

SIMULASI KUALITAS AIR SUNGAI X MENGGUNAKAN MODEL QUAL2Kw

TEDDY TEDJAKUSUMA^{1*}, FALIHA ALYA MAULIDA¹, SYARIF HIDAYAT¹

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl Ganesha 10 Bandung 40132

*Email: tedjakusumateddy@gmail.com

ABSTRAK

Beban pencemar khususnya materi organik di sungai terus meningkat sebagai akibat dari pembuangan limbah cair. Dari penelitian ini ditemukan bahwa seluruh sungai di DKI Jakarta masuk ke dalam kategori tercemar berat. Sungai Ciliwung dijadikan objek penelitian berdasarkan pembobotan yang dilakukan. Kalibrasi model pada berbagai parameter kinetik model dilakukan untuk mendapatkan kecocokan antara model dan data di lapangan. Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui parameter kinetik model mana yang paling memengaruhi hasil pemodelan. Untuk BOD parameter yang paling berpengaruh adalah CBOD hydrolysis rate dan detritus dissolution rate, sedangkan untuk DO parameter paling berpengaruh adalah CBOD oxidation rate. Kualitas air hanya memenuhi baku mutu Kelas 4 untuk parameter DO pada seluruh skenario, sedangkan pada hulu memenuhi baku mutu Kelas 3. Kualitas air hanya memenuhi baku mutu Kelas 4 untuk parameter BOD pada skenario 1, 3, dan 4, sedangkan pada hulu memenuhi baku mutu Kelas 3. Kualitas air memenuhi baku mutu Kelas 3 di seluruh titik untuk skenario 2. Beban pencemaran BOD aktual untuk seluruh skenario lebih tinggi dari pada beban pencemaran BOD maksimum. Berdasarkan simulasi kualitas air pada skenario 3 dan 4, dapat disimpulkan bahwa sumber domestik memberikan pengaruh yang signifikan dalam hal beban pencemarannya terhadap konsentrasi BOD dan DO di dalam air.

Kata kunci: analisis sensitivitas, beban pencemar, indeks pencemaran, limbah domestik, QUAL2Kw.

ABSTRACT

Pollution load especially organic matter in river continue to increase as a result of liquid waste disposal. From this research it is found that all rivers in DKI Jakarta can be categorized as heavily polluted. The Ciliwung River is decided to be the object of study based on weighting method. Model calibration on several model kinetic parameters was done to obtain best fit between field data and simulation results. Sensitivity analysis was done to find which mode kinetic parameter affect the model results the most. For BOD the most affecting parameter is CBOD hydrolysis rate and detritus dissolution rates, while for DO the most affecting parameter is the fast CBOD Oxidation Rate. Water quality only meets class 4 standard for BOD parameter in scenario 1, 3, and 4, while in the upstream meets class 3. Water quality meets class 3 quality standards at all points for scenario 2. Based on the water quality simulation on scenarios 3 and 4, it can be concluded domestic sources give the most significant effect in respect of pollution load to the concentration of BOD and DO in water.

Keywords: sensitivity analysis, pollutant load, pollution index, domestic waste, QUAL2Kw.

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan sumber daya air yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Keberadaannya perlu dimanfaatkan dan dijaga sebaik-baiknya agar kelestariannya tetap terjaga. Namun, dengan semakin beragamnya aktivitas masyarakat yang dilakukan di sekitar sungai, baik aktivitas rumah tangga, industri, maupun pertanian, terdapat ancaman pembuangan limbah cair ke sungai tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan beban pencemar terutama materi organik di sungai terus meningkat dari waktu ke waktu.

Oleh karena itu, diperlukan adanya upaya untuk terus-menerus memantau perubahan kualitas air sungai akibat aktivitas manusia agar jangan sampai melebihi baku mutu yang ditetapkan. Pendekatan yang dapat digunakan yakni dengan memperkirakan dampak dari aktivitas manusia terhadap kualitas air sungai dengan membuat simulasi kualitas air menggunakan model matematika yang mampu merepresentasikan kondisi real yang dapat terjadi dalam berbagai skenario. Dengan demikian, dapat ditentukan strategi yang tepat untuk menangani masalah pencemaran di sungai.

Tujuan dari penelitian ini adalah: Menentukan indeks pencemaran dari sungai-sungai di Provinsi DKI Jakarta; menentukan parameter kinetik model yang paling memengaruhi hasil pemodelan; menentukan hasil simulasi kualitas air pada berbagai skenario dibandingkan dengan baku mutu; menentukan beban pencemaran BOD aktual dan beban pencemaran BOD maksimum berdasarkan hasil pemodelan; dan memberikan rekomendasi alternatif pengelolaan air limbah domestik yang dapat diterapkan.

2. METODE

2.1 Alat Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi literatur yaitu tahap pemahaman mengenai penentuan status mutu air sungai menggunakan metode indeks pencemaran dan simulasi kualitas air sungai menggunakan model QUAL2Kw. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang meliputi data kualitas air sungai, data hidrolik sungai, serta data pendukung lainnya seperti peta daerah aliran sungai (DAS), data meteorologi, dan data mengenai sumber pencemar untuk keperluan inventarisasi. Dalam penelitian ini, sebelum melakukan simulasi terkait kualitas air sungai, terlebih dahulu ditentukan satu sungai yang akan menjadi objek penelitian diantara sungai-sungai yang terdapat di wilayah DKI Jakarta menggunakan metode pembobotan dengan mempertimbangkan beberapa kriteria diantaranya ketersediaan data, kualitas air sungai berdasarkan perhitungan indeks pencemaran, dan fenomena pencemaran yang sedang atau pernah terjadi di sungai dan dampaknya kepada masyarakat. Sungai dengan total skor terbesar akan terpilih untuk dimodelkan dalam penelitian ini.

Prosedur lengkap untuk menghitung indeks pencemaran terdapat dalam Kepmen LH No. 115 Tahun 2003 seperti ditunjukkan pada persamaan 1.

$$PI_j = \sqrt{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)^2_M + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)^2_R} \quad (1)$$

Keterangan:

- PI_j = Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij}
- C_i = konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai

- L_{ij} = konsentrasi parameter kualitas air sesuai baku mutu peruntukkan air (j)
- M = Maksimum
- R = Rerata

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan hasil evaluasi terhadap nilai PI sebagai berikut.

- $0 \leq PI_j \leq 1,0$: memenuhi baku mutu (kondisi baik)
- $1,0 < PI_j \leq 5,0$: cemar ringan
- $5,0 < PI_j \leq 10$: cemar sedang
- $PI_j > 10$: cemar berat

Langkah pertama dalam melakukan pemodelan yakni membagi sungai menjadi ruas-ruas (*reach*) tertentu, kemudian memasukkan data yang dibutuhkan ke dalam *worksheet* yang merupakan input untuk model QUAL2Kw. Data yang wajib dimasukkan meliputi data klimatologi (temperatur udara, tutupan awan, dan kecepatan angin), data hidrologi (debit dan kecepatan aliran sungai), dimensi sungai (lebar, kedalaman, dan *slope* sungai), serta data kualitas air sungai di hulu (*headwater*) maupun di setiap ruas jika ada. Dalam penelitian ini, parameter kualitas air yang dianalisis meliputi parameter organik yakni oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Pada simulasi, data berupa beban pencemaran tambahan dari *point source* maupun *non-point (diffuse) source* dapat dimasukkan ke dalam model. Dalam penelitian ini, tidak tersedia cukup data untuk *point source*, sehingga sumber pencemar yang digunakan dalam analisis hanya berupa *diffuse source*.

Setelah input data, tahap selanjutnya adalah menentukan parameter dan variabel yang akan digunakan beserta nilai-nilai yang diasumsikan untuk proses kalibrasi. Penentuan parameter dan asumsi-asumsi ini dilakukan melalui studi literatur serta perbandingan dengan data pengukuran lapangan. Kemudian, kalibrasi dilakukan dengan *trial and error* pada *worksheet 'rates'* dan *'reach rates'*. Model dijalankan berulang-ulang sehingga diperoleh hasil yang mendekati kondisi sebenarnya. Setelah didapatkan model yang dianggap sesuai, dilakukan validasi dengan menghitung ketidakcocokan atau error pada model menggunakan metode *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) yang ditunjukkan pada persamaan 2. Model dapat diterima apabila RMSPE kurang dari 20%.

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

Keterangan:

- St = nilai simulasi pada saat t
- At = nilai aktual pada saat t
- N = frekuensi observasi (t=1,2,..n)

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengidentifikasi parameter kualitas air yang memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil pemodelan. Analisis dilakukan terhadap seluruh parameter kualitas air yang dianalisis dengan menetapkan seluruh parameter bernilai konstan kecuali satu parameter variabel yang ditingkatkan dan diturunkan sebanyak 20% (Kannel dkk., 2007). Tahap terakhir yaitu simulasi menggunakan model yang telah dikalibrasi dan divalidasi sebelumnya. Tabel 1 menyajikan skenario-skenario yang akan disimulasikan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Skenario dalam simulasi kualitas air

Skenario	Headwater	Point Source	Diffuse Source
1	Kondisi eksisting	Diasumsikan tidak ada.	Debit air limbah berdasarkan perhitungan, konsentrasi diasumsikan sesuai baku mutu air limbah.
2	Kondisi eksisting	Diasumsikan tidak ada.	Diasumsikan tidak ada.
3a dan 3b	Kondisi eksisting	Diasumsikan tidak ada.	Debit air limbah domestik menggunakan hasil proyeksi 10 tahun (skenario 3a) dan 15 tahun (skenario 3b). Debit air limbah dari sumber lain diasumsikan sesuai kondisi eksisting.
4a, 4b, 4c, dan 4d	Kondisi Eksisting	Diasumsikan tidak ada.	Debit air limbah domestik dikurangi sebesar 25% (skenario 4a), 50% (skenario 4b), 75% (skenario 4c), dan 90% (skenario 4d).

Setelah melakukan simulasi, dilakukan perhitungan beban pencemaran BOD aktual dan beban pencemaran BOD maksimum pada persamaan 3.

$$BPA=Q \times C_M \quad (3)$$

Keterangan:

- BPA: beban pencemar aktual (kg/hari)
- Q: debit sungai (m³/detik)
- CM: konsentrasi aktual (mg/l)

Beban pencemar maksimum dihitung dengan mengalikan debit di setiap segmen dengan nilai baku mutu sesuai peruntukannya sebagai berikut.

$$BPM=Q \times C_{BM} \quad (4)$$

Keterangan:

- BPM: beban pencemar maksimum (kg/hari)
- Q: debit sungai (m³/detik)
- CBM: konsentrasi baku mutu (mg/l)

Konsentrasi baku mutu BOD yang digunakan sesuai dengan kriteria mutu air Kelas I yang terdapat pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yakni 2 mg/L.

Apabila hasil perhitungan beban pencemaran aktual nilainya lebih besar dari beban pencemaran maksimum, maka dapat disimpulkan beban pencemaran yang diterima sungai sudah melebihi batas yang diperbolehkan. Oleh karena itu, beban pencemaran aktual perlu diturunkan agar memenuhi batas maksimum. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

$$\% \text{ penurunan beban pencemaran} = \frac{BPA-BPM}{BPA} \times 100\% \quad (5)$$

Berdasarkan hasil simulasi kualitas air pada skenario 3 dan 4 akan didapatkan informasi mengenai pengaruh limbah domestik terhadap kualitas air sungai. Apabila hasil pemodelan menunjukkan adanya pengaruh limbah domestik terhadap kualitas air sungai, maka dapat diberikan rekomendasi pengelolaan limbah domestik yang dapat diterapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan ini, diketahui bahwa status pencemaran dari seluruh sungai di DKI Jakarta masuk ke dalam kategori tercemar berat. Tabel 2 menyajikan rekapitulasi perhitungan indeks pencemaran untuk sungai-sungai di DKI Jakarta.

Tabel 2. Indeks pencemaran sungai di Provinsi DKI Jakarta

No.	Nama Sungai	Jumlah Titik Sampel	Indeks Pencemaran dan Status Pencemaran Sungai (Data Tahun 2017)				Status
			Periode 1	Periode 2	Periode 3	Rata-rata	
1.	Mookervart	2	16,7	26,6	19,3	20,9	Cemar berat
2.	Angke	2	16,6	12,9	18,4	19,0	Cemar berat
3.	Pesanggrahan	2	14,2	7,9	15,2	12,4	Cemar berat
4.	Grogol	3	22	16	14,1	17,4	Cemar berat
5.	Krukut	2	18,3	13,8	12,8	14,9	Cemar berat
6.	Kali Baru Barat		Tidak ada data				
7.	Ciliwung	13	12,2	12,1	13,4	12,6	Cemar berat
8.	Kali Baru Timur		Tidak ada data				
9.	Cipinang	3	14,1	13,1	18,3	15,2	Cemar berat
10.	Sunter	3	19,1	20,2	22,9	20,7	Cemar berat
11.	Buaran	1	15,7	15,8	7,3	12,9	Cemar berat
12.	Jati Kramat		Tidak ada data				
13.	Cakung	3	17	29,7	19,5	22,1	Cemar berat

Selanjutnya, dilakukan pembobotan untuk masing-masing sungai untuk mendapatkan sungai yang akan dimodelkan sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Faktor-faktor yang dipertimbangkan adalah: ketersediaan data, kualitas air sungai, serta kasus pencemaran sungai dan dampaknya terhadap masyarakat. Untuk faktor ketersediaan data, skor terbesar (3) diberikan kepada sungai yang memiliki data lengkap, skor menengah (2) diberikan kepada sungai yang memiliki data cukup, dan skor terendah (1) diberikan pada sungai yang memiliki data kurang/tidak lengkap. Sedangkan untuk faktor kualitas sungai, skor terbesar (3) untuk sungai yang tercemar berat, skor menengah (2) untuk sungai yang tercemar sedang, dan skor terendah (1) untuk sungai yang tercemar ringan. Terakhir untuk faktor kasus pencemaran dan dampaknya kepada masyarakat, skor terbesar (3) untuk sungai yang memiliki kasus pencemaran yang parah/berat dan dampak yang serius, skor menengah (2) untuk sungai yang memiliki kasus pencemaran dan dampak sedang, sedang skor terendah (1) untuk sungai yang memiliki kasus pencemaran dan dampak ringan. Dengan menggunakan kriteria dan pembobotan tersebut, didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Dari hasil pada Tabel 3, Sungai Ciliwung dianggap memenuhi kriteria sungai yang akan menjadi objek penelitian ini dengan total skor 9. Pada penelitian ini, yang menjadi fokus adalah DAS Ciliwung yang terletak di Provinsi DKI Jakarta yakni DAS Ciliwung hilir tepatnya pada segmen 5 (Kelapa Dua-Pintu Air Manggarai). Untuk keperluan pemodelan, input data menggunakan patokan segmentasi sungai dengan mempertimbangkan lokasi titik pengambilan sampel kualitas air di sepanjang aliran sungai seperti ditunjukkan pada Gambar1.

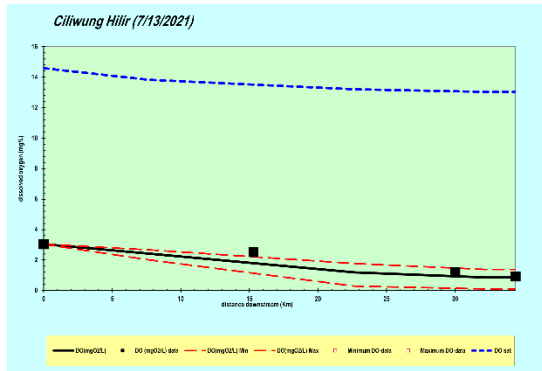
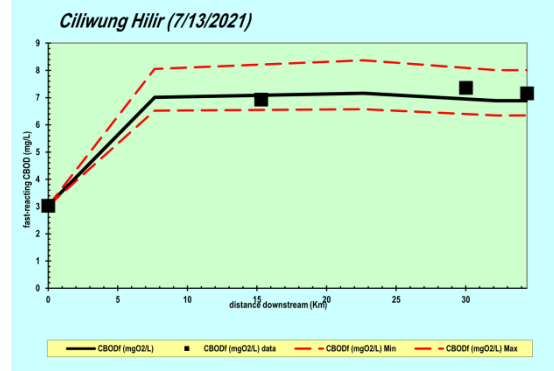
Tabel 3 Pembobotan sungai

No.	Nama Sungai	Kriteria			Total Skor
		Ketersediaan Data	Kualitas Air	Kasus Pencemaran	
1.	Mookervart	2	3	3	8
2.	Angke	3	3	1	7
3.	Pesanggrahan	2	3	1	6
4.	Grogol	2	3	2	7
5.	Krukut	2	3	3	8
6.	Kali Baru Barat	1	3	1	5
7.	Ciliwung	3	3	3	9
8.	Kali Baru Timur	1	3	1	5
9.	Cipinang	2	3	2	7
10.	Sunter	3	3	2	8
11.	Buaran	2	3	1	6
12.	Jati Kramat	1	3	1	5
13.	Cakung	3	3	2	8

Dalam penelitian ini, perhitungan debit air limbah dilakukan sebagai input untuk *diffuse source* pada pemodelan menggunakan QUAL2Kw. Sumber pencemar yang dimasukkan dalam penelitian ini diantaranya industri skala kecil, rumah sakit, dan hotel. Limbah dari sektor pertanian dan peternakan tidak dimasukkan ke dalam model dikarenakan jumlahnya yang tidak signifikan di DAS Ciliwung segmen 5 serta keterbatasan data yang ada.

**Gambar 1. Titik pengambilan sampel**

Di dalam model, titik 1 dianggap sebagai hulu (*headwater*), kemudian model dijalankan untuk mengetahui dispersi pencemar hingga ke segmen terakhir. Kalibrasi model parameter kualitas air sungai dilakukan dengan melakukan *trial and error* pada berbagai parameter kinetik model dan koefisien di *worksheet 'Rates'* dan *'Reach Rates'*. Parameter kinetik yang digunakan pada model didapatkan melalui asumsi berdasarkan kajian terhadap berbagai rekomendasi pada dokumen teori dan user manual dari QUAL2Kw serta studi literatur. Data yang digunakan untuk proses kalibrasi model adalah data pengukuran kualitas air pada tahun 2015. Gambar 2 dan Gambar 3 merupakan hasil kalibrasi untuk parameter BOD dan DO.


Gambar 2. Hasil kalibrasi parameter DO

Gambar 3. Hasil kalibrasi parameter BOD

Nilai RMSPE yang diperoleh untuk kalibrasi model BOD yakni sebesar 2,45% dan untuk model DO sebesar 3,84%. Berdasarkan nilai RMSPE tersebut, masih terdapat ketidakcocokan (*error*) pada model. Berbagai ketidakcocokan pada model ini tidak dapat dihindari, mengingat sampel yang diambil pada setiap titik pengamatan hanya satu, sementara model memprediksikan rata-rata harian. Menurut Kannel dkk. (2007), akurasi yang lebih tinggi dapat diperoleh jika terdapat data lebih lengkap terkait variabel input, namun karena data pengamatan kualitas air terbatas, maka ketidakcocokan pada model ini dianggap dapat diterima dan sudah dapat digunakan untuk simulasi.

Selanjutnya, untuk mengetahui parameter kinetik model yang memberikan pengaruh besar terhadap hasil pemodelan, dilakukan analisis sensitivitas terhadap model. Untuk parameter BOD, analisis dilakukan terhadap parameter *model denitrification rate*, *slow CBOD hydrolysis rate*, *fast CBOD oxidation rate*, dan *detritus dissolution rate*. Untuk parameter DO, dilakukan analisis terhadap parameter *model nitrification rate*, *oxygen inhibition CBOD oxidation*, dan *fast CBOD oxidation rate*. Hasil analisis sensitivitas untuk parameter BOD dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis sensitivitas parameter BOD

Parameter Model	Segmen	Perubahan BOD (%)	
		+ 20% parameter	- 20% parameter
<i>Denitrification rate</i>	1	-0,87	-0,87
	2	-0,97	-0,97
	3	-0,94	-0,94
<i>Slow CBOD hydrolysis rate</i>	1	-0,17	-1,56
	2	-0,19	-1,74
	3	-0,19	-1,68
<i>Fast CBOD oxidation rate</i>	1	-0,96	-0,77
	2	-1,15	-0,78
	3	-1,14	-0,72
<i>Detritus dissolution rate</i>	1	-0,17	-1,56
	2	-0,19	-1,74
	3	-0,19	-1,68

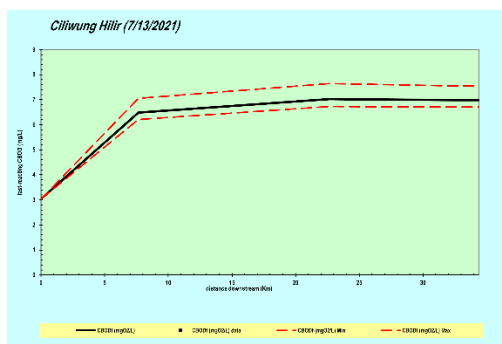
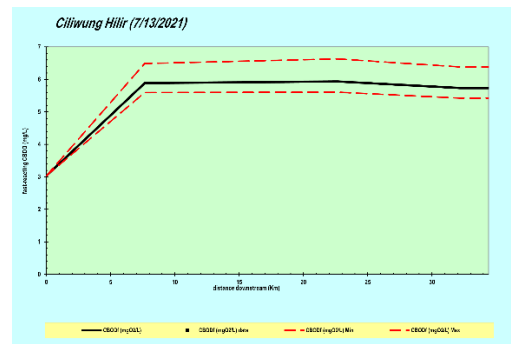
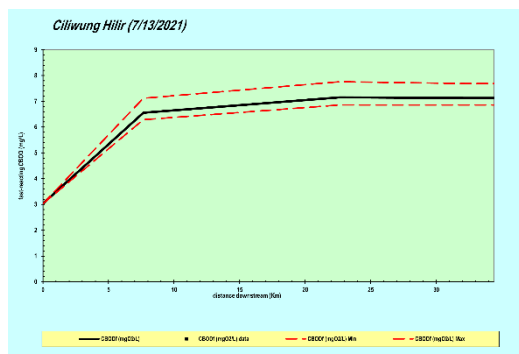
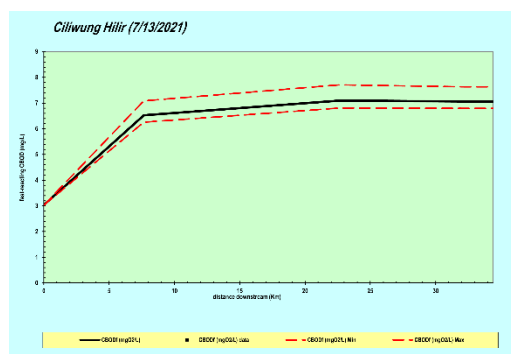
Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa model sangat sensitif terhadap parameter slow CBOD hydrolysis rate dan detritus dissolution rate, ditandai dengan perubahan nilai BOD yang signifikan saat nilai kedua parameter tersebut di naik-turunkan. Hasil analisis sensitivitas untuk parameter DO dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis sensitivitas parameter DO

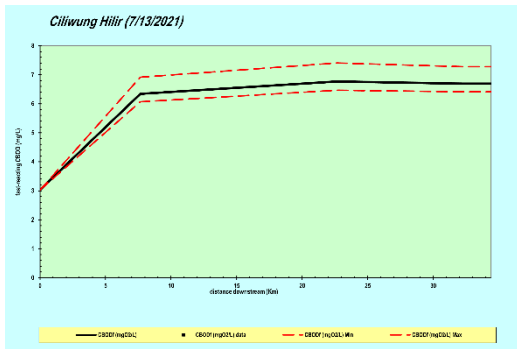
Parameter Model	Segmen	Perubahan DO (%)	
		+ 20% parameter	- 20% parameter
<i>Nitrification rate</i>	1	0,03	0,03
	2	0,01	0,01
	3	0,03	0,03
<i>Oxygen inhibition CBOD oxidation</i>	1	-0,18	-1,61
	2	-0,18	0,13
	3	-0,14	0,23
<i>Fast CBOD oxidation rate</i>	1	-0,59	-1,52
	2	-0,33	0,36
	3	-0,22	0,43

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa model sangat sensitif terhadap parameter *fast CBOD oxidation rate*, ditandai dengan perubahan nilai DO yang signifikan saat nilai parameter *fast CBOD oxidation rate* di naik-turunkan.

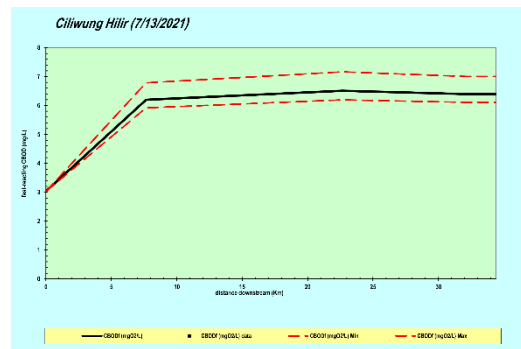
Gambar 4 sampai dengan Gambar 11 merupakan hasil simulasi untuk parameter BOD pada masing-masing skenario.

**Gambar 4. Hasil simulasi BOD skenario 1****Gambar 5. Hasil simulasi BOD skenario 2****Gambar 6. Hasil simulasi BOD skenario 3a****Gambar 7. Hasil simulasi BOD skenario 3b**

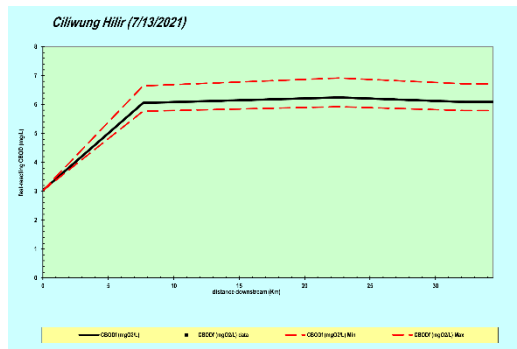
Simulasi Kualitas Air Sungai X Menggunakan Model QUAL2Kw



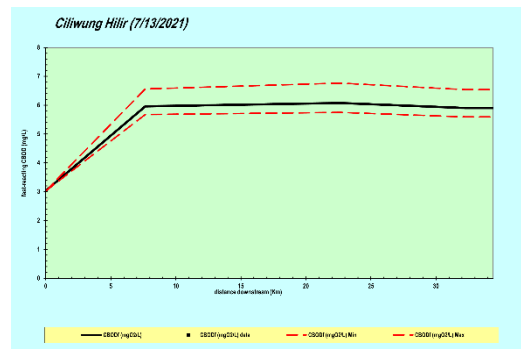
Gambar 8. Hasil simulasi BOD skenario 4a



Gambar 9. Hasil simulasi BOD skenario 4b

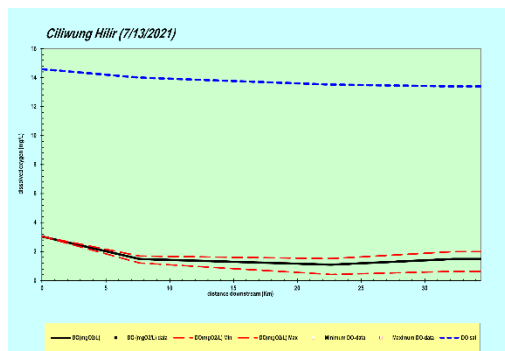


Gambar 10. Hasil simulasi BOD skenario 4c

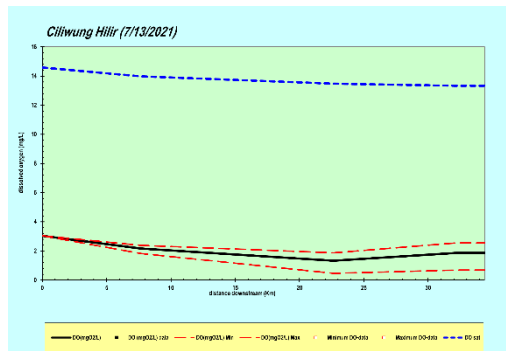


Gambar 11. Hasil simulasi BOD skenario 4d

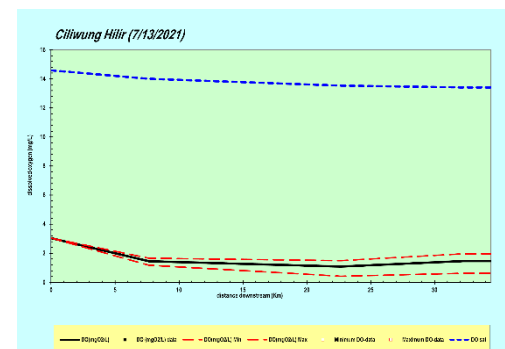
Gambar 12 sampai dengan Gambar 19 merupakan hasil simulasi untuk parameter DO pada masing-masing skenario.



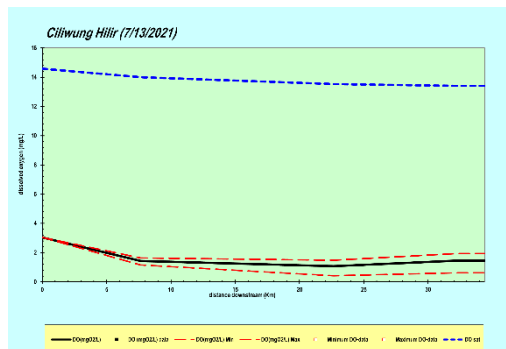
Gambar 12. Hasil simulasi DO skenario 1



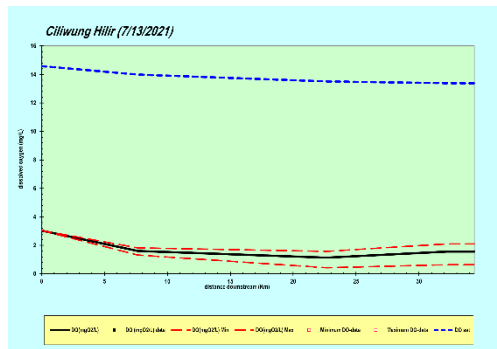
Gambar 13. Hasil simulasi DO skenario 2



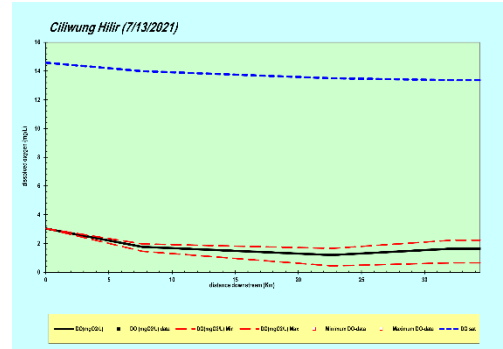
Gambar 14. Hasil simulasi DO skenario 3a



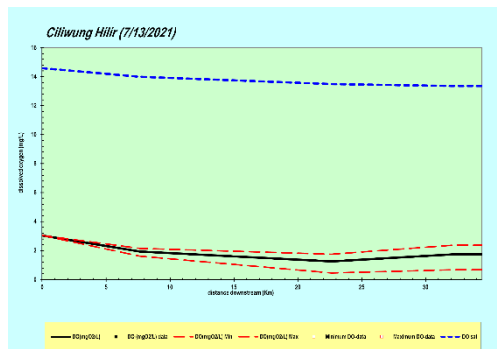
Gambar 15. Hasil simulasi DO skenario 3b



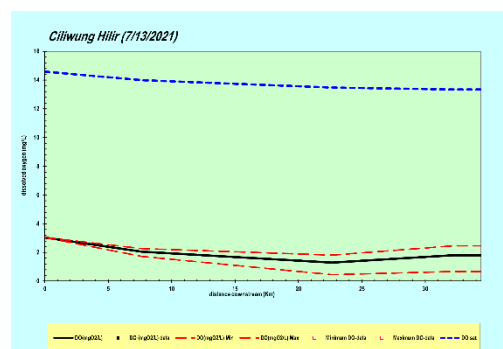
Gambar 16. Hasil simulasi DO skenario 4a



Gambar 17. Hasil simulasi DO skenario 4b



Gambar 18. Hasil simulasi DO skenario 4c



Gambar 19. Hasil simulasi DO skenario 4d

Nilai konsentrasi BOD dan debit hasil pemodelan kemudian digunakan untuk menghitung beban pencemaran BOD aktual dan beban pencemaran BOD maksimum. Dalam hal ini, nilai BOD yang digunakan adalah nilai hasil pemodelan, dan tidak dikoreksi terhadap nilai BOD hasil sampling. Ini disebabkan model sudah dikalibrasi terhadap nilai BOD aktual (hasil sampling) dengan menyesuaikan nilai beberapa parameter, sampai nilai BOD model mendekati nilai BOD aktual (hasil sampling). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 13.

Tabel 6. Hasil perhitungan beban pencemaran skenario 1

Titik	x (km)	BP Aktual (kg/hari)	BP Maksimum (kg/hari)	Penurunan BP (%)
Hulu	0	10393,14	6860,16	33,99
A	7,65	22317,78	6884,91	69,15
B	22,65	24269,18	6908,70	71,53
C	32,2	24153,46	6915,82	71,37
D	34,4	24153,46	6915,82	71,37

Tabel 7. Hasil perhitungan beban pencemaran skenario 2

Titik	x (km)	BP Aktual (kg/hari)	BP Maksimum (kg/hari)	Penurunan BP (%)
Hulu	0	10393,14	6860,16	33,99
A	7,65	20191,61	6860,16	66,02
B	22,65	20359,60	6860,16	66,31
C	32,2	19681,24	6860,16	65,14
D	34,4	19681,24	6860,16	65,14

Tabel 8. Hasil perhitungan beban pencemaran aktual skenario 3

Titik	x (km)	Beban Pencemaran (kg/hari)	
		3a	3b
Hulu (<i>headwater</i>)	0	10393,14	10393,14
A	7,65	23069,55	23215,30
B	22,65	25825,37	26102,95
C	32,2	25928,66	26245,97
D	34,4	25928,66	26245,97

Tabel 9. Hasil perhitungan beban pencemaran maksimum skenario 3

Titik	x (km)	Beban Pencemaran (kg/hari)	
		3a	3b
Hulu (<i>headwater</i>)	0	6860,16	6860,16
A	7,65	7073,05	7083,81
B	22,65	7277,59	7298,69
C	32,2	7338,82	7363,01
D	34,4	7338,82	7363,01

Tabel 10. Hasil perhitungan persentase penurunan beban pencemar skenario 3

Titik	x (km)	Penurunan BP (%)	
		3a	3b
Hulu (<i>headwater</i>)	0	33,99	33,99
A	7,65	69,34	69,49
B	22,65	71,82	72,04
C	32,2	71,70	71,95
D	34,4	71,70	71,95

Tabel 11. Hasil perhitungan beban pencemaran aktual skenario 4

Titik	x (km)	Beban Pencemaran (kg/hari)			
		4a	4b	4c	4d
Hulu (<i>headwater</i>)	0	10393,14	10393,14	10393,14	10393,14
A	7,65	22227,60	21573,06	20919,39	20527,62
B	22,65	24223,23	22979,34	21738,70	20995,99
C	32,2	24097,27	22675,45	21257,42	20408,55
D	34,4	24097,27	22675,45	21257,42	20408,55

Tabel 12. Hasil perhitungan beban pencemaran maksimum skenario 4

Titik	x (km)	Beban Pencemaran (kg/hari)			
		4a	4b	4c	4d
Hulu (<i>headwater</i>)	0	6860,16	6860,16	6860,16	6860,16
A	7,65	7010,84	6962,41	6913,97	6884,91
B	22,65	7155,61	7060,64	6965,68	6908,70
C	32,2	7198,94	7090,05	6981,15	6915,82
D	34,4	7198,94	7090,05	6981,15	6915,82

Tabel 13. Hasil perhitungan persentase penurunan beban pencemar skenario 4

Titik	x (km)	Penurunan BP (%)			
		4a	4b	4c	4d
Hulu (<i>headwater</i>)	0	33,99	33,99	33,99	33,99
A	7,65	68,46	67,73	66,95	66,46
B	22,65	70,46	69,27	67,96	67,10
C	32,2	70,13	68,73	67,16	66,11
D	34,4	70,13	68,73	67,16	66,11

4. KESIMPULAN

Indeks pencemaran dari sungai-sungai diketahui bahwa status pencemaran dari seluruh sungai di DKI Jakarta masuk ke dalam kategori tercemar berat. Berdasarkan analisis sensitivitas yang telah dilakukan, parameter kinetik model yang paling memengaruhi hasil pemodelan untuk parameter BOD adalah *slow CBOD hydrolysis rate* dan *detritus dissolution rate*, sedangkan untuk parameter DO adalah *fast CBOD oxidation rate*. Hasil simulasi untuk parameter BOD pada skenario 1 menunjukkan bahwa kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4 (nilai BOD maksimum 12 mg/L) dan untuk titik A sedikit mendekati baku mutu air Kelas 3 (nilai BOD maksimum 6 mg/L). Pada skenario 2, kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 3. Pada skenario 3, kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4, dan pada titik A sedikit mendekati baku mutu air Kelas 3. Pada skenario 4, kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4, dan mendekati baku mutu air Kelas 3. Hasil simulasi untuk parameter DO pada skenario 1 menunjukkan kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4 dan untuk hulu memenuhi baku mutu air Kelas 3. Pada skenario 2, kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4 untuk titik A, B, C, dan D dan untuk hulu memenuhi baku mutu air Kelas 3. Pada skenario 3, kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4 untuk titik A, B, C, dan D dan untuk hulu memenuhi baku mutu air Kelas 3. Pada skenario 4, kualitas air sungai hanya memenuhi baku mutu air Kelas 4 untuk titik A, B, C, dan D dan untuk hulu memenuhi baku mutu air Kelas 3. Beban pencemaran BOD aktual pada seluruh skenario telah melebihi beban pencemaran BOD maksimum, atau dengan kata lain, beban pencemaran BOD yang masuk ke dalam sungai telah melebihi jumlah yang diperbolehkan. Oleh karena itu, dibutuhkan penurunan beban pencemaran BOD pada jumlah tertentu sehingga dapat memenuhi jumlah yang diperbolehkan. Persentase penurunan beban pencemaran BOD berkisar antara 30%-70%.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Aliffia & N. Karnaningroem, (2019), Simulation of pollution load capacity using QUAL2Kw model in Kali Surabaya River (Cangkir-Sepanjang segment), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 259.
- Budiman, Arif. (2010), Pemodelan Kualitas Air dengan Parameter BOD dan DO pada Sungai Ciliwung Segmen 2, JTL Vol. 5 No. 3 Juni 2010: 97-106.
- Camargo, Rodrigo (2010), Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia 22: 486-498.
- Chapra, S.C., Pelletier, G.J. & Tao, H., (2008), QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and User Manual, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan KLHK, (2017), Dokumen DTBP Citarum: Buku Kajian Daya Tampung Dan Alokasi Beban Pencemaran Sungai Citarum, Jakarta.
- F. Fitriana, D. Yudianto, & Y.C. Seo, 2025. Comparative Analysis of Water Quality Models for the Cibarani Irrigation Channel using WASP and QUAL2Kw. Journal of Environment and Sustainability.
- J. Darji & P. Lodha, 2025. QUAL2Kw – A Water Quality Modelling Tool for Rivers and Streams: A Review. International Journal on Science and Technology (IJSAT).
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

- Kannel, P.R., (2007), Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *Ecological Modelling* 202: 503-517.
- N. H. Mulla, (2026). River Water Quality Modeling Using Automated QUAL2Kw. *Hydraulic and Civil Engineering Technology IX*.
- P. A. Wardani & M. Mirwan, 2022. Analysis of Buduran River Water Quality Using QUAL2Kw as Raw Material for Siwalanpanji IPA. *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology (JEEST)*.
- Pelletier, Greg & Steve Chapra, (2008), QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1), Washington State Department of Ecology, Washington DC.
- Pelletier, Greg & Steve Chapra, (2008), QUAL2Kw user manual (version 5.1), Washington State Department of Ecology, Washington DC.
- Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi DKI Jakarta.
- R. Rahmi, N. Marlina & S. Rahmawati, 2022. River Water Quality Modeling Based on DO and BOD Parameters using QUAL2Kw Software (Case Study: Winongo River, Special Region of Yogyakarta). *International Conference on Sustainable Built Environment*.
- S.H. Betti & E. Nurhayati (2022), Water Modelling of Karang Mumus River Using QUAL2Kw Application. *The 2nd Conference of Sustainability and Resilience of Coastal Management*.
- Surat Keputusan Gubernur Kepala DKI Jakarta Nomor 582 Tahun 1995 tentang Penetapan Peruntukan Dan Baku Mutu Air Sungai/Badan Air di Jakarta.
- Syafi'i M. & Masduqi Ali, (2011), Aplikasi Model Simulasi Komputer QUAL2Kw pada Studi Pemodelan Kualitas Air Kali Surabaya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS, Surabaya.
- Yusuf, Iskandar A., (2009), Pemulihan Kualitas Air Sungai Ciliwung Menggunakan Model Kualitas Air, *JSDA Vol. 5 No. 2*.
- Zhang, Yali (2016), Simulating Water Quality of Wei River with QUAL2K Model, a Case Study of Hai River Basin in China. *MATEC Web of Conferences, ICIEA 2016*.