

Aplikasi Pemodelan Qual2kw Terhadap Kualitas Air Sungai Elo Dengan Parameter DO Dan TSS dari Hasil Kegiatan Pemandian Air Panas Candi Umbul Telomoyo

Fatirahma Pratiwi¹⁾, Ayu Utami^{2a)}, Herwin Lukito³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
JL. Padjajaran, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

^{a)}Corresponding author: ayu.utami@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Pemandian air panas Candi Umbul Telomoyo digunakan sebagai tempat rekreasi dan terapi. Kegiatan tersebut menghasilkan zat buang berupa air sisa pemandian yang dibuang langsung ke dalam badan Sungai Elo yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat mengakibatkan penurunan kualitas air sungai. Aplikasi pemodelan QUAL2Kw dilakukan untuk dapat mengetahui kandungan DO dan TSS di Sungai Elo sesuai dengan kondisi eksistingnya serta untuk mengetahui berapa banyak beban pencemaran yang dapat ditampung oleh badan sungai. Metode kuantitatif yang digunakan berupa pemodelan QUAL2Kw (segmentasi, kalibrasi model dan verifikasi model) dan perhitungan beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran. Metode kualitatif deskriptif untuk menganalisa hasil yang telah didapatkan. Nilai parameter DO dari hasil pemodelan berturut-turut 8,3 mg/L; 7,95 mg/L; 7,9 mg/L; dan 7,62 mg/L dan parameter TSS berturut-turut 4 mg/L; 5,8 mg/l; 5,1 mg/L; dan 4,6 mg/L. Daya tampung badan sungai dalam menerima beban pencemaran untuk nilai DO berturut-turut 497,664 kg/hari; 556,416 kg/hari; 604,8 kg/hari; 642,816 kg/hari dan untuk daya tampung TSS berturut-turut adalah 5.723,136 kg/hari; 0 kg/hari; 0 kg/hari; dan 0 kg/hari. Badan sungai masih dapat menerima beban pencemaran yang masuk untuk parameter DO, sedangkan badan sungai perlu pengelolaan lebih lanjut untuk parameter TSS karena daya tampung yang dapat diterima sungai terbatas.

Kata Kunci: Beban Pencemaran; Daya Tampung; Pemandian Air Panas; Pemodelan; QUAL2Kw.

ABSTRACT

Candi Umbul Telomoyo hot springs used for recreational and therapy. These activities produce waste in the form of used water which is discharged directly into the Elo River that can potentially decrease river water quality. The Qual2Kw modeling used to determine DO an TSS content in Elo River according to its existing condition then to find out how much pollutant loads that can still be handled by river water. Quantitative methods used are QUAL2Kw modeling (segmentation, model calibration and model verification) and calculation of pollution load and pollution load capacity. Descriptive qualitative method to analyze the results that have been obtained. The results of the modeling for the DO parameter values were 8.3 mg/L; 7.95 mg/L; 7.9 mg/L; and 7.62 mg/L and TSS parameters were 4 mg/L; 5.8 mg/L; 5.1 mg/L; and 4.6 mg/L. The capacity of river bodies to accept pollution loads for DO values is 497.664 kg/day; 556.416 kg/day; 604.8 kg/day; 642.816 kg/day and the capacity for TSS is 5,723.136 kg/day; 0 kg/day; 0 kg/day; and 0 kg/day. The river body can still accept the incoming pollution load for the DO parameter, while the river body needs further management for the TSS parameter because the capacity that the river can accept is limited.

Keywords: Hot Spring; Load Capacity; Modelling; Pollution Load; QUAL2Kw

PENDAHULUAN

Gunung Api Telomoyo memiliki ketinggian 1.895 m yang berada di bagian utara Gunungapi Merbabu (Ramadhan et al., 2014). Candi Umbul Telomoyo berada di Desa Kartoharjo, Kecamatan Grabag, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah yang berada pada ketinggian 555 – 655 mdpl. Candi Umbul Telomoyo menjadi salah satu WKP (Wilayah Kerja Panas Bumi) yang berada di Jawa Tengah dengan luasan WKP sebesar 36.050 Ha yang meliputi wilayah Kabupaten Semarang, Kabupaten

Magelang, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Temanggung, dan Kabupaten Salatiga yang saat ini seluruhnya masuk dalam tahap status eksplorasi.

Mata air panas yang ada di Candi Umbul Telomoyo terjadi karena adanya pengaruh dari aktivitas gunung api di komplek Gunung Telomoyo yang sampai saat ini masih menyimpan sisa panas di dalam dapur magmanya. Manifestasi panas bumi Candi Umbul Telomoyo dijadikan sebagai tempat rekreasi dan terapi pemandian air panas. Pemandian air panas Candi Umbul Telomoyo sumber panasnya berasal dari sisa aktivitas Gunung Telomoyo yang terdahulu. Kegiatan pemandian air panas Candi Umbul Telomoyo menghasilkan zat buang berupa air sisa pemandian yang dibuang langsung ke dalam badan Sungai Elo Hal tersebut apabila tidak dikelola dengan baik dapat mengakibatkan penurunan kualitas air sungai.

Penelitian dilakukan untuk dapat mengetahui kandungan DO dan TSS di Sungai Elo sesuai dengan kondisi eksistingnya serta untuk mengetahui berapa banyak beban pencemaran yang dapat ditampung oleh badan sungai. Salah satu sumber daya alam yang selalu dibutuhkan bagi lingkungan hidup organisme adalah air. Kualitas air sungai merupakan kondisi kualitatif yang diukur berdasarkan parameter tertentu dan dengan metode tertentu sesuai peraturan perundangan yang berlaku. Kualitas air sungai dapat dinyatakan dengan parameter fisika, kimia dan biologi yang menggambarkan kualitas air tersebut (Asdak, 1995). Baku mutu yang digunakan adalah PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sebagai acuan dalam penentuan beban pencemaran serta daya tampung beban pencemaran dengan kualitas air kelas II sesuai dengan peruntukkan sungai Elo sebagai irigasi.

Analisis dengan QUAL2Kw dilakukan bukan hanya sekedar mengutamakan komponen kinetik dari suatu pencemaran, tetapi komponen lain seperti data hidrolis seperti kecepatan aliran sungai dan debit sungai. Hal itu dilakukan untuk dapat menjelaskan serta merepresentasikan kondisi aktual di lapangan, sehingga kecepatan aliran sungai dan debit sungai sebaiknya dikalibrasikan (Bottino, dkk, 2011 dalam Triane, 2015). Model kualitas air yang digunakan bertujuan untuk menyederhanakan dan mengidealkan suatu mekanisme badan air yang sulit jika dilihat dari fenomena kimia, klimatologi, biologi, hidraulika, hidrologi, serta mekanisme proses perjalanan air yang ada dasarnya berperan sebagai media transport dalam melarutkan dan membawa zat yang terjadi secara simultan (Yusuf, 2004 dalam Hindriani et al., 2013).

METODE

Metode yang digunakan dalam penentuan daya tampung beban pencemaran adalah dengan menggunakan metode kualitatif dan metode kuantitatif. Metode kuantitatif berfokus pada angka numerik yang kemudian akan dianalisis hasilnya (Ahyar et al., 2020). Metode yang digunakan yaitu metode kuantitatif dan metode kualitatif. Pengambilan sampel dilakukan pada 25 Oktober 2021 yang kemudian sampel air yang telah diambil diuji di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan Dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta.

Tahapan dalam penelitian meliputi tahapan pengumpulan data primer dan data sekunder, pembuatan model Qual2Kw, dan perhitungan beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran sungai. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan *purposive sampling* yaitu dengan pengambilan data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil berupa data kualitas air sungai di 4 titik pengamatan berdasarkan segmentasi sungai yang telah disesuaikan dengan kondisi hidrolis dan lingkungan sekitar sungai. Data primer lainnya yang digunakan yaitu data hidrolis sungai, kecepatan aliran sungai, debit sungai, debit air sumber pencemar. Data primer dan lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Data sekunder yang dibutuhkan adalah data kondisi klimatologi sungai yang digunakan dalam penginputan data pada simulasi pemodelan. Data sekunder yang dibutuhkan adalah data tutupan awan, kecepatan angin, bayangan, *temperature dew point*, suhu udara. Mata air panas/hangat memiliki sifat dan karakteristiknya tersendiri, dengan mengetahui karakteristik dan sifat mata air panas/hangat dapat membantu mengidentifikasi jenis *reservoir* di bawah permukaan (Saptadji, 2001). Penentuan jenis

reservoir mata air panas dapat dilakukan dengan mengacu pada klasifikasi mata air panas berdasarkan entalpi yang dihasilkan menurut beberapa ahli yang tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Data Primer Kualitas Air Sungai dan Sumber Pencemar Parameter DO dan TSS

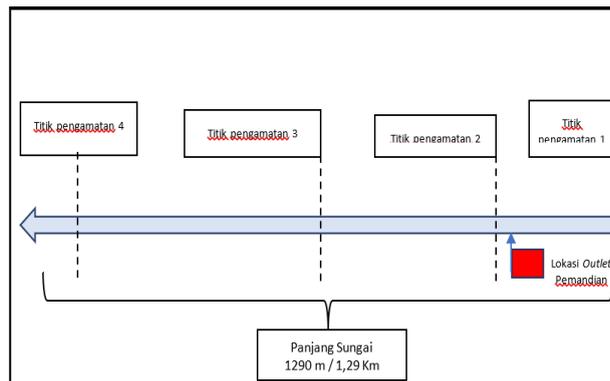
Parameter	Lokasi Titik Pengambilan				Sumber pencemar
	Headwater	SG1	SG2	Downstream	
DO (mg/l)	8,3	7,6	7,8	7,8	6,5
TSS (mg/l)	4	6	5	4	9

Tabel 2. Klasifikasi Mata Air Panas Berdasarkan Entalpi yang Dihasilkan Menurut Pendapat Beberapa Ahli

Tingkat Entalpi	Muffler dan Cataldi (1978)	Hochstein (1990)	Benderitter dan Cormy (1990)	Nicholson (1993)	Aselson dan Gunnlaugason (2000)
Entalpi Rendah (°C)	< 90	< 125	< 100	≤ 150	≤ 190
Entalpi Sedang (°C)	90 – 150	125 – 225	100 – 200	-	-
Entalpi Tinggi(°C)	>150	>225	>200	>150	>190

Sumber: Chen, 1985

Pembuatan Model



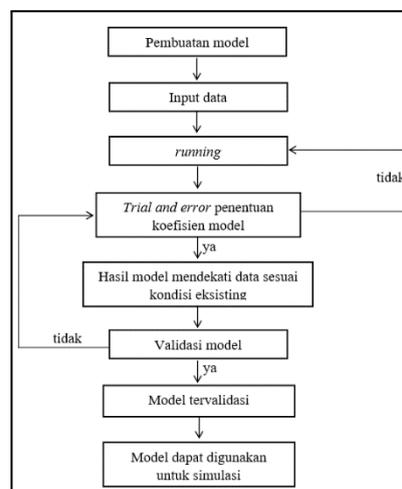
Gambar 1. Sketsa Segmentasi Sungai Elo; digunakan juga sebagai titik lokasi pengambilan sampel, sebelah kanan merupakan bagian hulu segmentasi sungai dengan arah aliran air sungai ke sebelah kiri (hilir)

Tabel 3. Data Letak Geografis Setiap Titik Segmentasi Sungai

Lokasi	Jarak ke Muara (km)	Elevasi (m)	Garis Lintang	Garis Bujur	Kedalaman (m)	Lebar (m)
Headwater	1,29	552	7,358	110,3014	0,44	9,3
Segmen 1	1,01	550	7,358	110,3014	0,52	10,5
Segmen 2	0,64	549	7,359	110,2972	0,55	9,8
Segmen 3	0	548	7,361	110,2973	0,42	9,9

Segmentasi dilakukan selain untuk pembuatan model juga dilakukan dalam pengambilan sampel kualitas air sungai untuk kebutuhan data primer, serta pada titik yang sudah ditentukan tersebut diambil juga data informasi sungai seperti jarak titik pengambilan sampel ke muara, elevasi titik pengambilan sampel, letak geografis titik pengambilan sampel, kedalaman air sungai di titik pengambilan sampel, dan lebar sungai di lokasi titik pengambilan sampel.

Pembuatan model merupakan salah satu tahapan dalam menghasilkan simulasi model Qual2Kw. Pemodelan QUAL2Kw dalam pelaksanaannya terdapat pembagian sungai menjadi beberapa bagian perhitungan yang di setiap bagiannya disebut dengan *reach* (ruas) yang terbagi lagi menjadi beberapa unsur. Unsur-unsur yang terbagi dalam sebuah *reach* tersebut mengandung beberapa kesetimbangan yaitu, kesetimbangan panas dan suhu, kesetimbangan hidrologi, dan kesetimbangan massa dalam konsentrasi. Massa hilang atau bertambah yang terjadi melalui proses buangan air limbah atau pengambilan air sungai diperhitungkan untuk kesetimbangan massa, selain itu proses internal meliputi proses fotosintesis dan penguraian senyawa organik juga diperhitungkan dalam kesetimbangan massa (Baherem et al., 2014). Tahapan pertama pada pembuatan model adalah segmentasi sungai untuk penentuan pengambilan sampel air sungai. Sungai yang diteliti memiliki panjang 1,29 kilometer dengan pembagian segmentasi sungai seperti pada **Gambar 1**. Selain itu metode kuantitatif yang digunakan pada pemodelan QUAL2Kw yang meliputi kalibrasi model, verifikasi model, serta perhitungan matematis beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran. Metode kualitatif berupa deskriptif untuk menganalisa hasil yang telah didapatkan.



Gambar 2. Skema Pembuatan Model Simulasi Qual2Kw
Sumber: Ofri, 2020

Tahapan kalibrasi model terdiri dari rangkaian percobaan *running* yang berulang kali (*trial and error*) agar mendapatkan model yang paling sesuai dan mendekati kondisi eksisting. Uji validasi dilakukan berdasarkan kriteria pengujian statistik yang dikemukakan oleh Kolmogorov-Smirnov yang bertujuan untuk mengetahui model diterima atau ditolak menggunakan langkah pengujian statistik dengan Kolmogorov-Smirnov (Melbourne Davayne. A., 2014). Uji statistik dalam validasi model di penelitian ini menggunakan nilai signifikan (α) 0,95 dengan n-sampel 4, sehingga mendapatkan nilai $X^2_{tabel} = 0,771$. Model akan diterima apabila X^2 tabel yang telah didapatkan dari tabel Chi Square lebih besar dibanding dari hasil X^2 hitung (Anwar & Pohan, 2016).

$$X^2_{hitung} = \sum_{r=1}^n \frac{(di)^2}{nilai\ model}$$

Tahapan selanjutnya adalah mencari nilai beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran menggunakan metode matematis. Analisis beban cemar air permukaan dihitung untuk mengetahui beban maksimum perairan menerima beban cemar. Beban pencemaran standar merupakan beban pencemaran standar yang disesuaikan dengan baku mutu parameter yang digunakan dan beban pencemaran simulasi merupakan beban pencemaran yang dihasilkan dari simulasi sebagai bentuk representative kondisi eksisting sungai. Beban pencemaran standar dan beban pencemaran simulasi

dicari dalam satuan kilogram/hari untuk dapat mengetahui banyaknya muatan beban pencemar yang masuk dalam kilogram per hari.

$$BP_{\text{standar}} = C_{\text{baku mutu}} \times Q$$

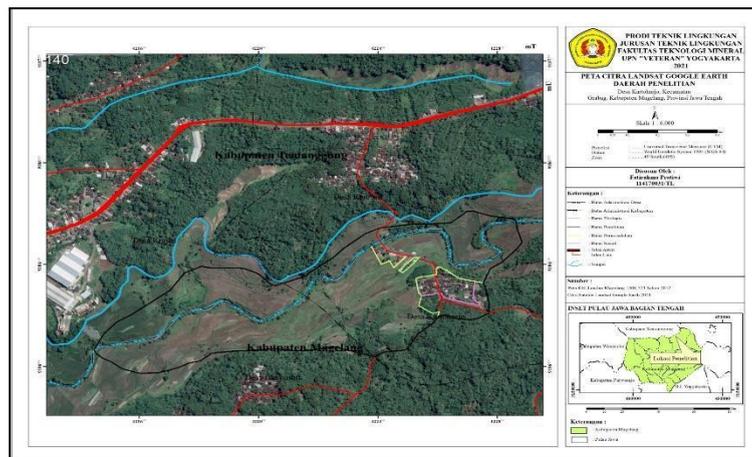
$$BP_{\text{simulasi}} = C_{\text{simulasi}} \times Q$$

Daya tampung beban pencemar merupakan suatu kemampuan air di suatu sumber air dalam menerima beban pencemar yang masuk ke dalam badan air tanpa menjadi tercemar (PP RI No. 38 Tahun 2011). Daya tampung beban pencemar air adalah suatu batas maksimum kemampuan sumber daya air dalam menerima beban pencemar yang masuk ke dalam badan air yang konsentrasinya tidak melewati batas baku mutu kualitas air yang disesuaikan dengan peruntukannya (Machbub, 2010).

$$\text{Daya tampung beban cemaran} = BP_{\text{standar}} - BP_{\text{simulasi}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mata air panas Candi Umbul Telomoyo berada di desa Kartoharjo, Kecamatan Grabag, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah dengan lokasi seperti pada **Gambar 3**. Mata air panas Candi Umbul Telomoyo berada di ketinggian 555-655 meter di atas permukaan laut yang sumber panasnya berasal dari aktivitas vulkanik pada masa lampau Gunung Telomoyo. Gunung Telomoyo menyimpan kekayaan alam berupa panas bumi, potensi panas bumi Gunung Telomoyo tersebut terletak pada keunikannya yang menyimpan mata air panas, fumarole, memiliki tanah yang panas, serta terdiri atas batuan ubahan (Septiana Putriutami et al., 2014). Tipe air panas Candi Umbul Telomoyo masuk ke dalam tipe air panas klorida-bikarbonat dengan temperatur reservoir yang diperkirakan sebesar 212 – 228 °C yaitu dengan entalpi sedang – tinggi (Geografis et al., 2011).



Gambar 3. Peta Lokasi Daerah Penelitian Candi Umbul Telomoyo

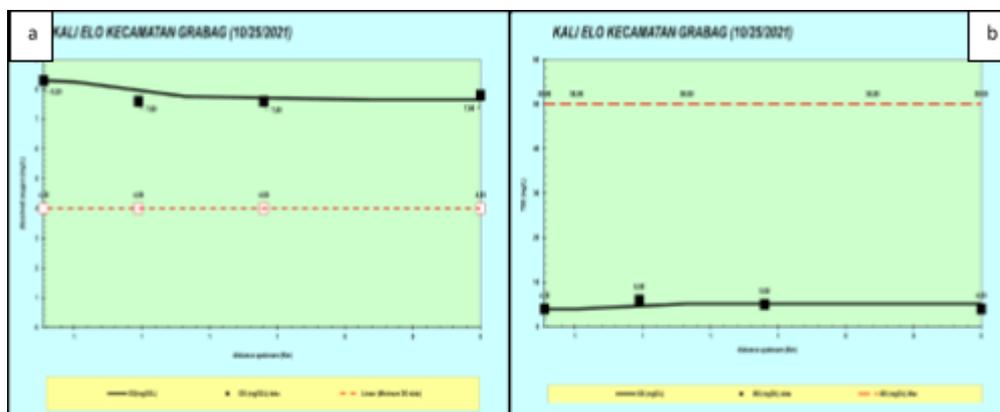
Mata air panas Candi Umbul Telomoyo yang dijadikan sebagai tempat rekreasi dan terapi menghasilkan sedikit banyak limbah hasil dari aktivitas pemandian. Limbah tersebut meliputi air panas itu sendiri, air pemandian, air cuci dan kakus. Hasil dari limbah tersebut tidak melewati proses dalam pengelolaan air limbah terlebih dahulu. Air hasil aktivitas pemandian air panas Candi Umbul Telomoyo tersebut langsung dibuang ke dalam badan sungai yang berada tepat di sebelah utara pemandian air panas Candi Umbul Telomoyo. Limbah dari pemandian air panas tersebut apabila tidak dikelola dengan baik lambat laun akan mencemari sungai sehingga daya tampung beban pencemaran sungai terhadap parameter DO dan TSS akan semakin menurun. Menurut Poedjiastoeti et al., 2017, bahwa air sungai biasa dimanfaatkan oleh masyarakat dalam pemenuhan kebutuhan air rumah tangga, irigasi persawahan, industri dan kehidupan organisme lainnya dalam suatu ekosistem. Berdasarkan hal tersebut maka pengkajian terkait kualitas air sungai dengan menggunakan simulasi Qual2Kw dapat dilakukan.

Tabel 4. Data Kualitas Air Sungai dan Data Kualitas Sumber Pencemaran Parameter DO dan TSS

Parameter	Lokasi Titik Pengambilan				Sumber pencemar
	Headwater	SG1	SG2	Downstream	
DO (mg/l)	8,3	7,6	7,8	7,8	6,5
TSS (mg/l)	4	6	5	4	9

Titik pengambilan sampel dilakukan disesuaikan dengan segmentasi sungai yang telah dilakukan seperti pada **Gambar 1**. Segmentasi sungai merupakan bagian dari pembuatan model yang juga digunakan untuk titik pengambilan sampel. Pengambilan sampel dilakukan pada 4 titik yaitu pada titik 1 (*headwater*), titik 2 (SG1), titik 3 (SG2), dan titik 4 (*downstream*). Berdasarkan data yang telah dikumpulkan dari hasil pengambilan sampel serta data sekunder yang sebagai data pendukung untuk pembuatan simulasi pemodelan didapatkan hasil berupa model kualitas air sungai parameter DO dan TSS seperti pada **Gambar 2** dimana setelah dilakukan *trial and error* berulang kali didapatkan hasil simulasi pemodelan dengan sesuai kondisi eksistingnya.

Hasil dari simulasi merepresentasikan kondisi eksisting sungai terkait kualitas air sungai dengan parameter DO dan TSS seperti pada **Gambar 4**. Terlihat bahwa konsentrasi DO cukup baik dengan konsentrasi nilai DO berturut-turut pada setiap titik sebesar 8,3 mg/L 7,95 mg/L; 7,9 mg/L; dan 7,62 mg/L. Konsentrasi DO dari hasil simulasi tersebut lolos uji validasi dengan nilai χ^2 hitung sebesar 0,000505759. Nilai χ^2 hitung yang didapatkan dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai χ^2 hitung tidak lebih besar dari nilai χ^2 tabel ($0,000505759 < 0,717$), sehingga model simulasi dapat diterima. Begitu pula pada parameter TSS yang memiliki konsentrasi hasil simulasi sebesar 4 mg/L; 4,4 mg/L; 5,38 mg/L; dan 4,85 mg/L. Nilai uji validasi χ^2 hitung parameter TSS dari hasil simulasi mendekati 0 yaitu sebesar 0,087118, sehingga model TSS diterima karena nilai validasi χ^2 hitung tidak lebih dari χ^2 tabel ($0,087118 < 0,717$).

**Gambar 4.** Hasil Simulasi Pemodelan Kualitas Air Sungai dengan Qual2Kw, a). DO; b). TSS**Tabel 5.** Perhitungan Validasi χ^2 Hitung Parameter TSS

Titik Segmen	TSS Model	TSS aktual	di	di ²	X ²
			(TSS model - TSS aktual)		(di ² /model)
1	4	4	0	0	0
2	5,8	6	-0,2	0,04	0,006897
3	5,1	5	0,1	0,01	0,001961
4	4,6	4	0,6	0,36	0,078261
jumlah				0,41	0,087118

Tabel 6. Perhitungan Validasi X^2 Hitung Parameter DO

Titik Segmen	DO Model	DO aktual	di	di ²	X ²
			(DO model - DO aktual)		(di ² /model)
1	8,3	8,3	0	0	0
2	7,95	7,6	0,35	0,1225	0,015409
3	7,9	7,6	0,3	0,09	0,011392
4	7,62	7,8	-0,18	0,0324	0,004252
jumlah				0,2449	0,031053

Hasil simulasi pemodelan yang didapatkan menyatakan bahwa model telah sesuai dengan kondisi eksisting. Hal tersebut terlihat dari pola grafik yang dihasilkan pada model telah mendekati kondisi eksisting. Kondisi eksisting sungai direpresentasikan melalui titik hitam yang polanya mirip dengan garis hitam yang merupakan pola hasil simulasi model. Kualitas air berdasarkan parameter DO dari hasil simulasi model terlihat cukup baik yaitu tidak kurang dari 4 mg/L (baku mutu DO \geq 4 mg/L), sedangkan parameter TSS konsentrasinya masih jauh di bawah baku mutu yaitu sebesar 50 mg/L. beban pencemar masuk pada titik kedua dimana terlihat pada parameter DO kualitas air menurun yang disebabkan karena adanya tambahan dari beban pencemar. Konsentrasi TSS setelah titik kedua mengalami peningkatan yang menyatakan bahwa terjadi penurunan kualitas air. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sumber pencemar yang masuk ke dalam badan sungai sedikit banyak dapat mempengaruhi kualitas air sungai. Konsentrasi DO dan TSS dari hasil simulasi terlihat bahwa semakin menuju hilir konsentrasi DO dan TSS semakin menurun atau semakin kembali menyesuaikan seperti sebelum adanya beban pencemar masuk. Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat dicari nilai beban pencemaran serta nilai daya tampung beban pencemaran sungai, sehingga dapat diketahui lebih jelas kemampuan sungai dalam menerima beban pencemar.

Tabel 7. Nilai Beban Pencemaran Parameter DO

Titik Segmen	Debit Hasil Skenario (m ³ /s)	Baku Mutu	Beban Pencemaran Standar (kg/hari)
1	1,44	>4 mg/L	497,664
2	1,61	>4 mg/L	556,416
3	1,75	>4 mg/L	604,8
4	1,86	>4 mg/L	642,816

Tabel 8. Nilai Beban Pencemaran Hasil Simulasi Parameter DO

Titik Segmen	Debit Hasil Skenario (m ³ /s)	Konsentrasi Hasil Skenario (mg/L)	Beban Pencemaran Simulasi Hasil Skenario (kg/hari)
1	1,44	8,3	1032,6528
2	1,61	7,95	1105,8768
3	1,75	7,9	1194,48
4	1,86	7,62	1224,56448

Nilai beban pencemaran dapat dicari berdasarkan debit hasil konsentrasi dengan konsentrasi baku mutu yang digunakan. Dalam penentuan daya tampung beban pencemar perlu adanya perhitungan dalam mencari beban pencemar standar sebagai standar atau batas beban pencemar, kemudian mencari beban pencemar hasil simulasi yang didapatkan dari hasil perhitungan debit air hasil simulasi dengan konsentrasi hasil simulasi. Parameter DO memiliki baku mutu berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 minimal 4 mg/L, sehingga nilai beban pencemar standar parameter DO dianggap sebagai batas minimum sungai dalam menerima DO. Semakin tinggi nilai beban pencemar DO maka semakin baik kualitas air sungainya. Nilai beban pencemaran standar atau minimum parameter DO yang harus

diterima badan sungai adalah sebesar 497,664 kg/hari; 556,416 kg/hari; 604,8 kg/hari; dan 642,816 kg/hari. Nilai beban pencemar standar tersebut merupakan beban yang harus dapat diterima oleh badan sungai dalam sehari untuk memenuhi konsentrasi DO dalam badan air sungai. Nilai beban pencemaran hasil simulasi dicari guna mengetahui seberapa besar beban DO dalam badan air sungai. Nilai beban pencemaran hasil simulasi sebesar 1032,6528 kg/hari; 1105,8768 kg/hari; 1194,48 kg/hari; dan 1224,5645 kg/hari.

Tabel 9. Nilai Beban Pencemaran Standar Parameter TSS

Titik Segmen	Debit Hasil Skenario (m ³ /s)	Baku Mutu (mg/L)	Beban Pencemaran Standar Hasil Skenario (kg/hari)
1	1,44	50	6220,8
2	1,61	50	6955,2
3	1,75	50	7560
4	1,86	50	8035,2

Tabel 10. Nilai Beban Pencemaran Hasil Simulasi Parameter TSS

Titik Segmen	Debit Hasil Skenario (m ³ /s)	Konsentrasi Hasil Skenario (mg/L)	Beban Pencemaran Simulasi Hasil Skenario (kg/hari)
1	1,44	4	497,664
2	1,61	5,8	806,8032
3	1,75	5,1	771,12
4	1,86	4,6	739,2384

Nilai beban pencemaran standar parameter TSS terdapat nilai beban pencemaran standar dan nilai beban pencemaran hasil simulasi. Hal tersebut dikarenakan nilai baku mutu parameter TSS yaitu maksimum 50 mg/L, sehingga nilai beban pencemaran standar TSS dianggap sebagai nilai beban pencemaran maksimum. Nilai beban pencemaran standar parameter TSS berturut-turut yaitu sebesar 6220,8 kg/hari; 6955,2 kg/hari; 7560 kg/hari; dan 8035,2 kg/hari. Badan sungai dalam sehari dapat menerima beban pencemaran TSS sebesar maksimum nilai beban pencemaran standar yang telah didapatkan tersebut. Hasil dari nilai beban pencemaran standar digunakan untuk dapat mengetahui maksimum beban pencemaran yang dapat diterima oleh badan sungai dalam satuan kilogram per hari. Hasil simulasi yang didapatkan memiliki nilai beban pencemar hasil simulasi sebesar 497,664 kg/hari; 806,8032 kg/hari; 771,12 kg/hari; dan 739,2384 kg/hari.

Tabel 11. Nilai Daya Tampung Beban Pencemaran DO dan TSS

Titik Segmen	Daya Tampung DO (kg/hari)			Daya Tampung TSS (kg/hari)		
	BP _{Standar}	BP _{Simulasi}	Daya Tampung	BP _{Standar}	BP _{Simulasi}	Daya Tampung
1	497,664	1032,6528	534,9888	6220,8	497,664	5723,136
2	556,416	1105,8768	549,4608	6955,2	806,8032	6148,3968
3	604,8	1194,48	590,48	7560	771,12	6788,88
4	642,816	1224,56448	581,74848	8035,2	739,2384	7295,9616

Berdasarkan nilai beban pencemaran standar dan nilai beban pencemaran hasil simulasi didapatkan nilai daya tampung beban pencemar pada masing-masing parameter yang digunakan. Nilai daya tampung beban pencemar masing-masing parameter berbeda-beda di setiap titiknya. Seperti halnya pada parameter DO nilai daya tampung beban pencemarannya adalah 534,9888 kg/hari; 549,4608 kg/hari; 590,48 kg/hari; dan 581,74848 kg/hari. Hal tersebut terjadi karena debit air yang dihasilkan dari simulasi pemodelan juga berbeda-beda. Nilai daya tampung beban pencemaran khusus parameter

DO pada badan sungai cukup baik, hal tersebut terlihat dari nilai daya tampungnya yang bernilai positif dan besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa badan sungai masih memiliki pasokan DO yang cukup, semakin kecil nilai daya tampung beban pencemaran DO maka semakin buruk juga kemampuan badan air dalam menerima DO. Begitu pula pada TSS, terlihat bahwa pada titik 1 nilai daya tampung beban pencemaran 5723,136 kg/hari; 6148,3968 kg/hari; 6788,88 kg/hari; dan 7295,9616 kg/hari. Didapatkan hasil nilai daya tampung beban pencemaran sungai yang bernilai positif menunjukkan bahwa badan sungai masih dapat menerima beban pencemaran sebesar nilai positif dari nilai daya tampung beban pencemaran. Semakin tinggi nilai daya tampung beban pencemaran maka semakin baik pula kemampuan badan sungai dalam menerima beban pencemar.

KESIMPULAN

Kualitas air sungai sebagai tempat buangan hasil aktivitas pemandian air panas Candi Umbul Telomoyo masih terbilang baik. Hal tersebut didukung dari kondisi eksisting sungai yang parameter DO dan TSS tidak melebihi baku mutu kelas II sesuai dengan PP no.22 Tahun 2021. Nilai daya tampung beban pencemaran parameter DO sebesar 534,9888 kg/hari; 549,4608 kg/hari; 590,48 kg/hari; dan 581,74848 kg/hari yang menunjukkan bahwa sungai menerima pasokan DO yang cukup karena nilai daya tampung beban pencemaran bernilai positif. Begitu pula pada parameter TSS yang memiliki nilai daya tampung beban pencemaran sebesar 5723,136 kg/hari; 6148,3968 kg/hari; 6788,88 kg/hari; dan 7295,9616 kg/hari. Nilai positif pada parameter TSS menunjukkan bahwa sungai masih dapat menerima beban pencemar sebesar nilai positif yang didapatkan pada daya tampung beban pencemaran tersebut. Semakin tinggi nilai daya tampung beban pencemaran menunjukkan bahwa beban pencemaran yang masuk ke dalam badan sungai masih sesuai dengan beban pencemaran standar yang dapat diterima oleh badan sungai. Semakin kecil nilai daya tampung beban pencemaran ≤ 0 menunjukkan bahwa badan sungai sangat tercemar dikarenakan badan sungai sudah tidak dapat menerima masukan beban pencemar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kesempatan waktu dan kesehatan dalam menyusun jurnal ini, terima kasih kepada Ibu Ayu Utami, S.T., M.T. dan Bapak Herwin Lukito, S.T., M.Si. yang sudah membimbing dan memberi arahan dalam menyelesaikan jurnal ini, dan terima kasih kepada Bapak Dr. Johan Danu Prasetya, S.Kel., M.Si. selaku ketua Jurusan Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Yogyakarta, dan terima kasih kepada penyelenggara SEMNAS SATU BUMI.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyar, H., Maret, U. S., Andriani, H., Sukmana, D. J., Mada, U. G., Hardani, S.Pd., M. S., Nur Hikmatul Auliya, G. C. B., Helmina Andriani, M. S., Fardani, R. A., Ustiawaty, J., Utami, E. F., Sukmana, D. J., & Istiqomah, R. R. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif* (Issue March).
- Anwar, D., & Pohan, S. 2016. *Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau Dari Aspek Lingkungan*. 14(2), 63–71. <https://doi.org/10.14710/jil.14.2.63-71>
- Asdak, C. 1995. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Terpadu*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Baherem, Suprihatin, & Indrasti, N. S. 2014. Strategi Pengelolaan Sungai Cibanten Provinsi Banten Berdasarkan Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Air dan Kapasitas Asimilasi. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 4(1), 60–69.
- Chen, C. (1985). *CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THERMAL WATERS IN THE CENTRAL RANGE OF TAIWAN*, R. O. C. 49, 303–317.
- Geografis, S. I., Sumber, M., Mineral, D., Energi, D. A. N., & Web, B. (2011). *Makalah ilmiah*. 6, 1–6.
- Hindriani, H., Sapei, A., Suprihatin, & Machfud. (2013). Pengendalian Pencemaran Sungai Ciujung Berdasarkan Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran. *Pengendalian Pencemaran Sungai Ciujung Berdasarkan Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran*, 16, 169–184.
- Machbub, B. (2010). Model perhitungan daya tampung beban pencemaran air danau dan waduk. *Jurnal Sumber Daya Air*, 6(2), 103–204.

- Melbourne Davayne. A. (2014). A New method for Testing Normality based upon a Characterization of the Normal Distribution. *Florida International University Digital Commons*. <https://doi.org/10.25148/etd.FI14040851>
- Ofri, D. (2020). Trial and error. *The Lancet*, 395(10236), 1538–1539. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30965-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30965-X)
- Poedjiastoeti, H., Sudarmadji, S., Sunarto, S., & Suprayogi, S. (2017). Penilaian Kerentanan Air Permukaan terhadap Pencemaran di Sub DAS Garang Hilir Berbasis Multi-Indeks. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 5(3), 168. <https://doi.org/10.14710/jwl.5.3.168-180>
- Ramadhan, N., Prameswari, M., & Harijoko, A. (2014). *Abstrak Pendahuluan Metodologi Penelitian*. 30–31.
- Saptadji, M. N. (2001). *Teknik Panas Bumi*. Bandung : Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung
- Septiana Putriutami, E., Harmoko, U., Sugeng Widada, dan, Fisika, J., Sains dan Matematika, F., Diponegoro Semarang, U., Kelautan, J., & Perikanan dan Ilmu Kelautan, F. (2014). Interpretasi Lapisan Bawah Permukaan Di Area Panas Bumi Gunung Telomoyo, Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger. *Youngster Physics Journal*, 3(2), 97–106.
- Triane, D. (2015). *PEMODELAN KUALITAS AIR MENGGUNAKAN MODEL QUAL2K (Studi Kasus : DAS Ciliwung) WATER QUALITY MODELING USING QUAL2K (Case Study : Ciliwung Watershed)*. 21, 190–200.