

ANALISIS SENSITIVITAS SIMULASI PARAMETER BOD, TSS DAN DO DALAM PEMODELAN KUALITAS AIR DENGAN MENGGUNAKAN QUAL2K

MOCHAMAD ADHIRAGA PRATAMA^{1*}, CALEB PATRICK SIDABUTAR¹,
RIDWAN HAKIM¹

1. Program Study of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering
Universitas Indonesia

Email: adhiragapratama@ui.ac.id

ABSTRAK

QUAL2K merupakan salah satu instrumen yang paling banyak digunakan dalam menyimulasikan kualitas air sungai di Indonesia. Untuk mengoperasikannya, QUAL2K membutuhkan input dari berbagai parameter dan variabel dalam jumlah yang banyak sehingga pengguna biasanya menggunakan nilai default untuk menyederhanakan proses simulasi. Namun, sensitivitas input dan parameter tersebut belum pernah dianalisis sehingga kesesuaian penggunaan nilai default ini pada kasus sungai di Indonesia belum dapat dikonfirmasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sensitivitas nilai default untuk parameter dan variabel input terkait dengan simulasi Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solid (TSS) dan Dissolved Oxygen (DO) di DAS Citarum Hulu. Analisis sensitivitas lokal dilakukan untuk 13 parameter dan 7 variabel input dengan memvariasikan setiap nilai *default* sebesar 5% dan sensitivitasnya dievaluasi dengan indeks sensitivitas (SI). Hasil analisis sensitivitas untuk simulasi BOD menunjukkan bahwa faktor koreksi suhu BOD (SI=0,112) dan konsentrasi DO dalam *diffuse source* merupakan parameter dan variabel input yang paling sensitif (SI=5,64). Sedangkan untuk simulasi DO, beberapa parameter yang paling sensitif adalah Faktor Koreksi Suhu Oksigen (SI=1,2), Lebar Sungai (SI=0,43), Koreksi Suhu BOD (SI=0,35) dan Koefisien Manning (SI=0,3). Variabel dan parameter input yang paling sensitif untuk konsentrasi TSS adalah konsentrasi DO dalam *diffuse source* (SI=6,58) dan fitorespirasi inhibisi oksigen (SI=0,21).

Kata kunci: Analisis sensitivitas, BOD, TSS, DO, QUAL2K.

ABSTRACT

QUAL2K is the most widely used tool in simulating river water quality in Indonesia despite it requires input of numerous parameter and variables which, in many cases, makes users utilizing default values to simplify the process. However, the suitability of using these default values in Indonesian river cases has never been evaluated. This study aimed to analyze the sensitivity of the default values for parameters and input variables related to Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solid (TSS) and Dissolved Oxygen (DO) simulations in Upper Citarum River Watershed. We conducted local sensitivity analysis for 13 parameters and 7 input variables by varying each default value by 5% and their sensitivities were evaluated by sensitivity index (SI). The results of the sensitivity analysis for BOD simulation showed that BOD Temperature correction (SI=0.112) and DO concentration in diffuse source (SI=5.64) are the most sensitive parameter and input variable, respectively. Whereas for DO simulations, some of most sensitive parameters are Oxygen Temperature Correction (SI=1.2), River Width (SI=0.43), Manning Coefficient (SI=0.3) and BOD Temperature Correction (SI=0.35). The most sensitive input variables and parameters for TSS concentrations were DO concentration in diffuse source (SI=6.58) and oxygen inhibition phytorespiration (SI=0.21).

Keywords : Sensitivity Analysis, BOD, TSS, DO, QUAL2K.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan aktivitas perekonomian berdampak terhadap peningkatan beban pencemar pada badan air di Indonesia. Di sisi lain, dalam kurun waktu 50 tahun terakhir, kebutuhan air global meningkat 2,5 kali lipat dari 1,5 trilyun m³ di tahun 1960 menjadi 4 trilyun m³ di tahun 2015 akibat pertumbuhan jumlah populasi manusia (Ritchie dan Roser, 2017). Kondisi ini diperparah dengan penurunan kualitas air permukaan yang berasosiasi kuat dengan kegiatan antropogenik sebagai konsekuensi dari pertumbuhan populasi manusia tersebut. Berdasarkan studi UNEP, dilaporkan tren peningkatan konsentrasi pencemar coliform dan organik pada sungai-sungai secara global, dengan tingkat keparahan yang bervariasi (UNEP, 2016). Tren yang sama juga teramati di Indonesia dimana pada tahun 2019 dilaporkan bahwa 82% sungai-sungai di Indonesia berada dalam status tercemar (Zuraya, 2019).

Dalam rangka perbaikan kualitas air permukaan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK), menerbitkan Permen LHK Nomor 5 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan dimana penghasil limbah berkewajiban untuk melakukan prakiraan dampak pembuangan hasil olahan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan menggunakan berbagai metode salah satunya dengan model numerik QUAL2K. Rekomendasi penggunaan QUAL2K ini didasarkan cakupan proses adveksi, dispersi dan reaksi kinetik pada simulasi serta relatif sederhana dengan *input* yang diperlukan tidak banyak, namun hasil yang diperoleh cukup akurat (KLHK, 2021).

Model numerik QUAL2K merupakan salah satu instrumen simulasi kualitas air yang paling luas digunakan di Indonesia sebagaimana direkomendasikan Permen LHK Nomor 5 Tahun 2021. Berbagai studi telah menyimulasikan kualitas air pada sungai-sungai utama di Indonesia seperti Sungai Citarum, Sungai Cisadane, Sungai Brantas dan Sungai Gajahwong dengan menggunakan QUAL2K (Utami dkk., 2020, Lusiana dkk., 2020, Triane dan Suharyanto, 2015, Lestari dkk., 2013). Pada studi-studi tersebut, QUAL2K mampu menyimulasikan kualitas air dengan galat yang variatif sebagai implikasi dari ketidakpastian nilai parameter dan yang digunakan seperti koefisien kinetik dan koefisien hidrolis yang pada umumnya nilai yang terpilih adalah nilai *default*. Selain itu, galat hasil simulasi juga mungkin berasal dari pemilihan nilai variabel *input* seperti satuan timbulan pencemar yang mana biasanya pengguna menggunakan nilai yang direkomendasikan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Padahal beberapa studi melaporkan variabilitas faktor emisi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Dissolved Oxygen* (DO) pada limbah domestik yang cukup tinggi diantara sampel rumah tangga yang dikaji (Indriatmoko dkk., 2004).

Meskipun demikian, sensitivitas dari penggunaan nilai *default* ini belum teranalisis secara sistematis terutama pada kasus badan air di Indonesia. Hal ini penting dilakukan karena analisis sensitivitas mampu mengidentifikasi parameter dan variabel *input* mana yang berpengaruh paling signifikan terhadap luaran model, yaitu konsentrasi pencemar pada badan air. Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sensitivitas nilai *default* untuk semua parameter dan variabel *input* yang terkait dengan simulasi konsentrasi BOD, TSS dan DO. Dengan melakukan analisis sensitivitas terhadap parameter dan variabel *input* yang digunakan, diharapkan proses minimasi galat hasil simulasi dapat lebih efisien karena pengguna QUAL2K dapat lebih fokus pada parameter dan variabel *input* yang sensitif dari sekian banyak parameter dan variabel *input* yang diperlukan dalam menyimulasikan kualitas air permukaan.

2. METODE

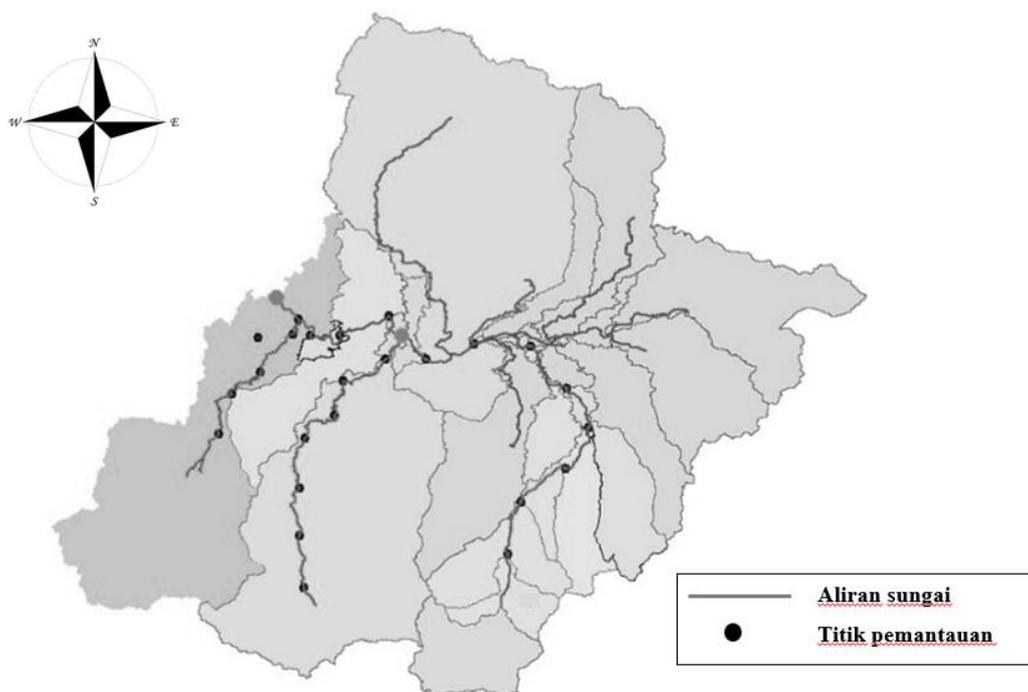
Gambaran Umum Lokasi Studi

DAS Citarum Hulu berlokasi di Provinsi Jawa Barat, Indonesia dengan koordinat dari lokasi DAS Citarum adalah $107^{\circ} 15' \text{ BT} - 107^{\circ} 60' \text{ BT}$ dan $6^{\circ} 40' \text{ LS} - 7^{\circ} 15' \text{ LS}$. Pada DAS Citarum Hulu, terdapat 7 Sub-DAS, yaitu Sub-DAS Citarik, Sub-DAS Cisangkuy, Sub-DAS Cirasea, Sub-DAS Ciwidey, Sub-DAS Cihaur, Sub-DAS Cikapundung, Sub-DAS dan Ciminyak. Seluruh Sub-DAS tersebut mengalirkan airnya ke Sungai Citarum yang setelahnya akan dialirkan ke dalam Waduk Saguling (Indriatmoko dkk., 2004).

Sepanjang segmen sungai Cirawa – Nanjung, tata guna lahan bervariasi mulai dari sawah, semak belukar, hutan, sampai dengan lahan terbangun. Debit air sungai pada segmen Cirawa-Nanjung berkisar pada $5,2 - 44,2 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berdasarkan *monitoring* Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bandung, kualitas air pada segmen tersebut tergolong pada kategori cemar sedang dan cemar berat (DLH Provinsi Jawa Barat, 2019)

Segmentasi Sungai

Pada penelitian ini, DAS Citarum Hulu dibagi menjadi 13 segmen dengan tiap segmen memiliki panjang sebesar $\pm 5 \text{ km}$, dengan panjang total $59,74 \text{ Km}$. Gambar 1 mengilustrasikan ke-13 segmen yang disimulasikan pada penelitian ini.



Gambar 1. Segmentasi DAS Citarum Hulu

Kuantifikasi Parameter dan Variabel Input

Pada penelitian ini, parameter dibagi menjadi dua jenis yaitu parameter kinetik (sheet *rates*) dan parameter hidrolika (sheet *headwater* dan *reach*) sedangkan variabel *input* dibagi menjadi variabel meteorologi, point source, diffuse source dan kualitas *headwater*. Tabel 1 menunjukkan daftar metode kuantifikasi parameter dan variabel *input*.

Tabel 1. Daftar metode kuantifikasi parameter dan variabel input.

No	Parameter/Variabel	Metode Kuantifikasi	sumber
1	Kinetik	Nilai <i>default</i>	-
2	Hidrolika	<i>Digital elevation model</i>	(USGS, 2019)
3	Meteorologi	Data stasiun cuaca	(BMKG, 2019)
4	<i>Point source</i> (industri)	Data efluen industri	(DLH Provinsi Jawa Barat, 2019)
5	<i>Diffuse source</i> (pemukiman)	Data kualitas <i>greywater</i>	(Hafiza dkk., 2019)
6	<i>Diffuse source</i> (hutan)	Data kualitas limpasan hutan	(Soo dkk., 2009)
7	<i>Diffuse source</i> (pertanian)	Data kualitas limpasan pertanian	(Soo dkk., 2009)
8	Kualitas Headwater	Data kualitas mata air Cisanti	(DLH Provinsi Jawa Barat, 2019)
9	Data kualitas air Sungai Citarum	Laporan Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (IKPLHD) Kabupaten Bandung	(DLH Provinsi Jawa Barat, 2019)

Analisis Sensitivitas

Pada penelitian ini, analisis sensitivitas dilakukan pada 20 parameter/variabel input sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar parameter dan variabel input pada analisis sensitivitas.

Kategori	Nama parameter/variabel input
Variabel input diffuse source	DO <i>diffuse source</i>
	CBOD <i>diffuse source</i>
	Debit <i>diffuse source</i>
Variabel input meteorologi	Titik embun
	Temperatur udara
	Tutupan awan
	Kecepatan angin
Parameter kinetik	<i>CBOD temp correction</i>
	<i>oxygen inhib phytorespiration</i>
	<i>CBOD oxidation rate</i>
	<i>oxygen inhib CBOD</i>
	<i>oxygen temp correction</i>
	<i>TSS settling velocity</i>
	<i>Reaeration coefficient a</i>
	<i>Reaeration coefficient b</i>
	<i>Reaeration coefficient y</i>
	oxygen enhance bot algae
Parameter hidrolika	Koefisien manning
	Lebar saluran
	Kemiringan saluran

Pada perhitungan analisis sensitivitas, setiap parameter akan divariasikan dengan menaikkan nilainya sebesar 5% dan menurunkan nilainya sebesar 5% untuk merepresentasikan ketidakpastian variabel terkait. Kemudian, nilai SI dihitung dengan persamaan 1.

$$SI = \frac{\left| \frac{C_i^* - C_i}{C_i} \right|}{\left| \frac{P_i^* - P_i}{P_i} \right|} \quad (1)$$

Dimana C_i adalah konsentrasi parameter i saat awal (mg/L), C_i^* adalah konsentrasi parameter i setelah perubahan parameter/variabel *input*, P_i^* nilai parameter/variabel *input* i setelah diubah sebesar 5% dan P_i adalah nilai parameter i sesuai dengan nilai default. Kategori nilai SI ditunjukkan pada Tabel 3.

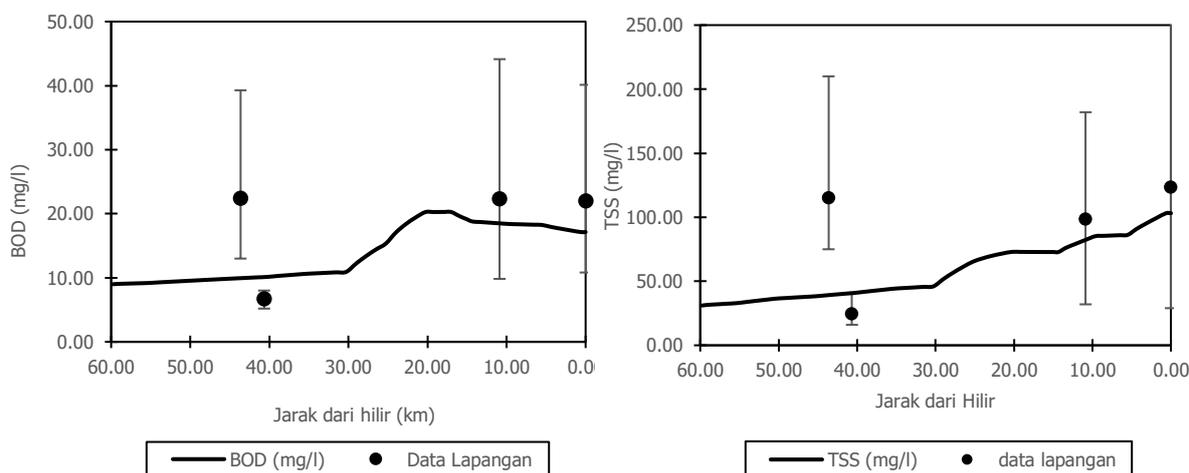
Tabel 3. Kategori nilai SI (Sumber: Chen dkk., 2018)

Sensitivity Level	Sensitivity Range	Sensitivity
I	$0 \leq SI < 0,05$	<i>Insensitive</i>
II	$0,05 \leq SI < 0,2$	<i>Weak Sensitive</i>
III	$0,2 \leq SI < 1$	<i>Sensitive</i>
IV	$ SI > 1$	<i>Highly Sensitive</i>

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Konsentrasi BOD dan TSS di DAS Citarum Hulu

Hasil simulasi QUAL2K untuk konsentrasi BOD pada Sungai Citarum Hulu segmen Cirawa-Nanjung ditunjukkan pada Gambar 2. Konsentrasi BOD pada segmen 1 hingga 6 relatif rendah (9-11 mg/L). Sementara dari segmen 9 hingga hilir terjadi lonjakan konsentrasi BOD yang berada di rentang 15-20 Mg/L. Hal tersebut dapat terjadi karena pada segmen sampai hilir terdapat tiga industri yang menghasilkan pencemar dengan kuantitas yang signifikan. Berdasarkan perhitungan eror, diperoleh simulasi eror simulasi BOD, sebesar 7,16.



Gambar 2. Simulasi konsentrasi BOD (kiri) dan TSS (kanan) pada Sungai Citarum Hulu segmen Cirawa-Nanjung dengan menggunakan QUAL2K

Hasil simulasi QUAL2K untuk konsentrasi TSS pada Sungai Citarum Hulu segmen Cirawa-Nanjung ditunjukkan pada Gambar 2b. Berdasarkan hasil simulasi TSS yang didapat, pada segmen 1 hingga pertengahan segmen 3 (42,79 km dari hilir) konsentrasi TSS berada pada

rentang 30-40 mg/l. Sementara pada segmen 3 (41,54 km dari hilir) hingga segmen 5 memenuhi rentang konsentrasi TSS mengalami peningkatan, yaitu berada pada rentang 40-70 Mg/l. Pada segmen 6 hingga segmen 13, konsentrasi TSS kembali mengalami peningkatan dengan rentang 70-190 Mg/L. Konsentrasi TSS sungai terus meningkat sepanjang aliran sungai sebagai indikasi dari semakin tingginya beban pencemaran TSS pada bagian hilir segmen.

Analisis Sensitivitas BOD

Hasil perhitungan SI untuk simulasi konsentrasi BOD terhadap 10 parameter paling sensitif ditunjukkan pada Tabel 4. Setelah melakukan perhitungan analisis sensitivitas, diperoleh 5 perubahan parameter dan variabel input yang paling berpengaruh terhadap konsentrasi BOD sungai, yaitu *CBOD Temp correction* dinaikkan 5%, *Oxygen inhib parameter phyto resp* dinaikkan 5%, *CBOD Oxidation rate* diturunkan 5%, *CBOD Temp correction* diturunkan 5% dan *CBOD Oxidation rate* dinaikkan 5%.

Tabel 4. Hasil Analisis Sensitivitas Parameter Terhadap Konsentrasi BOD

No	Parameter	SI	SI Level
1	<i>CBOD Temp correction</i> dinaikkan 5%	0,112	II (<i>Weak Sensitive</i>)
2	<i>Oxygen inhib parameter phyto resp</i> dinaikkan 5%	0,076	II (<i>Weak Sensitive</i>)
3	<i>CBOD Oxidation rate</i> diturunkan 5%	0,029	I (<i>Insensitive</i>)
4	<i>CBOD Temp correction</i> diturunkan 5%	0,029	I (<i>Insensitive</i>)
5	<i>CBOD Oxidation rate</i> dinaikkan 5%	0,029	I (<i>Insensitive</i>)
6	Koefisien <i>Manning</i> diturunkan 5%	0,021	I (<i>Insensitive</i>)
7	Koefisien <i>Manning</i> dinaikkan 5%	0,02	I (<i>Insensitive</i>)
8	<i>Bottom Width</i> dinaikkan 5%	0,01	I (<i>Insensitive</i>)
9	<i>Bottom Width</i> diturunkan 5%	0,01	I (<i>Insensitive</i>)
10	<i>Channel Slope</i> diturunkan 5%	0,01	I (<i>Insensitive</i>)

Tabel 5 menunjukkan perubahan konsentrasi DO dari *diffuse source* sangat berpengaruh terhadap konsentrasi BOD sungai. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai SI dengan level IV yang berarti sangat sensitif. Hal dapat dimungkinkan karena BOD merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi atau mengurai bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). Oleh karenanya, semakin tinggi konsentrasi DO, maka akan semakin cepat pencemar organik terurai yang mengakibatkan semakin cepatnya penurunan parameter BOD. DO dan BOD memiliki relasi yang berbanding terbalik. Oleh karenanya, semakin tinggi konsentrasi BOD, maka konsentrasi DO juga akan semakin rendah, dan juga sebaliknya. Maka jika DO pencemar ditingkatkan 5%, maka mikroorganisme akan lebih banyak menggunakan DO untuk menguraikan bahan organik, yang menghasilkan konsentrasi BOD pada sungai akan turun, dan juga sebaliknya.

Tabel 5. Hasil analisis sensitivitas variabel *input* sungai terhadap konsentrasi BOD

No	Parameter	SI	SI Level
1	Konsentrasi DO <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	5,64	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
2	Konsentrasi DO <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	5.64	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
3	Konsentrasi BOD <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,62	III (<i>Sensitive</i>)
4	Konsentrasi BOD <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,62	III (<i>Sensitive</i>)
5	Debit pencemar <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,18	II (<i>Weak Sensitive</i>)
6	Debit pencemar <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,17	II (<i>Weak Sensitive</i>)
7	Konsentrasi TSS <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,17	II (<i>Weak Sensitive</i>)
8	Konsentrasi TSS <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,17	II (<i>Weak Sensitive</i>)

Perubahan konsentrasi BOD pada *diffuse source* juga berpengaruh terhadap konsentrasi BOD sungai. Hal tersebut dapat dilihat level sensitivitasnya yang tinggi, yaitu level III yang berarti sensitif. Sudah tentu perubahan konsentrasi BOD pada pencemar yang masuk ke sungai akan cukup memengaruhi konsentrasi BOD pada sungai itu sendiri. Konsentrasi BOD sendiri juga dapat diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik yang dapat diurai yang ada pada air (Atima, 2015). Maka dari itu, penambahan atau pengurangan konsentrasi BOD pada air juga dapat berarti penambahan dan pengurangan jumlah organik yang dapat diurai. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah bahan organik yang ada di dalam sungai, maka semakin tinggi kebutuhan oksigennya atau konsentrasinya BODnya, dan juga sebaliknya. Bahwasanya konsentrasi BOD pada *diffuse source* merupakan variabel *input* yang sensitif menunjukkan perlunya metode penentuan besaran timbulan BOD per orang per hari yang tepat. Selain itu, dengan mempertimbangkan kondisi bahwa air limbah domestik yang mengalir ke sungai sebagian besar merupakan *greywater*, maka perlu dikaji lebih jauh besaran tipikal konsentrasi BOD pada *greywater*.

Penurunan dan peningkatan debit sebesar 5% dari *diffuse source* juga dapat memengaruhi konsentrasi BOD sungai. Debit *diffuse source* yang tinggi akan menyebabkan terjadinya aerasi pada aliran air limbah tersebut, yang menghasilkan meningkatnya konsentrasi DO pada aliran limbah, dan juga sebaliknya jika debatnya rendah. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, meningkatnya konsentrasi DO akan menurunkan konsentrasi BOD dengan signifikan. Namun penurunan debit *diffuse source* tidak dapat memengaruhi konsentrasi BOD sebagaimana tingkat signifikansi kenaikan konsentrasi DO pada *diffuse source*. Hal tersebut mungkin dikarenakan peningkatan konsentrasi DO pada aliran limbah yang disebabkan oleh aerasi akibat debit yang tinggi tidak lebih besar dari kenaikan konsentrasi DO langsung dari sumber pencemarnya. Peningkatan BOD *temperature correction* sebesar 5% juga merupakan parameter yang sensitif terhadap konsentrasi BOD sungai. *Temperature correction* adalah laju reaksi dari konsentrasi BOD yang disebabkan oleh suhu air (Chapra, 2008). Meningkatnya *temperature correction* menyebabkan peningkatan laju degradasi BOD pada air. Oleh karena itu, jika nilai laju reaksi tersebut berubah, maka mengakibatkan perubahan konsentrasi BOD yang signifikan.

Analisis Sensitivitas TSS

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, tidak diperoleh adanya parameter sensitif terhadap konsentrasi TSS. Hanya parameter *Oxygen inhib parameter phyto resp* yang teridentifikasi paling sensitif dengan level SI II, *weak sensitif*. Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan analisis sensitivitas terhadap variabel *input* yang paling berpengaruh terhadap konsentrasi TSS sungai, yaitu Konsentrasi DO *Diffuse Source* dinaikkan 5%, Konsentrasi DO *Diffuse Source* diturunkan 5%, Konsentrasi TSS *Diffuse Source* dinaikkan 5%, Konsentrasi TSS *Diffuse Source* diturunkan 5%, dan Debit pencemar *Diffuse Source* diturunkan 5%.

Tabel 6 Hasil Analisis Sensitivitas variabel *Input* Sungai Terhadap Konsentrasi TSS

No	Parameter	SI	SI Level
1	Konsentrasi DO <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	6,58	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
2	Konsentrasi DO <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	6,58	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
3	Konsentrasi TSS <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,89	III (<i>Sensitive</i>)
4	Konsentrasi TSS <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,89	III (<i>Sensitive</i>)
5	Debit pencemar <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,28	III (<i>Sensitive</i>)
6	Debit pencemar <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,28	II (<i>Weak Sensitive</i>)

Perubahan konsentrasi DO dari tiap *diffuse source* sangat berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai. Hal tersebut dapat dilihat dari SI Levelnya, yaitu level IV yang berarti sangat

sensitif. Konsentrasi TSS juga dapat diartikan sebagai jumlah materi yang tersuspensi di dalam air, yang memiliki ukuran yang besar sehingga tidak dapat terlarut di dalam air. Materi tersuspensi tersebut terdiri dari bahan organik dan anorganik yang dapat bereaksi dengan DO. Pada air sungai, DO dapat digunakan oleh organisme yang berada di dalam air untuk bertahan hidup (Soemarto, 1995). Berkurangnya konsentrasi DO pada air sungai disebabkan oleh oksidasi BOD, nitrifikasi, respirasi tanaman, dan oksidasi COD (Pelletier dan Chapra, 2008). Bertambahnya konsentrasi DO yang masuk ke air sungai akan membuat semakin banyak bahan organik untuk terdekomposisi, yang membuat jumlah bahan organik tersebut akan berkurang, yang kemudian akan menurunkan konsentrasi TSS pada sungai.

Perubahan konsentrasi TSS dari tiap *diffuse source* juga berpengaruh terhadap konsentrasi TSS di sungai. Tentunya perubahan dari konsentrasi TSS dari sumber pencemar yang masuk ke sungai akan memengaruhi konsentrasi TSS pada sungai itu sendiri. Meningkatnya konsentrasi TSS yang berasal dari *diffuse source* yang dialirkan ke sungai juga berarti menambahkan padatan yang tersuspensi pada air sungai, seperti tanah liat, butiran pasir, sisa-sisa tumbuhan, kotoran hewan, kotoran manusia, lumpur, bakteri, dan bahan organik dan anorganik lainnya. Penurunan debit dari *diffuse source* sebanyak 5% juga dapat memengaruhi terhadap konsentrasi TSS sungai dengan level sensitivitas III yang berarti sensitif. Turunnya debit *diffuse source* akan menyebabkan berkurangnya turbulensi yang menyebabkan terhambatnya proses aerasi pada air, sehingga konsentrasi DO nya akan berkurang. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, turunnya konsentrasi DO akan menyebabkan semakin sedikit bahan organik yang terdekomposisikan, termasuk bahan organik yang terlekat pada padatan tersuspensi, sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi TSS.

Analisis Sensitivitas DO

Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan SI untuk 10 parameter paling sensitif terhadap konsentrasi DO. Teridentifikasi parameter dan variabel *input* yang paling berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai, yaitu Konsentrasi DO *Diffuse Source* dinaikkan 5%, Konsentrasi DO *Diffuse Source* diturunkan 5%, *Oxygen Temperature Correction* diturunkan 5%, *Oxygen Temperature Correction* dinaikkan 5%, dan Lebar dasar sungai dinaikkan 5%. Perbedaan nilai SI antara kenaikan atau penurunan sebesar 5% pada parameter yang sama menunjukkan adanya hubungan non-linier sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya terkait pengaruh *temperature correction factor* terhadap koefisien/konstanta laju reaksi (Pelletier dan Chapra, 2008).

Tabel 7 Hasil analisis sensitivitas parameter terhadap konsentrasi DO

No	Parameter	SI	SI Level
1	<i>Oxygen Temperature Correction</i> diturunkan 5%	1,2	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
2	<i>Oxygen Temperature Correction</i> dinaikkan 5%	0,75	III (<i>Sensitive</i>)
3	Lebar dasar sungai dinaikkan 5%	0,43	III (<i>Sensitive</i>)
4	CBOD <i>Temp correction</i> dinaikkan 5%	0,35	III (<i>Sensitive</i>)
5	Koefisien <i>Manning</i> diturunkan 5%	0,3	III (<i>Sensitive</i>)
6	Koefisien <i>Manning</i> dinaikkan 5%	0,28	III (<i>Sensitive</i>)
7	<i>Channel Slope</i> diturunkan 5%	0,13	II (<i>Weak Sensensitive</i>)
8	<i>Oxygen inhib parameter phyto resp</i> dinaikkan 5%	0,09	II (<i>Weak Sensensitive</i>)
9	<i>Channel Slope</i> dinaikkan 5%	0,09	II (<i>Weak Sensensitive</i>)
10	CBOD <i>Oxidation rate</i> diturunkan 5%	0,08	II (<i>Weak Sensensitive</i>)

Perubahan konsentrasi DO pada *diffuse source* sangat berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai. Perubahan konsentrasi DO dari limbah *diffuse source* pastinya akan memengaruhi konsentrasi DO pada sungai itu sendiri. Penambahan DO tanpa adanya penambahan

konsentrasi parameter lain seperti BOD, COD, atau TSS akan membuat konsentrasi DO semakin tinggi tanpa adanya penambahan penggunaan DO di dalam air, dan juga sebaliknya jika dilakukan pengurangan DO dari air limbah.

Tabel 8 Hasil analisis sensitivitas variabel *input* sungai terhadap konsentrasi DO

No	Parameter	SI	SI Level
1	Konsentrasi DO <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	6,91	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
2	Konsentrasi DO <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	6,78	IV (<i>Highly Sensitive</i>)
3	Debit pencemar <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,22	III (<i>Sensitive</i>)
4	Konsentrasi TSS <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,21	III (<i>Sensitive</i>)
5	Debit pencemar <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,21	III (<i>Sensitive</i>)
6	Konsentrasi TSS <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,21	III (<i>Sensitive</i>)
7	Konsentrasi BOD <i>Diffuse Source</i> dinaikkan 5%	0,05	II (<i>Weak Sensensitive</i>)
8	Konsentrasi BOD <i>Diffuse Source</i> diturunkan 5%	0,05	II (<i>Weak Sensensitive</i>)

Perubahan *oxygen temperature correction* dengan diturunkan 5% juga berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai dengan sensitivitas level IV yang berarti sangat sensitif. Sementara perubahan *oxygen temperature correction* dengan dinaikkan 5% juga berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai, dengan SI level adalah level III, yang berarti sensitif. *Oxygen temperature correction* adalah faktor perubahan laju reaksi dari konsentrasi DO yang disebabkan oleh temperatur air. Hal tersebut mengakibatkan perubahan nilai *temperature correction* yang mana memperhitungkan pengaruh suhu terhadap konsentrasi DO sungai. *Oxygen temperature correction* pada permodelan QUAL2K akan memengaruhi laju reaksi yang disebabkan oleh suhu. Berdasarkan persamaan tersebut, nilai *oxygen temperature correction* akan berbanding lurus dengan laju reaksi yang disebabkan oleh temperatur (Chapra, 2008).

Pelebaran dasar sungai sebesar 5% juga berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai dengan sensitivitas level III yang berarti sensitif. Pelebaran sungai berpengaruh terhadap dimensi sungai. Semakin lebar dasar sungai, maka akan semakin besar juga *cross-sectional area* pada sungai tersebut, yang dapat menurunkan kecepatan aliran pada air sungai yang mana memiliki konsekuensi pada penurunan aerasi sungai (Pelletier dan Chapra, 2008). Pada studi ini, digunakan persamaan aerasi *O'Connor-Dobbins* dimana kecepatan aliran sungai (U) yang semakin kecil akan mengurangi terjadinya aerasi (k) pada air sungai, sehingga akan menurunkan konsentrasi DO air sungai tersebut. Perubahan nilai koefisien Manning juga berpengaruh terhadap konsentrasi DO sungai dengan sensitivitas level III yang berarti sensitif. Pada QUAL2K, koefisien Manning dimanfaatkan untuk menentukan kecepatan aliran dan ke dalam aliran tiap segmen [20]. Maka dari itu, peningkatan atau penurunan Manning akan memengaruhi kecepatan aliran sungai, yang kemudian akan memengaruhi aerasi yang terjadi pada air sungai. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, dengan adanya perubahan terjadinya aerasi pada air sungai, nilai DO nya juga akan berubah dengan cukup signifikan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis sensitivitas perubahan parameter dan variabel *input* terhadap konsentrasi BOD, TSS, dan DO, perubahan konsentrasi DO pada *diffuse source* merupakan yang paling sensitif terhadap konsentrasi BOD, TSS dan DO. Hal tersebut dapat terjadi karena konsentrasi DO merupakan salah satu parameter kualitas air utama yang dapat memengaruhi kandungan organik baik pada fase terlarut dan tersuspensi pada air yang mana tergambar pada perubahan konsentrasi BOD dan TSS yang signifikan. Oleh karena

itu, dibutuhkan penentuan dan perhitungan konsentrasi DO dari pencemar yang baik dan teliti karena jika terdapat galat besar pada *input* konsentrasi DO di *diffuse source* dapat mengakibatkan hasil simulasi konsentrasi BOD, TSS, dan DO yang cukup tidak akurat. Berdasarkan temuan tersebut, perlu dikaji lebih lanjut terkait rentang *input* konsentrasi pencemar diffuse source yang berasal dari limbah domestik terutama *greywater* untuk memastikan bahwa nilai yang di-*input* sudah tepat dan relevan dengan kondisi lapangan. Kajian tersebut dapat saja meliputi analisis dampak tingkat ekonomi, waktu pengambilan sampel, lokasi geografis, musim terhadap variabilitas konsentrasi BOD, TSS dan DO pada *greywater*.

Studi ini juga mengidentifikasi temperatur air sebagai salah satu parameter sungai yang perlu diperhatikan karena faktor koreksi temperatur untuk BOD dan DO merupakan parameter yang cukup sensitif terhadap konsentrasi BOD, dan terutama DO. Penentuan suhu dan *temperature correction* yang kurang tepat dapat menyebabkan hasil pemodelan kualitas BOD dan DO menjadi kurang akurat. Nilai faktor koreksi temperatur yang digunakan pada pemodelan ini merupakan nilai default dari QUAL2K, yang mana nilainya bisa jadi berbeda dengan kondisi di Indonesia, ataupun tempat lainnya. Maka dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai nilai koreksi temperatur yang relevan dengan kondisi di Indonesia. Nilai lebar dan koefisien manning juga teridentifikasi memengaruhi konsentrasi DO secara signifikan. Hal ini berimplikasi pada diperlukannya identifikasi dimensi, jenis aliran, dan kualitas sungai yang detil untuk mendapatkan koefisien Manning dan lebar saluran secara tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Lestari A. D. N., Sugiharto E., & Siswanta D. (2013). Aplikasi Model Qual2kw Untuk Menentukan Strategi Penanggulangan Pencemaran Air Sungai Gajahwong Yang Disebabkan Oleh Bahan Organik. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 20(3), 284-293.
- Utami A. W., Purwaningrum P., & Hendrawan, D. I. (2020). Analisis Kapasitas Beban Polutan Ruas Hilir Sungai Citarum Menggunakan Qual2kw. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(2), 31-48.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (2019). Data Curah Hujan Stasiun Geofisika Kelas I Bandung, data online.
- Triane D., & Suharyanto (2015). Water Quality Modeling Using QUAL2K (Case Study: CiliwungWatershed). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(2), 190-200.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bandung (2019). Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (IKPLHD) 2019.
- Pelletier G., & Chapra S.C. (2008). *QUAL2KW Theory and Documentation*. 5,1 ed. Washington.
- Ritchie H., & Roser M.(2017). Water Use and Stress [online]. available: 'https://ourworldindata.org/water-use-stress'
- Indriatmoko, R. H., Wahjono, H. D., Yudo, S., & Rahardjo, P. N.(2004). Evaluasi Lingkungan Air Tanah Di DAS Citarum Hulu, Jakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(2), 82-94.
- Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Tsuchihashi, R., & Stensel, H. D. (2013). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Professional
- Hafiza N., Abdillah A., Islami B., & Priadi C.R.(2019). Preliminary Analysis of Blackwater and Greywater Charesteristics in the Jakarta Greater Region Area. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*, 366(012029).

- 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.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (2021). Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Permen LHK Nomor 5 Tahun 2021.
- Chen Q.S., Xie X H., Dua Q.Y., & Liu, Y. (2018). Parameters sensitivity analysis of DO in water quality model of QUAL2K, IOP Conf. IOP Conference Series: Earth Environmental Science,191(012030).
- Chapra S. C.(2008). *Surface Water-Quality Modeling*. Long Grove: Waveland Press, Inc.
- Yoon S. W., Chung S. W., Oh D. G., & Lee J. W., J. (2009). Monitoring of Non-Point Source Pollutants Load From A Mixed Forest Land Use. *Journal Of Environmental Science*, 22(6), 801-805.
- Soemarto (1995). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Gramedia.
- U.S. Geological Survei (2019). Digital Elevation Model [online]. Available: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- United Nations Environmental Programme (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment", United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Atima W. (2015). BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah . *Jurnal Biology Science & Education*, (1), 3-93.
- Zuraya (2019). 82 Persen Sungai di Indonesia Tercemar dan Kritis, Republika.