

# Studi Pencemaran Sungai Cikakembang akibat Limbah Industri Tekstil Menggunakan QUAL2Kw

Muhammad Raul Zahran Wiryawardhana, Finna Fitriana, dan Doddi Yudianto\*

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia; e-mail: [doddi\\_yd@unpar.ac.id](mailto:doddi_yd@unpar.ac.id)

## ABSTRAK

Sungai Cikakembang, sebagai anak Sungai Citarum di bagian hulu, mengalami pencemaran berat akibat limbah industri tekstil dan domestik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak pencemaran terhadap kualitas air serta merumuskan alternatif strategi pengendalian menggunakan pemodelan QUAL2Kw. Studi ini mengintegrasikan parameter COD, yang belum dievaluasi pada studi terdahulu, karena tingginya konsentrasi bahan organik dari limbah tekstil berpotensi menyebabkan penurunan oksigen terlarut secara signifikan. Sampel air diambil dari 12 titik sepanjang sungai untuk menganalisis DO, BOD, COD, dan NH<sub>3</sub>-N. Parameter tersebut kemudian dimodelkan menggunakan QUAL2Kw, yaitu perangkat lunak berbasis *spreadsheet* yang memudahkan proses kalibrasi dan validasi model dengan data lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kualitas air berada dalam kondisi buruk, dimana parameter-parameter tersebut tidak memenuhi Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II. Simulasi empat skenario pengendalian menunjukkan bahwa peningkatan kualitas air terjadi hanya pada segmen hulu, sedangkan segmen hilir masih memerlukan strategi pengelolaan tambahan yang lebih komprehensif. Penelitian ini menyoroti pentingnya peningkatan teknologi pengolahan limbah, pengawasan ketat terhadap industri, dan monitoring rutin untuk memastikan keberlanjutan kualitas air Sungai Cikakembang.

**Kata kunci:** limbah tekstil, pemodelan kualitas air, pengendalian pencemaran, QUAL2Kw, Sungai Cikakembang

## ABSTRACT

The Cikakembang River, a tributary of the upper Citarum River, experiences severe pollution due to textile industry and domestic wastewater. This study aims to evaluate the impact of pollution on water quality and to formulate effective control strategies using QUAL2Kw modeling. This study integrates the COD parameter, which was not evaluated in previous studies, because the high concentration of organic matter from textile wastewater potentially causes significant dissolved oxygen depletion. Water samples were collected from 12 points along the river to analyze DO, BOD, COD, and NH<sub>3</sub>-N, which were modeled using QUAL2Kw—a spreadsheet-based software that facilitates model calibration and validation with field data. The analysis results indicate that water quality is in poor condition, with the parameters failing to meet the Class II River Water Quality Standard. Simulations of four control scenarios showed that water quality improvement occurred only in the upstream segment, while the downstream segment still requires additional comprehensive management strategies. This study highlights the importance of improving wastewater treatment technology, strict industrial supervision, and regular monitoring to ensure the sustainability of the Cikakembang River water quality.

**Keywords:** Cikakembang River, QUAL2Kw, textile wastewater, water pollution control, water quality modelling

**Citation:** Wiryawardhana, M. R. Z., Fitriana F., dan Yudianto, D., (2026). Studi Pencemaran Sungai Cikakembang akibat Limbah Industri Tekstil Menggunakan QUAL2Kw. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 181-190, doi:10.14710/jil.24.1.181-190

## 1. PENDAHULUAN

Sungai Citarum, khususnya di bagian hulu, menghadapi tantangan serius terkait pencemaran air yang sebagian besar disebabkan oleh industri tekstil (Putra, 2016). Kecamatan Majalaya di Kabupaten Bandung menjadi salah satu pusat industri tekstil nasional yang telah beroperasi sejak abad ke-20 dan tetap menjadi tulang punggung ekonomi masyarakat setempat (Indriani, 2023). Namun, aktivitas industri ini menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang

mencemari Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum. Satrianegara (2018) memperkirakan sekitar 349.000 ton limbah cair industri dibuang setiap harinya ke Sungai Citarum. Penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa hanya bagian paling hulu sungai yang memenuhi Standar Baku Mutu Kelas II, sementara bagian hilir menunjukkan peningkatan konsentrasi COD akibat pembuangan limbah tersebut (Fitriana dkk, 2023). Temuan serupa juga menegaskan bahwa Sungai Cikakembang yang menerima tekanan

pencemaran dari aktivitas domestik dan industri tekstil di kawasan Majalaya memerlukan evaluasi kualitas air dan pengendalian pencemaran yang lebih terarah (Fitriana dkk, 2024; 2025).

Buangan limbah industri tekstil mengandung unsur pewarna buatan yang dapat mencemari air melalui peningkatan konsentrasi beberapa parameter, seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan padatan tersuspensi (Sitanggang, 2017). Secara ilmiah, peningkatan beban organik dan kimia dari limbah industri maupun domestik ini dapat menurunkan konsentrasi DO melalui proses oksidasi dan dekomposisi bahan pencemar. Penurunan kualitas air tersebut berdampak langsung pada masyarakat sekitar yang memanfaatkannya untuk kebutuhan harian; salah satunya terjadi di sebuah desa di Kecamatan Majalaya, di mana terdapat 1200 keluarga yang mengeluhkan gejala gatal pada kulit setelah menggunakan air sungai tercemar dalam jangka panjang (Rahmani, 2018). Oleh karena itu, kondisi pencemaran sungai perlu dianalisis secara terpadu.

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi pencemaran dan merumuskan upaya pengendalian di Sungai Cikakembang khususnya untuk parameter DO, BOD, COD, dan NH<sub>3</sub>-N yang merupakan indikator penting dalam menentukan kesesuaian air baku untuk berbagai kebutuhan (Asnawi, 2023). Penelitian ini menjadi langkah tindak lanjut dari studi Polisar (2024) yang belum mencakup parameter COD. Keberadaan parameter COD sangat krusial mengingat Sungai Cikakembang menerima buangan limbah industri yang signifikan, sehingga berpotensi menurunkan kadar oksigen akibat oksidasi bahan organik secara kimiawi (Asrori, 2021). Dalam pemodelannya, koefisien dispersi ( $E_x$ ) menjadi salah satu parameter penting karena merepresentasikan pola penyebaran polutan di perairan (Anzira & Ahmad, 2020). Dengan demikian, penelitian ini berangkat dari hipotesis bahwa penambahan parameter COD dalam pemodelan kualitas air akan memberikan representasi yang lebih komprehensif terhadap pengaruh limbah industri tekstil terhadap dinamika parameter kualitas air yang dikaji di Sungai Cikakembang.

Untuk menganalisis dampak pencemaran secara lebih komprehensif, penelitian ini menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw untuk memodelkan kualitas air. QUAL2Kw merupakan pengembangan dari QUAL2E yang dikembangkan oleh Dr. Steven C. Chapra dari Universitas Tufts (Brown & Barnwell, 1987). Sebagai perangkat pemodelan kualitas air, QUAL2Kw memiliki perbedaan mendasar karena dioperasikan berbasis Microsoft Excel sehingga lebih sederhana, membutuhkan data yang minimalis, dan mampu meningkatkan efisiensi anggaran penelitian (Hobson dkk, 2015). Studi perbandingan numerik pada Sungai Cikakembang juga menunjukkan bahwa QUAL2Kw dan HEC-RAS dapat digunakan untuk mensimulasikan parameter organik, meskipun keduanya memiliki karakteristik numerik dan tingkat

kestabilan model yang berbeda (Yudianto dkk., 2026). Model satu dimensi ini memiliki keunggulan dalam mensimulasikan perubahan kualitas air secara longitudinal, interaksi parameter fisik dan kimia, analisis dampak pencemar anorganik, serta estimasi beban pencemaran di sepanjang segmen sungai (Maghfiroh, 2016).

Di Indonesia, kemampuan perangkat ini telah diterapkan dalam berbagai penelitian, seperti oleh Maghfiroh (2016) untuk menentukan daya tampung beban pencemaran Sungai Kalimas Surabaya, Setiawan dkk. (2018) mengenai pemodelan daya dukung polutan di Sungai Bedog, serta Graha (2015) dalam mengidentifikasi kualitas air Kali Dami Kota Surabaya. Dibandingkan dengan model lain yang memerlukan data hidraulik dan kualitas air yang lebih rinci, QUAL2Kw relatif sesuai untuk studi sungai dengan keterbatasan data, karena tetap dapat digunakan untuk mengevaluasi skenario pengendalian pencemaran secara terstruktur. Namun demikian, model ini memiliki keterbatasan karena merepresentasikan sungai sebagai sistem satu dimensi dengan asumsi pencampuran pada setiap segmen, sehingga interpretasi hasil perlu mempertimbangkan penyederhanaan kondisi sungai alami. Melalui pemodelan terintegrasi ini, penelitian difokuskan untuk mengevaluasi kualitas air Sungai Cikakembang berdasarkan parameter DO, BOD, COD, dan NH<sub>3</sub>-N, serta memetakan kontribusi limbah tekstil dan domestik. Selain itu, penelitian ini juga mensimulasikan berbagai skenario pengendalian guna mendekati Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II sebagai dasar perumusan strategi pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan.

## 2. METODE PENELITIAN

Pemodelan kualitas air dilakukan menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw, yang dikalibrasi dan divalidasi menggunakan data dari pengukuran lapangan dan hasil uji laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan pada musim hujan dan musim kemarau untuk mewakili kondisi hidrologis yang berbeda dalam satu tahun, yaitu kondisi debit tinggi dengan pengenceran lebih besar dan kondisi debit rendah ketika pengaruh pencemar lebih terlihat. Data lapangan yang diperoleh meliputi suhu, DO, pH, tinggi muka air, dan debit. Sementara itu, dari uji laboratorium diperoleh data konsentrasi BOD, COD, dan NH<sub>3</sub>-N.

Koefisien yang menentukan konsentrasi parameter kualitas air, seperti koefisien reaerasi, koefisien dispersi, dan koefisien deoksigenasi ditentukan dengan Persamaan (1), (2), dan (3) (Jha dkk., 2004; Iwasa & Aya, 1991; Thomas dkk.,1950).

$$k_a = 5,791 \cdot u^{0,5} \cdot H^{-1,5} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

$k_a$  : Koefisien reaerasi /hari

$u$  : Rata – rata kecepatan aliran, m/s

$H$  : Rata – rata kedalaman aliran, m

Wiryawardhana, M. R. Z., Fitriana F., dan Yudianto, D., (2026). Studi Pencemaran Sungai Cikakembang akibat Limbah Industri Tekstil Menggunakan QUAL2Kw. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 181-190, doi:10.14710/jil.24.1.181-190

$$\frac{E_x}{HU^*} = 2 \left( \frac{W}{H} \right)^{3/2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- $E_x$  : Koefisien dispersi,  $m^2/s$
- $W$  : Lebar dasar saluran, m
- $U^*$  : Kecepatan geser aliran air, m/s
- $H$  : Kedalaman air, m

$$k_d = \frac{2,61 B}{A} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- $k_d$  : Koefisien deoksigenasi, /hari
- $B$  : Kemiringan kurva
- $A$  : Titik potong kurva terhadap sumbu Y

Secara umum,  $k_a$  menggambarkan kemampuan sungai dalam menambah kembali oksigen terlarut,  $E_x$  menunjukkan penyebaran polutan di sepanjang aliran, sedangkan  $k_d$  merepresentasikan penurunan oksigen akibat penguraian bahan organik.

Dalam penelitian ini, model divalidasi menggunakan *dataset* yang berbeda dari data kalibrasi untuk menilai kemampuan model dalam merepresentasikan kondisi sungai pada periode sampling lain. Karena data yang tersedia terbatas pada dua periode sampling, reliabilitas model dievaluasi melalui perbandingan nilai observasi dan hasil model menggunakan bias serta *error* relatif.

Analisis sensitivitas dilakukan secara terbatas terhadap parameter utama yang berpengaruh dalam QUAL2Kw, terutama koefisien reaerasi, koefisien dispersi, koefisien deoksigenasi, serta debit dan konsentrasi inlet limbah. Analisis ini dilakukan dengan mengamati perubahan hasil pemodelan terhadap variasi parameter selama proses kalibrasi.

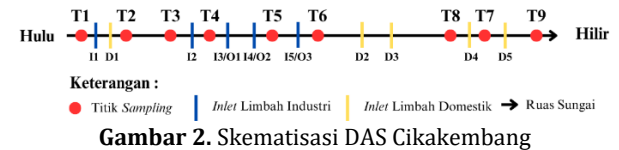
### 2.1. Daerah Studi

Penelitian ini difokuskan pada Sungai Cikakembang, dengan panjang sungai yang dimodelkan 5.567,40 meter sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Bagian hulu sungai memiliki karakteristik saluran berupa tanah yang berkelok, landai, serta ditumbuhi rumput, sementara bagian hilir didominasi oleh tanah dengan vegetasi rerumputan yang lebih lebat.

Untuk memetakan dampak buangan limbah industri tekstil secara akurat, pengambilan sampel dilakukan di 12 titik sepanjang DAS. Titik-titik tersebut kemudian dibagi menjadi beberapa segmen untuk memfasilitasi proses pemodelan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan HEC-RAS, studi ini memanfaatkan QUAL2Kw, yang membutuhkan penyederhanaan penampang melintang sungai menjadi bentuk trapesium sempurna.



Gambar 1. Batas Daerah Studi



Gambar 2. Skematisasi DAS Cikakembang

### 2.2. Pengukuran Parameter Kualitas Air

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan melalui uji lapangan dan uji laboratorium. Secara lebih terperinci, metode pengujian masing-masing parameter kualitas air disajikan pada Tabel 1. Pengukuran lapangan dilakukan untuk parameter yang perlu diamati secara langsung karena mudah berubah terhadap kondisi lingkungan, seperti DO, suhu, pH, kecepatan aliran, dan kedalaman air. Sementara itu, parameter BOD, COD, dan  $NH_3-N$  dianalisis melalui uji laboratorium agar hasil pengukuran lebih terkontrol dan sesuai dengan metode pengujian yang digunakan.

Tabel 1. Jenis Pengujian Parameter Kualitas Air

Parameter	Satuan	Metode	Keterangan
DO	mg/L	Optical Sensor	Uji Lapangan
BOD	mg/L	Manometric	Uji Laboratorium
COD	mg/L	Reaction Digestion	Uji Laboratorium
$NH_3-N$	mg/L	Phenate	Uji Laboratorium

### 2.3. QUAL2Kw

QUAL2Kw memiliki beberapa perbedaan mendasar dibandingkan dengan perangkat pemodelan kualitas air lainnya. Model yang digunakan pada QUAL2Kw adalah *continuous stirred tank reactor* (CSTR) yang mengasumsikan proses pencampuran terjadi secara sempurna dan konsentrasi polutan dianggap seragam di setiap segmen sungai. Persamaan kekekalan massa yang digunakan pada QUAL2Kw adalah sebagai berikut:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} \cdot c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} \cdot c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} \cdot c_i + \frac{E_{i-1}}{V_i} \cdot (c_{i-1} - c_i) + \frac{E_i}{V_i} \cdot (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \dots\dots\dots (4)$$

Sumber: Pelletier dkk. (2006)

dimana:

- $Q_i$  : Debit,  $m^3/s$
- $ab$  : Abstraksi

- $V$  : Volume,  $m^3$
- $C_i$  : Konsentrasi konstituen pada aliran ke- $i$ ,  $mg/m^3$
- $E'_i$  : Koefisien dispersi terbesar antara segmen  $i$  dan  $i+1$ ,  $m^3/d$
- $W_i$  : Beban eksternal konstituen menuju segmen  $i$ ,  $g/s$  atau  $mg/s$
- $S_i$  : Sumber konstituen akibat reaksi dan mekanisme perpindahan massa,  $g/m^3/s$  atau  $mg/m^3/s$

Persamaan (4) merepresentasikan neraca massa konstituen kualitas air pada setiap segmen sungai dalam QUAL2Kw. Persamaan ini digunakan untuk mensimulasikan perubahan konsentrasi parameter kualitas air akibat aliran, dispersi, beban eksternal, serta reaksi yang terjadi di dalam sungai.

Berdasarkan penelitian terdahulu, hasil pemodelan satu dimensi QUAL2Kw terbukti cukup akurat dalam merepresentasikan kondisi di lapangan serta memiliki sensitivitas tinggi terhadap koefisien kedalaman (Kannel dkk, 2007).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

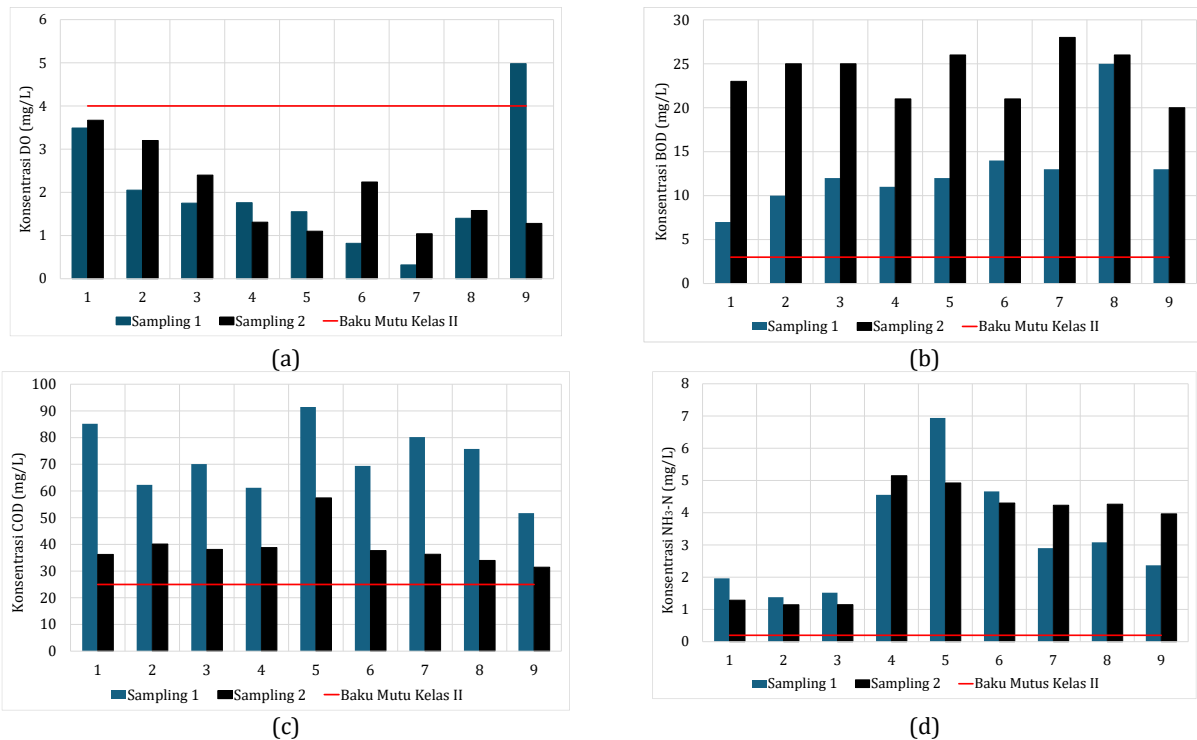
#### 3.1. Data Kualitas Air

Pengumpulan data kualitas air dilakukan melalui dua kali pengambilan sampel, yaitu pada musim hujan (Sampling 1) dan musim kemarau (Sampling 2). Parameter kualitas air yang diukur meliputi konsentrasi DO, BOD, COD, dan  $NH_3-N$  serta kecepatan dan kedalaman air. Debit aliran di bagian hulu Sungai Cikakembang pada masing-masing pengambilan sampel tercatat sebesar  $0,127 m^3/s$  dan  $0,146 m^3/s$ . Sementara itu, debit limbah industri dan domestik diestimasi berdasarkan penambahan debit yang terjadi di setiap segmen.

Hasil pengukuran kualitas air Sungai Cikakembang kemudian dievaluasi terhadap Baku Mutu Air Kelas II sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa konsentrasi parameter kualitas air Sungai Cikakembang belum memenuhi Standar Baku Mutu Kelas II, yang disajikan pada Gambar 3.

Pola konsentrasi yang ditampilkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa penurunan kualitas air tidak terjadi secara seragam di sepanjang sungai, tetapi lebih terlihat pada segmen yang berdekatan dengan aktivitas industri dan permukiman. Kondisi ini mengindikasikan bahwa beban pencemar berasal dari kombinasi limbah industri tekstil dan limbah domestik. Limbah industri terutama berkontribusi terhadap peningkatan COD dan penurunan DO, sedangkan limbah domestik berpotensi meningkatkan BOD dan  $NH_3-N$  melalui masukan bahan organik dan senyawa nitrogen. Dengan demikian, pola spasial pencemaran menunjukkan hubungan yang erat antara lokasi sumber pencemar dan perubahan konsentrasi parameter kualitas air di sepanjang sungai.

Kemungkinan proses *self-purification* sungai juga perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil. Pada beberapa segmen, penurunan konsentrasi pencemar dapat terjadi akibat pengenceran, reaerasi, degradasi bahan organik, dan proses pencampuran. Namun, kemampuan pemulihan alami tersebut tampaknya belum cukup untuk mengimbangi besarnya beban pencemar yang masuk, sehingga sebagian besar parameter tetap tidak memenuhi Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II.



Gambar 3. Hasil pengujian Konsentrasi Parameter (a) DO, (b) BOD, (c) COD, (d)  $NH_3-N$

### 3.2. Pemodelan Hidraulik

Proses dimulai dengan menghitung luas penampang sungai menggunakan data pengukuran penampang melintang. Selain itu, parameter hidraulik lainnya, seperti kemiringan dan lebar saluran, diperoleh melalui survei lapangan. Setelah dilakukan proses *trial and error*, diperoleh nilai koefisien Manning yang disajikan pada Tabel 2.

Proses kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan model dengan data Sampling 2 hingga menghasilkan kesesuaian yang memadai antara elevasi muka air dan kecepatan aliran hasil model dengan pengamatan lapangan. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa model QUAL2Kw mampu mereplikasi kondisi hidraulik aktual sungai dengan cukup baik, terutama pada elevasi muka air yang memiliki bias dan error relatif kecil. Namun, hasil kecepatan aliran menunjukkan variasi error yang lebih besar, dengan nilai tertinggi mencapai 35,7% pada salah satu titik. Perbedaan ini menunjukkan adanya ketidakpastian lokal dalam representasi kondisi hidraulik sungai, yang dapat dipengaruhi oleh variasi bentuk penampang, kekasaran dasar saluran, vegetasi, serta ketidakteraturan aliran yang sulit direpresentasikan secara sempurna dalam model satu dimensi. Meskipun demikian, secara keseluruhan hasil kalibrasi masih dapat digunakan untuk mendukung pemodelan kualitas air. Hasil kalibrasi untuk kedua parameter dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4, sedangkan perbandingan nilai observasi dan hasil pemodelan disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

**Tabel 2.** Nilai Koefisien Manning di Sepanjang Ruas Sungai

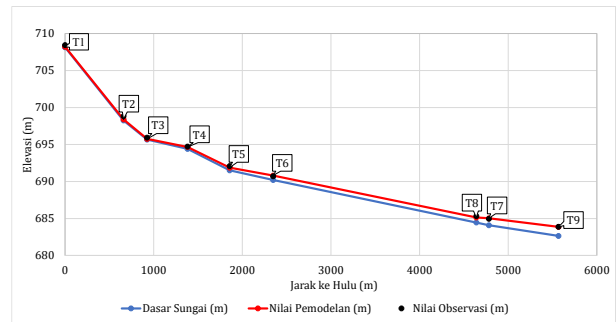
Segmen	Koefisien Manning (n)	Karakteristik Dasar Saluran
Hulu	0,0274	Tanah berkelok, landai, dan berumput
1	0,0457	Tanah berbatu, kasar, dan tidak teratur
2	0,0223	Pasangan batu kosong
3	0,10735	Tanah dengan rerumputan lebat
4	0,0605	Tanah tidak terawat dan kotor
5	0,0884	Tanah dengan rerumputan lebat
6	0,0571	Tanah tidak terawat dan kotor
7	0,06557	Tanah tidak terawat dan kotor
8	0,0905	Tanah dengan rerumputan lebat

**Tabel 3.** Hasil Kalibrasi Model QUAL2Kw untuk Elevasi Muka Air

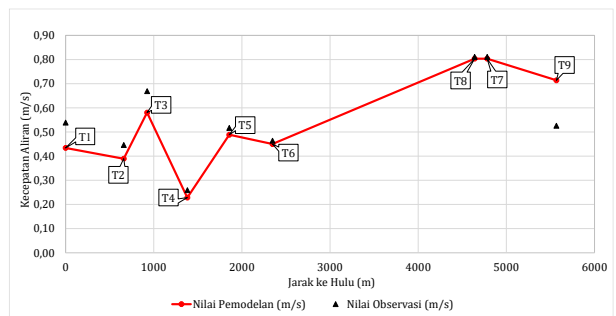
Titik	Jarak ke Hulu (m)	El. Pengamatan (m)	El. Pemodelan (m)	Bias (m)	Error (%)
1	0	708,433	708,213	0,22	0,03
2	659,2	698,827	698,399	0,428	0,06
3	924,8	695,932	695,764	0,168	0,02
4	1381,1	694,717	694,67	0,047	0,01
5	1856,5	692,091	691,874	0,217	0,03
6	2346,7	690,71	690,802	0,092	0,01
7	4639,9	685,32	685,143	0,177	0,03
8	4781,7	684,97	685,036	0,066	0,01
9	5567,4	683,88	683,87	0,226	0,01

**Tabel 4.** Hasil Kalibrasi Model QUAL2Kw untuk Kecepatan Aliran Air

Titik	Jarak ke Hulu (m)	Kecepatan Pengamatan (m/s)	Kecepatan Pemodelan (m/s)	Bias (m)	Error (%)
1	0	0,539	0,434	0,105	19,45
2	659,2	0,446	0,389	0,057	12,68
3	924,8	0,669	0,58	0,089	13,23
4	1381,1	0,259	0,228	0,031	11,81
5	1856,5	0,517	0,489	0,028	5,51
6	2346,7	0,464	0,45	0,014	3,01
7	4639,9	0,811	0,804	0,007	0,92
8	4781,7	0,811	0,804	0,007	0,9
9	5567,4	0,526	0,714	0,188	35,7



**Gambar 4.** Perbandingan Nilai Observasi dan Pemodelan untuk Elevasi Muka Air



**Gambar 5.** Perbandingan Nilai Observasi dan Pemodelan untuk Kecepatan Aliran

Setelah model terkalibrasi, parameter yang sama digunakan untuk melakukan validasi model. Validasi ini dilakukan dengan menggunakan data Sampling 1, dan hasilnya menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik, seperti ditampilkan pada Tabel 5, dengan nilai bias dan *error* relatif yang berada dalam batas yang dapat diterima.

**Tabel 5.** Hasil Validasi Pemodelan Hidraulik

Aspek	Sampling 1		Sampling 2	
	Bias (m)	Error (%)	Bias (m)	Error (%)
Elevasi Muka Air	0,225	0,03	0,158	0,02
Kecepatan Aliran Air	0,089	16,00	0,058	11,47

### 3.3. Pemodelan Kualitas Air

Pemodelan kualitas air melibatkan penggunaan berbagai koefisien yang dihitung menggunakan rumus empiris, seperti koefisien dispersi ( $E_x$ ) dan koefisien reerasi ( $k_a$ ). Pemilihan rumus empiris ini didasarkan pada studi sebelumnya yang menentukan

kombinasi terbaik untuk Sungai Cikakembang. Koefisien dispersi dihitung menggunakan persamaan Iwasa & Aya (1991), sedangkan koefisien reaerasi dihitung menggunakan persamaan Jha dkk (2004). Hasil perhitungan kedua koefisien disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

**Tabel 6.** Hasil Perhitungan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ )

Segmen	Kecepatan Aliran (m/s)	Kedalaman Aliran (m)	$k_a$ (per hari)
Hulu	0,434	0,08	9,643
1	0,389	0,152	7,791
2	0,58	0,092	10,794
3	0,228	0,253	5,253
4	0,489	0,363	7,019
5	0,45	0,592	5,961
6	0,804	0,683	7,685
7	0,804	0,946	7,086
8	0,714	1,22	6,265

**Tabel 7.** Hasil Perhitungan Koefisien Dispersi ( $E_x$ )

Segmen	Kedalaman Aliran (m)	Kecepatan Kritis (m/s)	Lebar (m)	$E_x$ (per hari)
Hulu	0,08	0,079	4,12	4,684
1	0,152	0,079	4,31	3,646
2	0,092	0,11	4,63	7,22
3	0,253	0,081	4,56	3,147
4	0,363	0,145	3,39	2,997
5	0,592	0,086	4,08	1,836
6	0,683	0,121	7,11	5,533
7	0,946	0,148	5,28	3,681
8	1,22	0,089	9,09	4,423

Nilai koefisien deoksigenasi ( $k_d$ ) diperoleh menggunakan persamaan Simple Method (1950), yang memperhitungkan peningkatan konsentrasi BOD pada sampel. Besaran ini kemudian diplot pada kurva untuk menentukan titik potong dan kemiringan, sehingga nilainya dapat dihitung melalui persamaan matematis yang disajikan pada Tabel 8.

Tahap selanjutnya adalah mengestimasi debit dan konsentrasi limbah pencemar menggunakan pendekatan trial and error hingga hasil yang diperoleh mendekati kondisi aktual. Estimasi debit dilakukan dengan menghitung persentase kontribusi limbah industri tekstil dan domestik pada setiap segmen Sungai Cikakembang, yang menunjukkan peningkatan debit di sepanjang aliran. Penentuan konsentrasi setiap parameter kualitas air dilakukan dengan memasukkan nilai konsentrasi yang sesuai dengan Standar Baku Mutu Air Limbah Domestik serta industri tekstil menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 dan Nomor 16 Tahun 2019.

Nilai debit dan konsentrasi inlet limbah yang telah diperoleh, sebagaimana disajikan pada Tabel 9 dan 10, digunakan sebagai input di QUAL2Kw. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan data Sampling 2 untuk memastikan kesesuaian model dengan kondisi lapangan, dengan hasil yang disajikan pada Gambar 6.

**Tabel 8.** Hasil Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ )

Titik	$k_d$ (per hari)	Titik	$k_d$ (per hari)
1	0,297	6	0,342
2	0,366	7	0,404
3	0,385	8	0,423
4	0,329	9	0,362
5	0,319		
Rata - Rata		0,36	

**Tabel 9.** Debit Limbah Industri dan Domestik

Jenis	Jarak ke Hilir (km)	Debit (m <sup>3</sup> /s)
Industri 1	5,2417	0,0157
Domestik 1	4,9584	0,0948
Industri 2	4,1863	0,0207
Industri 3	3,7528	0,1928
Industri 4	3,7109	0,1552
Industri 5	3,3578	0,5281
Domestik 2	3,1824	0,0409
Domestik 3	1,8648	3,0199
Domestik 4	0,7857	4,0199

Berdasarkan hasil kalibrasi model, diperoleh nilai konsentrasi parameter kualitas air pada inlet limbah industri tekstil dan domestik. Pemodelan kualitas air yang melibatkan parameter COD menunjukkan adanya pengaruh terhadap fluktuasi nilai DO selama proses kalibrasi. Pada bagian hulu, kondisi kualitas air belum sepenuhnya memenuhi Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II, sehingga kondisi awal ini turut memengaruhi kualitas air di bagian hilir.

Parameter DO, BOD, dan COD mencapai kondisi terburuk pada ruas sungai 1 – 2 km dari titik hulu, terutama akibat adanya beberapa inlet limbah industri pada segmen tersebut. Selain itu, konsentrasi NH<sub>3</sub>-N juga mengalami peningkatan tajam sebelum memasuki segmen tersebut. Secara spasial, pola ini menunjukkan bahwa penurunan kualitas air paling jelas terjadi pada segmen yang menerima masukan limbah industri dan domestik secara langsung. Limbah industri tekstil cenderung meningkatkan COD karena adanya kandungan bahan kimia dan senyawa organik yang sulit terurai, sedangkan limbah domestik berkontribusi terhadap peningkatan BOD dan NH<sub>3</sub>-N. Kombinasi kedua sumber pencemar tersebut meningkatkan kebutuhan oksigen untuk proses penguraian bahan organik dan memberikan tekanan yang lebih besar terhadap konsentrasi DO di sungai.

Hasil kalibrasi kemudian divalidasi menggunakan data Sampling 1 sebagaimana tersaji pada Gambar 7. Validasi menunjukkan bahwa model cukup mampu merepresentasikan pola umum fluktuasi konsentrasi, sehingga model dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi lapangan secara memadai. Hasil ini sejalan dengan penelitian serupa pada Sungai Cikakembang yang menunjukkan bahwa kualitas air sungai masih belum memenuhi baku mutu akibat tekanan limbah domestik dan industri tekstil (Fitriana dkk., 2024; 2025). Temuan ini juga mendukung penggunaan model kualitas air untuk mengidentifikasi segmen kritis dan mengevaluasi efektivitas skenario pengendalian pencemaran.

Wiryawardhana, M. R. Z., Fitriana F., dan Yudianto, D., (2026). Studi Pencemaran Sungai Cikakembang akibat Limbah Industri Tekstil Menggunakan QUAL2Kw. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 181-190, doi:10.14710/jil.24.1.181-190

Namun, interpretasi hasil model perlu mempertimbangkan asumsi CSTR pada QUAL2Kw. Asumsi ini menganggap pencampuran terjadi secara sempurna pada setiap segmen, sehingga konsentrasi parameter kualitas air dianggap seragam dalam satu segmen pemodelan. Pada kondisi sungai alami, pencampuran dapat dipengaruhi oleh bentuk penampang, vegetasi, kekasaran dasar, dan keberadaan inlet limbah lokal. Oleh karena itu, hasil pemodelan perlu dipahami sebagai representasi longitudinal kualitas air, bukan sebagai gambaran detail variasi tiga dimensi di dalam sungai.

### 3.4. Simulasi Skenario Pengendalian Pencemaran

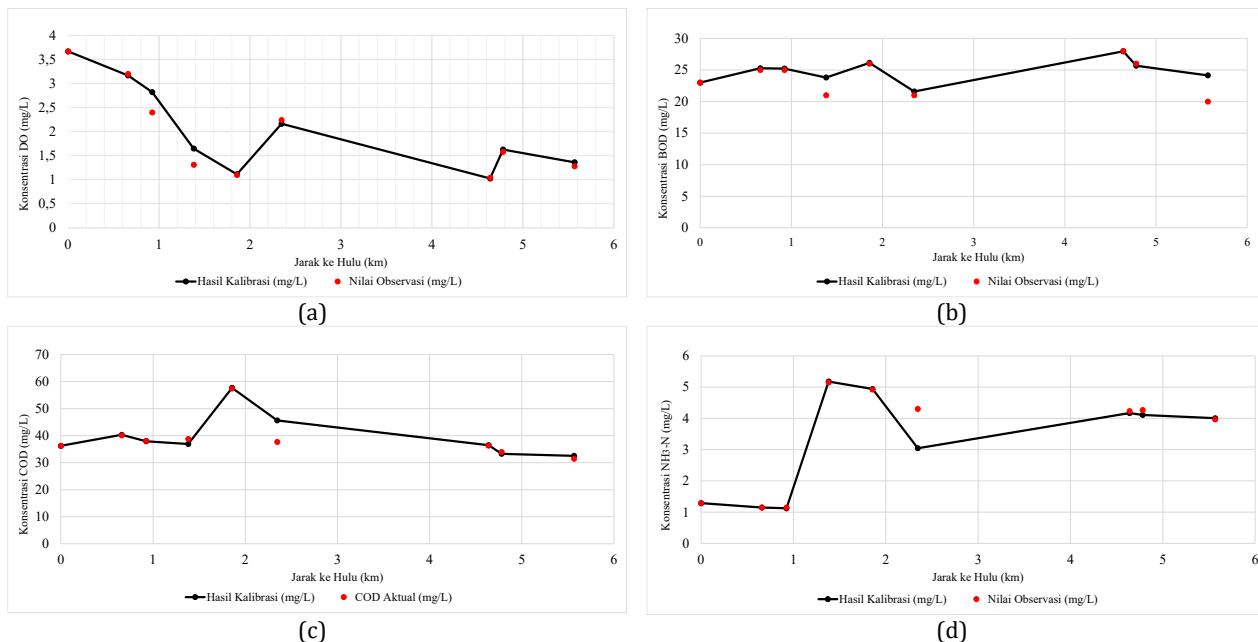
Untuk memperbaiki kualitas air Sungai Cikakembang dari kondisi eksisting, diperlukan beberapa skenario pengendalian pencemaran sebagai alternatif solusi. Parameter kualitas air seperti DO, BOD, COD, dan NH<sub>3</sub>-N menunjukkan bahwa kondisi air di sepanjang sungai berada pada tingkat pencemaran yang tinggi. Debit di hulu sungai pada Sampling 2, yaitu sebesar 0,1458 m<sup>3</sup>/s, dianggap representatif dalam menggambarkan kondisi saat ini. Oleh karena itu, empat skenario pengendalian pencemaran disimulasikan untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas air Sungai Cikakembang sebagaimana tersaji pada Tabel 11.

**Tabel 10.** Konsentrasi Parameter Limbah Industri Tekstil dan Domestik

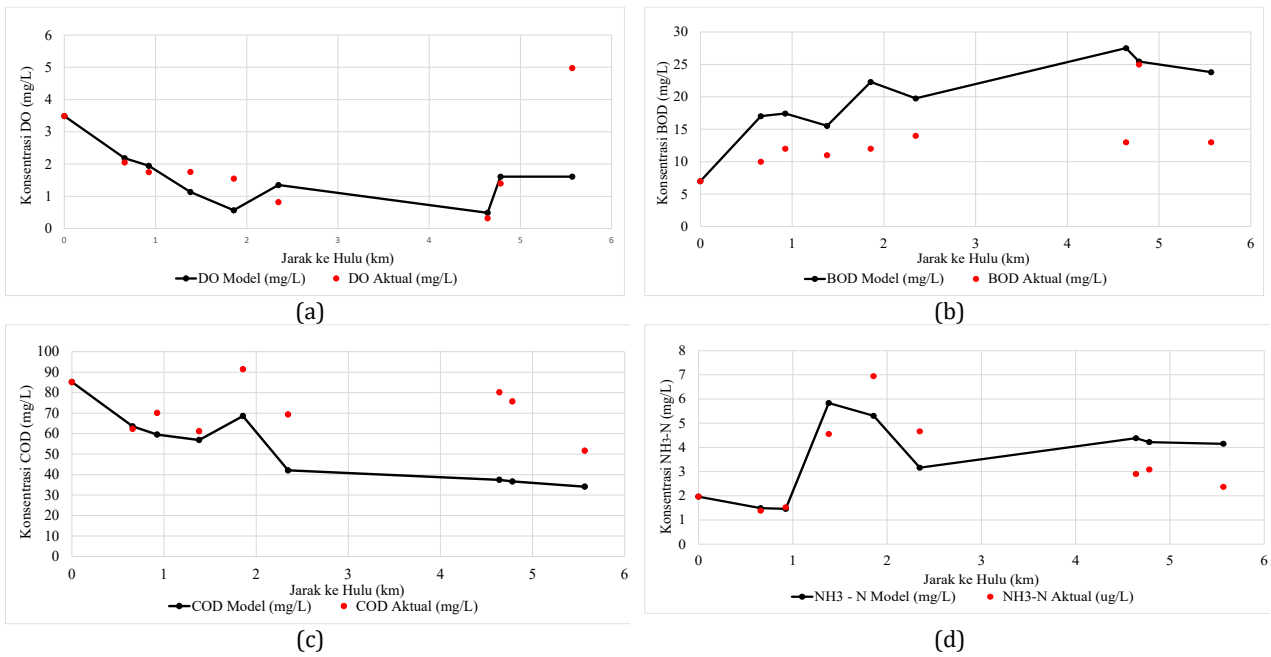
Jadwal Pengeluaran Limbah		Konsentrasi (mg/L)							
Industri Tekstil	Domestik	Industri Tekstil				Domestik			
		DO	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N	DO	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N
08.00 - 17.00	06.00 - 08.00 dan 17.00 - 19.00	1,75	25,80	80,80	3 dan 58	2,66	23,20	37,40	4

**Tabel 11.** Skenario Pengendalian Pencemaran

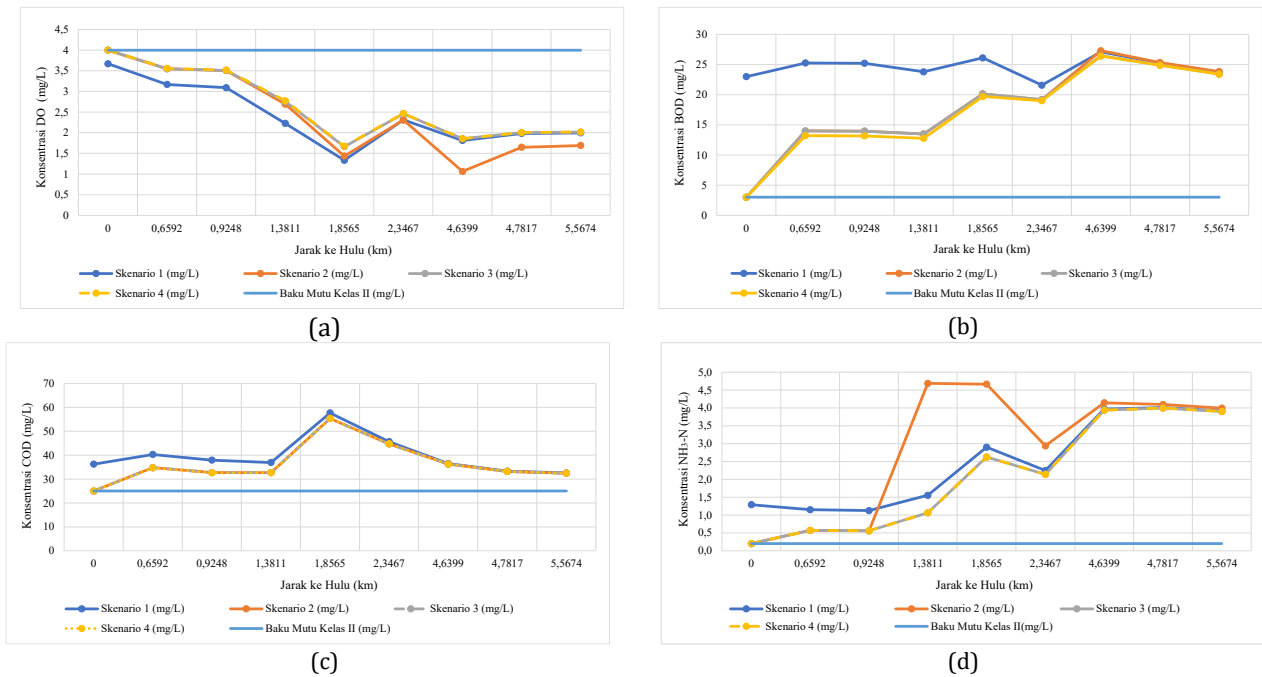
Pembeda	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Kondisi Hulu	Eksisting	Sesuai baku mutu air sungai kelas II	Sesuai baku mutu air sungai kelas II	Sesuai baku mutu air sungai kelas II
Parameter Limbah	Sesuai baku mutu limbah	Eksisting	Sesuai baku mutu limbah	Sesuai baku mutu limbah domestik



**Gambar 6.** Hasil Kalibrasi Data Parameter (a) DO, (b) BOD, (c) COD, (d) NH<sub>3</sub>-N



Gambar 7. Hasil Validasi Data Parameter (a) DO, (b) BOD, (c) COD, (d) NH<sub>3</sub>-N



Gambar 8. Hasil Simulasi Skenario terhadap Parameter (a) DO dan (b) BOD

Pada Skenario 1, konsentrasi parameter kualitas air pada setiap inlet limbah yang melebihi standar baku mutu disesuaikan agar memenuhi standar yang berlaku. Hasil simulasi menunjukkan adanya peningkatan kualitas air di sepanjang sungai, namun peningkatan tersebut belum signifikan. Konsentrasi parameter yang dikaji masih belum mencapai Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II.

Pada Skenario 2, parameter kualitas air di bagian hulu Sungai Cikakembang disesuaikan dengan Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II. Simulasi ini menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan Skenario 1. Namun, hanya bagian hulu sungai yang berhasil memenuhi standar baku mutu untuk semua parameter.

Pada Skenario 3, konsentrasi parameter kualitas air pada setiap inlet limbah disesuaikan dengan baku mutu limbah serta kondisi di bagian hulu. Meskipun terjadi peningkatan kualitas air, hasilnya masih belum cukup untuk memenuhi Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II.

Skenario 4 mempertahankan kondisi di bagian hulu sesuai dengan baku mutu air sungai kelas II, sementara kondisi eksisting pada inlet limbah disesuaikan dengan baku mutu limbah domestik. Meski skenario ini menunjukkan sedikit peningkatan, dampaknya tetap belum mampu membuat kualitas air Sungai Cikakembang memenuhi Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II. Seperti pada skenario-skenario sebelumnya, hanya bagian paling hulu yang

Wiryawardhana, M. R. Z., Fitriana F., dan Yudianto, D., (2026). Studi Pencemaran Sungai Cikakembang akibat Limbah Industri Tekstil Menggunakan QUAL2Kw. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 181-190, doi:10.14710/jil.24.1.181-190

memenuhi baku mutu untuk keempat parameter kualitas air. Secara keseluruhan, hasil simulasi dari keempat skenario sebagaimana disajikan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa meningkatkan kualitas air sungai merupakan tantangan yang sangat besar dan menggambarkan tingginya tingkat pencemaran yang terjadi di Sungai Cikakembang. Perbandingan antar skenario menunjukkan bahwa perbaikan kualitas air tidak dapat dicapai hanya melalui penyesuaian satu sumber pencemar. Skenario 3 menjadi skenario yang paling direkomendasikan karena menggabungkan perbaikan kualitas air di bagian hulu dengan pengendalian kualitas limbah yang masuk ke sungai. Meskipun belum sepenuhnya mampu memenuhi baku mutu di seluruh segmen, hasil ini menegaskan bahwa pengendalian pencemaran perlu dilakukan secara terpadu melalui peningkatan kualitas air limbah industri, pengendalian limbah domestik, dan perbaikan kondisi kualitas air di bagian hulu.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Cikakembang masih berada dalam kondisi tercemar, dengan parameter DO, BOD, COD, dan NH<sub>3</sub>-N yang sebagian besar belum memenuhi Standar Baku Mutu Air Sungai Kelas II. Pemodelan menggunakan QUAL2Kw mampu merepresentasikan pola perubahan kualitas air di sepanjang sungai, terutama pada segmen yang menerima masukan limbah industri tekstil dan domestik. Penambahan parameter COD dalam pemodelan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap pengaruh limbah industri tekstil, khususnya dalam menjelaskan hubungan antara beban pencemar kimia dan fluktuasi konsentrasi DO. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam penerapan model kualitas air untuk mengidentifikasi segmen kritis dan mengevaluasi efektivitas skenario pengendalian pencemaran pada sungai terdampak limbah tekstil.

Hasil simulasi empat skenario menunjukkan bahwa perbaikan kualitas air belum dapat memenuhi baku mutu di seluruh segmen sungai. Skenario 3 menjadi skenario yang paling direkomendasikan karena menggabungkan perbaikan kualitas air di bagian hulu dengan pengendalian kualitas limbah yang masuk ke sungai, serta menunjukkan arah perbaikan yang lebih konsisten dibandingkan skenario lainnya. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan karena pemodelan dilakukan berdasarkan dua periode sampling dan menggunakan pendekatan satu dimensi dengan asumsi pencampuran sempurna pada setiap segmen. Oleh karena itu, pengelolaan Sungai Cikakembang perlu diarahkan pada peningkatan efektivitas instalasi pengolahan air limbah industri tekstil, pengendalian limbah domestik, pemantauan kualitas air secara berkala, serta evaluasi lanjutan terhadap kombinasi skenario pengendalian yang lebih realistis dan aplikatif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anzira, A., & Ahmad, D. 2020. Model Matematika Efek Perpindahan Polutan Pada Kolam Pertama Ke Kolam Kedua Dipengaruhi Adveksi Dan Dispersi. *Journal of Mathematics* UNP, 5(1). <http://dx.doi.org/10.24036/unpiomath.v5i1.8897>.
- Asnawi, I. 2023. Parameter Kualitas Air. Padang: Get Press Indonesia.
- Asrori, M.K. 2021. Pemetaan Kualitas Air Sungai di Surabaya. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(2): 41-47. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i2.127>.
- Brown, L.C., & Barnwell, T.O. 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS (EPA/600/3-87-007). U.S. Environmental Protection Agency.
- Fitriana, F., Yudianto, D., & Seo, Y.C. 2025. Analysis of Cikakembang River Water Quality Using the Pollution Index, STORET, and CCME-WQI Methods. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 22(2): 485-496. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v22i2.485-496>
- Fitriana, F., Yudianto, D., Kent, S., Polisar, A., & Sanjaya, S. 2024. QUAL2Kw Simulation for Pollution Control Strategies: A Case Study of the Cikakembang River, West Java, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235: 722. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07526-2>
- Fitriana, F., Yudianto, D., Sanjaya, S., Roy, A.F., & Seo, Y.C. 2023. The Assessment of Citarum River Water Quality in Majalaya District, Bandung Regency. *Rekayasa Sipil*, 17(1): 37-46. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2023.017.016>.
- Graha, I.M.S. 2015. Identifikasi Kualitas Air Kali Dami Kota Surabaya Dengan Metode QUAL2KW. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hobson, A.J., Neilson, B.T., von Stackelberg, N., Shupryt, M., Ostermiller, J., Pelletier, G., & Chapra, S.C. 2015. Development of a Minimalistic Data Collection Strategy for QUAL2Kw. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000488](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000488).
- Indriani, S. 2023. Perkembangan Industri Tekstil di Majalaya Tahun 1920-1970. Disertasi Doktorat, Universitas Siliwangi.
- Iwasa, Y., & Aya, S. 1991. Transverse Mixing in a River with Complicated Channel Geometry. *Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute*, 41(3): 129-175.
- Jha, R., Ojha, C.S.P., & Bhatia, K.K.S. 2004. A Supplementary Approach for Estimating Reaeration Rate Coefficients. *Hydrological Processes*, 18(1): 65-79.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., & Pelletier, G.J. 2007. Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Management in the Bagmati River, Nepal. *Ecological Modelling*, 202(3-4): 503-517. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.12.033>.
- Maghfiroh, L. 2016. Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Kalimas Surabaya (Segmen Taman Prestasi-Jembatan Petekan) Dengan Pemodelan QUAL2Kw. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup

- dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2019. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Pelletier, G.J., Chapra, S.C., & Tao, H. 2006. QUAL2Kw-A Framework for Modeling Water Quality in Streams and Rivers Using a Genetic Algorithm for Calibration. *Environmental Modelling & Software*, 21(3): 419-425. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.002>.
- Polisar, A. 2023. Study of The Impacts of Domestic and Textile Industry Wastewater Discharge in Cikakembang River, Majalaya, Bandung Regency. <https://repository.unpar.ac.id/handle/123456789/16491>
- Putra, D.M. 2016. Kontribusi Industri Tekstil dalam Penggunaan Bahan Berbahaya dan Beracun terhadap Rusaknya Sungai Citarum. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 3(1): 133-152. <https://doi.org/10.38011/jhli.v3i1.37>.
- Rahmani, R.Z. 2018. Analisis Pencemaran Kromium Berdasarkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) pada Hulu Sungai Citarum di Kecamatan Majalaya Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Skripsi, Fakultas Ilmu Kesehatan UIN Syarif Hidayatullah.
- Republik Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Satrianegara, R. 2018. Citarum Dickey Limbah Industri 349.000 Ton Setiap Hari. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20180406133932-4-9961/citarum-dickey-limbah-industri-349000-ton-setiap-hari>.
- Setiawan, A.D., Widyastuti, M., & Hadi, M.P. 2018. Water Quality Modeling for Pollutant Carrying Capacity Assessment Using QUAL2Kw in Bedog River. *The Indonesian Journal of Geography*, 50(1): 49-56. <http://dx.doi.org/10.22146/ijg.16429>.
- Sitanggang, P.Y. 2017. Pengolahan Limbah Tekstil dan Batik di Indonesia (Version 1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1133991>.
- Thomas Jr., H. 1950. Graphical Determination of BOD Curve Constants. *Water & Sewage Works*, 97(3): 123.
- Yudianto, D., Kent, S., Gao, C., Wang, Q., & Fitriana, F. 2026. Evaluation of HEC-RAS and QUAL2Kw from the Perspective of Numerical Approach, Study Case Cikakembang River. *International Journal of Energy and Water Resources*, 10: 47. <https://doi.org/10.1007/s42108-025-00472-7>