke badan air secara menyebar, tanpa melalui satu titik pembuangan tunggal yang mewakili keseluruhan sumber pencemar. Hasil analisis sumber pencemar Tahun 2023 dan Tahun 2026 tersaji pada Tabel 3 dan Tabel 6.

Tabel 3. Sumber pencemar Tahun 2023

Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m ³ /s)		Konsentrasi (mg P/L)	
	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse source</i>	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse source</i>	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse source</i>
Pelang	Anak Sungai	-	0,68	0	0,29	0
Affandi	Mall Amplaz	Domestik	0,241	0,13	0,29	0,25
		Pertanian		0,0006		0,35
Muja-Muju	Drainase	Pertanian	0,013	0,0888	0,1	0,26
	Pabrik Susu SGM		0,02		0,32	
Paleman	Penyamakan Kulit	-	0,7	0	0,32	0
Tegal Gendu	Drainase	Pertanian	0,096	0,001	0,33	0,02
		Perikanan		0,0615		0,02
Grojogan-Ketonggo	-	Pertanian	0	0,0002	0	0,01
		Domestik		0,12		0,0025

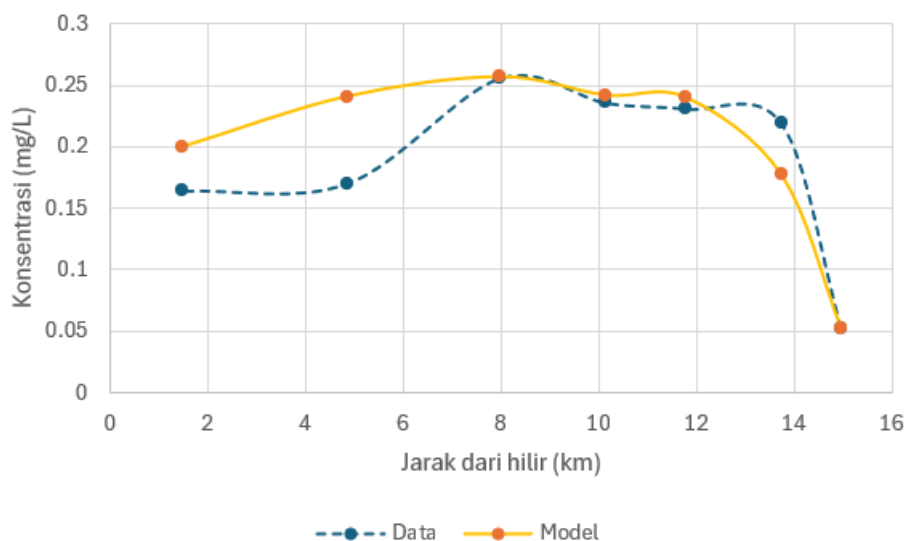
Hasil analisis sumber pencemar menunjukkan peningkatan jumlah *diffuse source* dari 7 pada tahun 2023 menjadi 11 pada tahun 2026, sedangkan jumlah *point source* menurun dari 6 menjadi 4. Penambahan *diffuse source* tersebut diduga berkontribusi terhadap meningkatnya jumlah titik sampling fosfat yang melebihi baku mutu pada tahun 2026.

Tabel 4. Sumber pencemar Tahun 2026

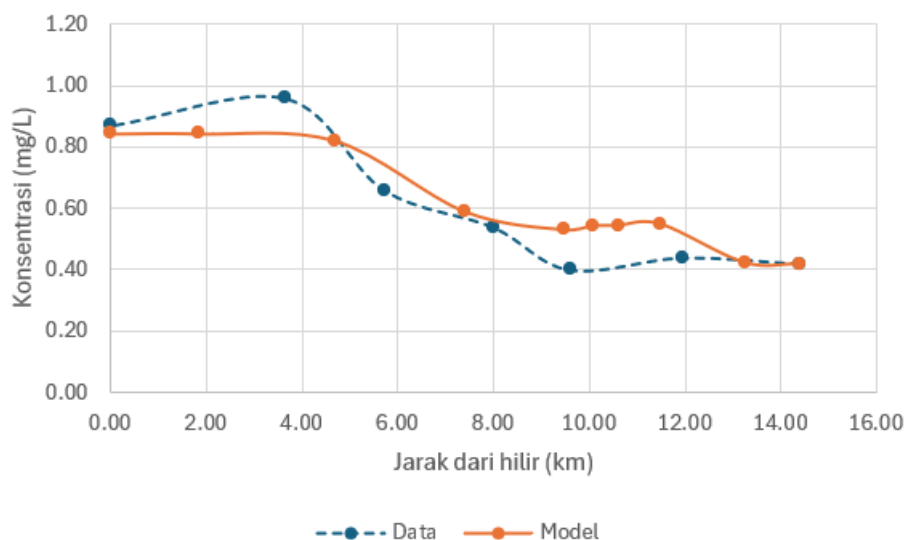
Segmen Sungai	Sumber Pencemar		Debit (m ³ /s)		Konsentrasi (mg P/L)	
	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse Source</i>	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse source</i>	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse source</i>
Jembatan Selokan Mataram	-	Domestik	0	0,25	0	0,45
Kampus UIN Sunan Kalijaga	Mall Amplaz	Domestik	0,2	0,1	0,17	0,5
Embung Telogo	-	Perikanan	0	0,007	0	0,1
Bangeran	-	Domestik	0	0,02	0	0,2
DPRD Kota Yogyakarta	-	Persawahan	0	0,1	0	0,5
Jembatan Muja-Muju	Industri Susu	-	0,11	0	0,05	0
Gembira Loka-Tegal	Drainase	Domestik	0,1	0,1	0,22	0,2
Gendu	Drainase	-	0,1	0	0,16	0
Bendung Lephen - Grojogan	-	Domestik	0	0,6	0	2,7
	-	Persawahan	0	0,7	0	0,1
	-	Perikanan	0	0,2	0	0,1
Grojogan - Ketonggo	-	Persawahan	0	0,2	0	1,5
	-	Domestik	0	0,3	0	1,2

3.4 Analisis validasi model

Sebelum digunakan untuk analisis Daya Tampung Beban Pencemar, model QUAL2Kw pada masing-masing periode terlebih dahulu diuji validitasnya dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data observasi konsentrasi fosfat di lapangan. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan evaluasi model diambil dari hasil pemodelan yang ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 sehingga diperoleh nilai evaluasi model pada tahun 2023 sebesar 15,97% dan tahun 2026 sebesar 12,79%. Dari hasil evaluasi tersebut menunjukkan bahwa model tahun 2026 lebih akurat karena memiliki nilai RMSPE yang lebih rendah dibandingkan tahun 2023. Hal ini dipengaruhi oleh faktor *trial & error* yang dilakukan, yaitu penyesuaian pada konsentrasi *point source* dan *diffuse source* hingga hasil simulasi mendekati data lapangan.



Gambar 3. Model Fosfat Sungai Gajahwong Tahun 2023



Gambar 4. Model Fosfat Sungai Gajahwong Tahun 2026

3.5 Analisis beban pencemar

Beban pencemar fosfat pada kondisi eksisting (Skenario 1) Tahun 2023 menunjukkan variasi antarsegmen (Tabel 5). Nilai beban pencemar tertinggi terdapat pada Jembatan Affandi sebesar 30,95 kg P/hari, sedangkan nilai terendah terdapat pada segmen Grojogan-Ketonggo sebesar 0,47 kg P/hari. Pada Skenario 2, beban pencemar dihitung berdasarkan kondisi baku mutu pada titik pemantauan. Perbedaan nilai beban pencemar antarsegmen menunjukkan adanya variasi debit dan konsentrasi sumber pencemar pada setiap segmen sungai.

Tabel 5. Beban pencemar Tahun 2023

Segmen	BP Skenario 1 (kg P/hari)	BP Skenario 2 (kg P/hari)
Pelang	16,86	19,39
Affandi	30,95	19,82
Muja-Muju	11,93	9,49
Paleman	19,05	11,63
Tegal Gendu	3,31	6,79
Grojogan-Ketonggo	0,47	14,71

Tabel 6. Beban pencemar Tahun 2026

Segmen	BP Skenario 1 (kg P/hari)	BP Skenario 2 (kg P/hari)
Jembatan Selokan Mataram	9,72	0,00
Kampus UIN Sunan Kalijaga	7,26	0,00
Embung Telogo Bangeran	0,41	0,00
DPRD Kota Yogyakarta	4,32	0,00
Jembatan Muja-Muju	0,48	0,00
Gembira Loka-Tegal Gendu	5,01	0,00
Bendung Lephen-Grojogan	146,02	10,89
Grojogan-Ketonggo	58,75	11,66

Pada Tahun 2026 juga menunjukkan variasi antarsegmen. Kondisi eksisting (Skenario 1), beban pencemar tertinggi terdapat pada segmen Bendung Lephen–Grojogan sebesar 146,02 kg P/hari, sedangkan nilai terendah terdapat pada segmen Embung Telogo Bangeran sebesar 0,41 kg P/hari. Skenario 2 dilakukan dengan menyesuaikan seluruh segmen agar sesuai dengan baku mutu, kecuali bagian hulu yang tetap menggunakan kondisi eksisting. Pada skenario ini, beban pencemar yang masih dapat masuk dari sumber pencemar terdapat di segmen Bendung Lephen–Grojogan (10,89 kg P/hari) dan Grojogan–Ketonggo (11,66 kg P/hari). Sementara itu, pada segmen Jembatan Selokan Mataram hingga Gembira Loka–Tegal Gendu, konsentrasi sumber pencemar diatur sebesar nol sehingga tidak ada tambahan beban dari sumber pencemar di segmen tersebut. Hal ini dilakukan karena konsentrasi fosfat pada kondisi eksisting di segmen tersebut sudah melebihi baku mutu, sehingga penambahan beban dari sumber pencemar justru akan meningkatkan konsentrasi fosfat lebih lanjut dan tidak tersedia ruang bagi tambahan beban untuk memenuhi baku mutu. Nilai beban pencemar pada Skenario 2 tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan daya tampung beban pencemar fosfat Tahun 2026.

3.6 Analisis daya tampung beban pencemar

Hasil perhitungan DTBP fosfat Tahun 2023 pada enam segmen Sungai Gajahwong disajikan pada Tabel 7. Sedangkan hasil perhitungan DTBP Tahun 2026 tersaji pada Tabel 8. Hasil perhitungan DTBP fosfat tahun 2026 menunjukkan bahwa seluruh delapan segmen memiliki nilai DTBP negatif dengan status defisit, sehingga tidak ada segmen yang masih memiliki daya tampung terhadap beban pencemar fosfat. Nilai negatif menunjukkan bahwa beban pencemar eksisting lebih besar dibandingkan beban pencemar maksimum yang diperbolehkan, sehingga diperlukan pengurangan beban pencemar untuk mencapai kondisi yang sesuai dengan baku mutu air Kelas II. Pada segmen Jembatan Selokan Mataram hingga Gembira Loka-Tegal Gendu, nilai defisit setara dengan beban pencemar eksisting karena beban maksimum yang diperbolehkan pada Skenario 2 adalah nol.

Tabel 7. Daya Tampung Beban Pencemar Tahun 2023

Segmen	<i>Upstream</i> (Km)	<i>Downstream</i> (Km)	DTBP (kg P/hari)	Status
Pelang	14,96	12,52	2,53	Surplus
Affandi	12,52	11,06	-11,13	Defisit
Muja-Muju	11,06	9,23	-2,44	Defisit
Paleman	9,23	6,73	-7,41	Defisit
Tegal Gendu	6,73	2,97	3,48	Surplus
Grojogan - Ketonggo	2,97	0	14,24	Surplus

Tabel 8. Daya Tampung Beban Pencemar Tahun 2026

Segmen	<i>Upstream</i> (Km)	<i>Downstream</i> (Km)	DTBP (kg P/hari)	Status
Jembatan Selokan Mataram	14,40	12,08	-9,72	Defisit
Kampus UIN Sunan Kalijaga	12,08	10,90	-7,26	Defisit
Embung Telogo Bangeran	10,90	10,30	-0,41	Defisit
DPRD Kota Yogyakarta	10,30	9,83	-4,32	Defisit
Jembatan Muja-Muju	9,83	9,10	-0,48	Defisit
Gembira Loka-Tegal Gendu	9,10	5,70	-5,01	Defisit
Bendung Lephen-Grojogan	5,70	3,67	-135,13	Defisit
Grojogan-Ketonggo	3,67	0	-47,09	Defisit

Defisit terbesar terdapat pada Segmen Bendung Lephen–Grojogan (-135,13 kg P/hari), diikuti Segmen Grojogan–Ketonggo (-47,09 kg P/hari), sedangkan defisit terkecil terdapat pada Segmen Embung Telogo Bangeran (-0,41 kg P/hari). Kondisi ini menunjukkan bahwa

kebutuhan pengurangan beban pencemar fosfat paling besar berada di bagian hilir sungai, sehingga segmen tersebut perlu menjadi prioritas dalam pengendalian pencemaran.

3.7 Analisis perbandingan DTBP fosfat Tahun 2023 dan 2026

Perbandingan hasil DTBP fosfat Sungai Gajahwong antara Tahun 2023 dan 2026 disajikan pada Tabel 9. Perbandingan dilakukan berdasarkan indikator jumlah segmen, status DTBP, serta nilai DTBP maksimum dan minimum pada masing-masing periode. Perbedaan jumlah dan pembagian segmen antara Tahun 2023 dan 2026 menjadi pertimbangan dalam interpretasi hasil perbandingan.

Tabel 9. Perbandingan DTBP Tahun 2023 dan 2026

Indikator	Tahun 2023	Tahun 2026	Perubahan
Jumlah segmen dimodelkan	6	8	Naik 2 segmen
Jumlah segmen defisit	3	8	Naik 5 segmen
Jumlah segmen surplus	3	0	Turun 3 segmen
Defisit DTBP terbesar (kg P/hari)	-11,13	-135,13	Naik 12 kali lipat
Surplus DTBP terbesar (kg P/hari)	14,24	Tidak Ada	Seluruh Segmen Defisit

Perbedaan kondisi hidrolik dan beban pencemar pada kedua periode perlu dipertimbangkan dalam interpretasi perubahan DTBP. Debit sungai pada Tahun 2023 berada pada rentang 0,61–5,08 m³/s, sedangkan pada Tahun 2026 berada pada rentang 1,59–4,50 m³/s. Konsentrasi fosfat hasil pengamatan yang digunakan dalam validasi model pada tahun 2023 berada pada rentang 0,05–0,26 mg/L, sedangkan pada Tahun 2026 berada pada rentang 0,40–0,96 mg/L. Pada kondisi eksisting, beban pencemar fosfat Tahun 2023 berkisar antara 0,47–30,95 kg P/hari, sedangkan Tahun 2026 berkisar antara 0,41–146,02 kg P/hari. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan DTBP perlu dipahami dengan mempertimbangkan variasi konsentrasi fosfat, debit sungai, dan beban pencemar pada masing-masing periode. Namun, karena terdapat perbedaan jumlah dan pembagian segmen antara Tahun 2023 dan 2026, nilai pada kedua periode tidak dibandingkan secara langsung pada setiap segmen.

Perbandingan DTBP fosfat Sungai Gajahwong antara Tahun 2023 dan 2026 menunjukkan penurunan daya tampung yang cukup besar. Proporsi segmen yang mengalami defisit meningkat dari 50% pada Tahun 2023 (3 dari 6 segmen) menjadi 100% pada Tahun 2026 (8 dari 8 segmen). Pada Tahun 2023 masih terdapat tiga segmen dengan daya tampung tersisa, yaitu Pelang (2,53 kg P/hari), Tegal Gendu (3,48 kg P/hari), dan Grojogan–Ketonggo (14,24 kg P/hari), sedangkan pada Tahun 2026 tidak ada lagi segmen yang berstatus surplus.

Nilai defisit terbesar berubah dari -11,13 kg P/hari pada Segmen Affandi Tahun 2023 menjadi -135,13 kg P/hari pada Segmen Bendung Lephen–Grojogan Tahun 2026, atau sekitar 12 kali lipat. Lokasi defisit juga bergeser. Pada Tahun 2023 defisit terkonsentrasi di bagian tengah sungai (Affandi hingga Paleman, km 12,52–6,73), sementara bagian hilir (Tegal Gendu dan Grojogan–Ketonggo) masih surplus. Pada Tahun 2026 defisit terbesar justru berada di bagian hilir (Bendung Lephen–Grojogan dan Grojogan–Ketonggo, km 5,70–0). Pola ini sejalan dengan konsentrasi fosfat di Jembatan Grojogan dan Ketonggo yang meningkat dari 0,171 dan 0,164 mg P/L pada tahun 2023 menjadi 0,96 dan 0,87 mg P/L pada Tahun 2026.

Dalam interpretasi perbandingan antarperiode, perbedaan segmentasi perlu diperhatikan. Analisis Tahun 2023 menggunakan enam segmen dengan panjang ruas 14,96 km, sedangkan Tahun 2026 menggunakan delapan segmen dengan panjang ruas 14,40 km. Oleh karena itu, perbandingan difokuskan pada indikator agregat berupa proporsi status DTBP serta nilai defisit dan surplus maksimum, sehingga perubahan yang diamati tidak semata-mata dipengaruhi oleh perbedaan jumlah segmen.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) fosfat Sungai Gajahwong menggunakan pemodelan QUAL2Kw, pada Tahun 2023 dari enam segmen yang dianalisis terdapat tiga segmen yang mengalami defisit, yaitu Segmen Affandi sebesar -11,13 kg P/hari, Segmen Muja–Muju sebesar -2,44 kg P/hari, dan Segmen Paleman sebesar -7,41 kg P/hari, sedangkan tiga segmen lainnya mengalami surplus dengan nilai surplus terbesar pada Segmen Grojogan–Ketonggo sebesar 14,24 kg P/hari. Pada Tahun 2026, seluruh delapan segmen mengalami defisit dengan nilai DTBP berkisar antara -0,41 hingga -135,13 kg P/hari, sehingga tidak ada segmen yang masih memiliki daya tampung. Dibandingkan Tahun 2023, proporsi segmen defisit meningkat dari 50% (3 dari 6 segmen) menjadi 100% (8 dari 8 segmen), dengan nilai defisit terbesar berubah dari -11,13 kg P/hari menjadi -135,13 kg P/hari, dan segmen defisit terbesar bergeser ke bagian hilir sungai, yaitu Bendung Lephen–Grojogan dan Grojogan–Ketonggo. Perbandingan tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan adanya perbedaan jumlah dan pembagian segmen antara Tahun 2023 dan 2026.

DAFTAR PUSTAKA

- Aljawzi, A. A., Jia, Z., Luo, W. (2026). Scenario-based evaluation of nutrient pollution control in agricultural drainage ditch-pond systems using the QUAL2K model. *Agricultural Water Management*, 335, 110785. DOI: [10.1016/j.agwat.2026.110785](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2026.110785)
- Ghozali, A. A., Yoshua, 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. DOI: <https://doi.org/10.37412/jrl.v24i1.260>
- Kamal, N. A., Muhammad, N. S., Abdullah, J. (2020). Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2KGIS. *Environmental Pollution*, 259, 113909. DOI: [10.1016/j.envpol.2020.113909](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113909)
- Mustika, A., Sofyan, A. (2016). Kajian beban pencemaran harian di Sungai Citarum menggunakan pemodelan Qual2k studi kasus: Sungai Citarum segmen Kota Karawang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 1-12. DOI: [10.5614/j.tl.2016.22.2.1](https://doi.org/10.5614/j.tl.2016.22.2.1)
- 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.
- Rahayu, Y., Juwana, I., Marganingrum, D. (2018). Kajian perhitungan beban pencemaran air sungai di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dari sektor domestik. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 2(1), 61-71. DOI: <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i1.2043>
- 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, Tarakan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(1), 21-29. DOI: <https://doi.org/10.22146/jml.18507>
- Widiatmono, B. R., Suharto, B., Monica, F. Y. (2019). Identifikasi daya tampung beban pencemar dan kualitas air Sungai Lesti sebelum pembangunan hotel. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(3), 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2019.006.03.1>
- 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. DOI: [10.20885/jstl.vol13.iss1.art1](https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art1)