

STUDI PENENTUAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN HULU SUNGAI BRANTAS RUAS KEKEP-PUNDEN KOTA BATU DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI QUAL2Kw

Vicky Ataki Richa¹, Riyanto Haribowo², Tri Budi Prayogo²

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Teknik Pengairan Universitas Brawijaya-Malang, Jawa Timur, Indonesia
Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia
e-mail: vataki44@gmail.com

ABSTRAK: Sungai Brantas yang berada di Kota Batu merupakan salah satu sungai utama yang menjadi sumber perairan bagi pertanian dan perkebunan. Jumlah penduduk yang terus meningkat setiap tahun menyebabkan semakin tercemarnya Sungai Brantas, oleh karena itu diperlukan pemantauan kualitas air. Berdasarkan permasalahan diatas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar daya tampung beban pencemaran sungai yang merupakan salah satu alat pantau kualitas air. Untuk menghitung daya tampung beban pencemaran dalam studi ini menggunakan aplikasi QUAL2Kw dengan parameter-parameter yang diambil adalah DO, BOD, COD, dan TSS. Pada aplikasi ini diperoleh hasil dari beban pencemaran dan daya tampung pada masing-masing segmen. Untuk beban pencemaran yang paling tinggi untuk semua parameter berada pada segmen ketiga, yaitu untuk parameter TSS 1131,84 kg/hari, BOD 45,273 kg/ hari, dan COD 294,278 kg/ hari. Hasil daya tampung beban pencemaran terbesar untuk parameter TSS 455,328 kg/ hari, BOD memiliki hasil yang sama antara segmen pertama dan segmen keempat yaitu sebesar 1,036 kg/ hari, COD 68,774 kg/ hari. Untuk perhitungan status mutu air dengan Indeks Pencemaran didapatkan hasil pada semua titik tercemar ringan.

Kata Kunci: QUAL2Kw, Sungai Brantas, Kualitas Air, Daya Tampung Beban Pencemaran, Status Mutu Air

ABSTRACT: Brantas River that located in Batu City is one of the main river which become the source of water for agriculture and plantation. The increasing number of people every year causes the pollution of Brantas River, therefore it is necessary to monitor the water quality. Based on that problems, the purpose of this study is to determine the capacity of river pollution load which is one of the water quality monitoring control. The calculation of the pollution load capacity in this study used QUAL2Kw application program which water quality parameters that taken are DO, BOD, COD, and TSS. In this application obtained the result of pollution load and capacity in each segment. The highest pollution load for all parameters is in the third segment, there are TSS 1131.84 kg/day, BOD 45.273 kg/day, and COD 294.278 kg/day. The highest pollution load capacity for TSS parameter 455.328 kg/day, BOD has the same result between the first segment and the fourth segment that is 1.036 kg/day, COD 68.774 kg/day. For calculation of water quality with Pollution Index obtained result at all point of lightly contaminated.

Keywords: QUAL2Kw, Brantas River, Water Quality, The Pollution Load Capacity, Status of Water Quality

PENDAHULUAN

Air adalah sumber daya alam yang diperlukan untuk semua makhluk hidup. Untuk melestarikan fungsi air perlu dilakukan pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air secara bijaksana dengan memperhatikan kepentingan generasi sekarang dan mendatang serta keseimbangan ekologis (Peraturan Pemerintah, 2001).

Pada tahun 2016 jumlah penduduk Kota Batu mencapai 202.319 jiwa dengan rata-rata peningkatan jumlah penduduk sebanyak 0,91 % dari tahun lalu. Dengan

banyaknya jumlah penduduk yang terus meningkat adanya alih fungsi lahan di hulu DAS Brantas dikhawatirkan dapat menyebabkan penurunan kualitas air (Dispendukcapil, 2016).

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu adanya penelitian untuk mencapai tingkat kualitas air yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Dalam penelitian ini aplikasi QUAL2Kw digunakan untuk mengetahui beban pencemaran dan memodelkan prediksi kualitas air berdasarkan nilai parameter yang akan diteliti adalah DO, BOD, COD,

pH dan suhu di Sungai Brantas titik pantau kualitas air Jembatan Kekep, Jembatan Sidomulyo I, Sidomulyo II, Jembatan Metro, dan Jembatan Punden(Dinas Lingkungan Hidup, 2017).

METODOLOGI

Kota Batu merupakan sebuah kota yang terletak di Jawa Timur, Kota Batu dikelilingi oleh pegunungan seperti Gunung Welirang, Panderman, dan Arjuno, sehingga didominasi kawasan dataran tinggi dan ketinggian dengan rata-rata 700-1700 meter diatas permukaan laut dengan suhu udara rata- rata mencapai 12-19°C, secara geografis Kota Batu terletak pada posisi 112°17' 10,90"-122°57'11" Bujur Timur dan 7°44'55,11"-8°26'35,45" Lintang Selatan. Peta lokasi dilihat pada Gambar 1.

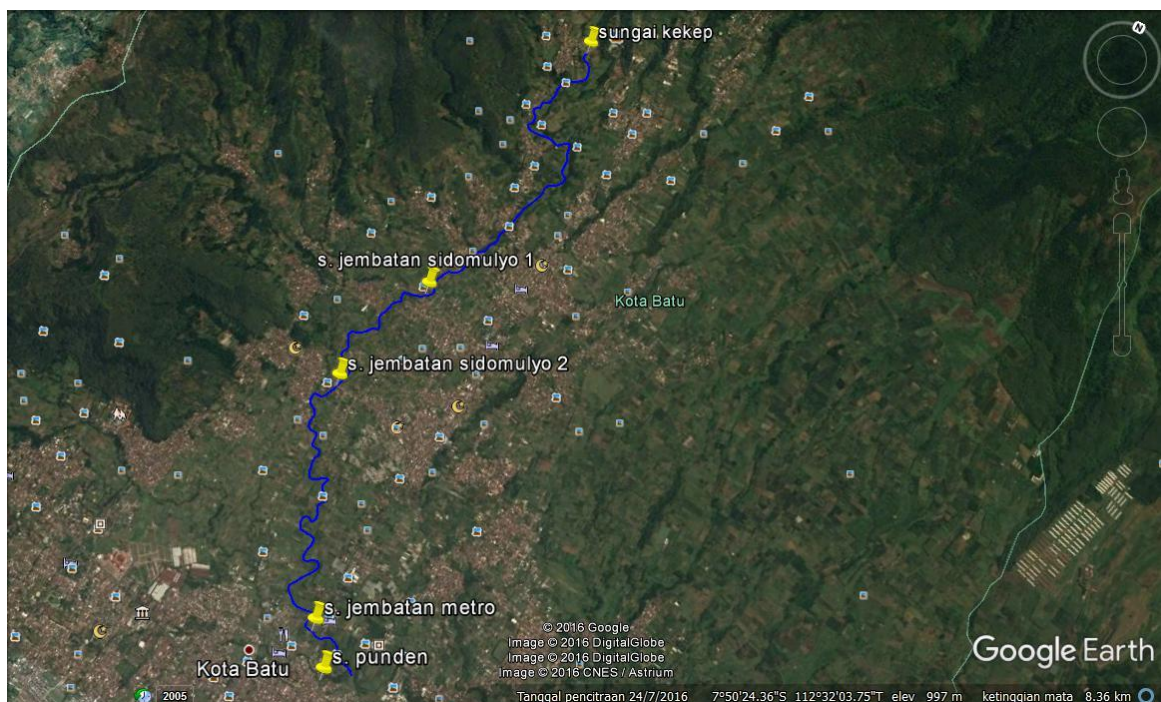
Lokasi penelitian ini berada di Sungai Brantas Kota Batu pada segmen Jembatan Kekep sampai dengan Jembatan Punden dengan jarak dari hulu ke hilir 7,81 km.

Penelitian ini dibagi menjadi 5 segmen yaitu terletak di titik Jembatan Kekep, Sidomulyo II, Jembatan Metro, dan Jembatan Punden.

Data – Data Penelitian

Data-data yang digunakan untuk penelitian dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Data Peta wilayah DAS Sungai Brantas yang didapat dari Badan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Batu.
2. Menggunakan 5 titik di Sungai Brantas yaitu, Jembatan Kekep, Jembatan Sidomulyo I, Jembatan Sidomulyo II, Jembatan Metro, dan Jembatan Punden.
3. Data Parameter kualitas air DO, BOD, COD, pH selama 5 tahun
4. Data Hidrologi DAS Sungai Brantas Kota Batu.
5. Data Klimatologi (suhu, kecepatan angin, dll) yang didapat dari BMKG Kota Batu.
6. Data profil Sungai Brantas didapat dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Batu.



Gambar 1. Lokasi Wilayah Studi

Langkah – Langkah Studi

Adapun langkah-langkah studi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data sekunder Sungai Brantas yang di dapat dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Batu.
2. Data yang telah terkumpul akan dianalisis sesuai dengan input data pada *worksheet* QUAL2Kw yakni berupa data klimatologi, data profil sungai, data debit dan kualitas air sungai, serta data debit dan kualitas air limbah.
3. Pembangunan model yang meliputi, *entry* data kualitas air 5 tahun, kemudian penentuan koefisien model.
4. Simulasi di aplikasi QUAL2Kw dan perhitungan daya tampung beban pencemaran dengan menggunakan 4 skenario.

Kesalahan Relatif

Besarnya kesalahan yang sama kadang mempunyai tingkat kepentingan berbeda. Sehingga menyebabkan ukuran yang satu dapat diterima sedangkan yang lain ditolak. Oleh karena itu memilih alat ukuran yang digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhannya. Kesalahan pengukuran yang dipengaruhi tingkat kepentingan tertentu disebut kesalahan relatif. Berikut rumus mencari kesalahan relatif :

$$Kr = \left(\frac{Xa - Xb}{Xa} \right) * 100 \quad (1)$$

Dengan :

Kr = Kesalahan Relatif

Xa = Data Eksisting

Xb = Data Output/model

Beban Pencemaran

Beban pencemaran sungai adalah jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air sungai. Beban pencemaran sungai dapat disebabkan oleh adanya aktivitas industri, pemukiman, dan pertanian. Beban pencemaran sungai dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Mitsch & Goesselink, 1993):

$$BPS = (Cs)_j \times Qs \times f \quad (2)$$

Keterangan:

BPS = Beban Pencemaran Sungai (kg/hari)

(Cs)_j = kadar terukur sebenarnya unsur pencemar j (mg/l)

Qs = debit air sungai (m³/hari)

F = faktor konversi

$$\frac{1 \text{ kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \times 86400 \text{ detik} = 86,4$$

Daya Tampung Beban Pencemaran

Daya tampung beban pencemaran atau sering disebut dengan beban harian maksimum total (*total maximum daily loads*) merupakan kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Perhitungan daya tampung beban pencemaran diperlukan untuk mengendalikan zat pencemar yang berasal dari berbagai sumber pencemar yang masuk ke dalam sumber air dengan mempertimbangkan kondisi intrinsik sumber air dan baku mutu air yang ditetapkan (Metcalf & Eddy, 2003). Adapun untuk menghitung nilai daya tampung beban pencemaran adalah sebagai berikut :

$$DTBP = \text{Beban Penuh} - \text{Beban minimum (kg/hari)} \quad (3)$$

Keterangan :

$$DTBP = \text{Daya Tampung Beban Pencemaran (kg/hari)}$$

QUAL2Kw

Model QUAL2Kw merupakan pengembangan dari model QUAL2E dengan menggunakan beberapa bahasa pemrograman yaitu *Visual Basic for Application* (VBA) yang dapat dijalankan dengan program Microsoft Excel. Dalam penelitian digunakan model QUAL2Kw versi 5.1. Model ini mampu mensimulasi parameter kualitas air antara lain temperatur, *conductivity*, *Inorganic Solida*, *Dissolved Oxygen*, *CBODslow*, *CBODfast*, *Organic Nitrogen*, NH₄-

Nitrogen, NO₃-Nitrogen, *Organic Phosphorus*, *Inorganic Phosphorus (SRP)*, *Phytoplankton*, *Detritus (POM)*, (*Total Coliform*) *Pathogen*, *Generic Constituent (COD)*, *Alkalinity*, pH (Rusnugroho, A, 2012).

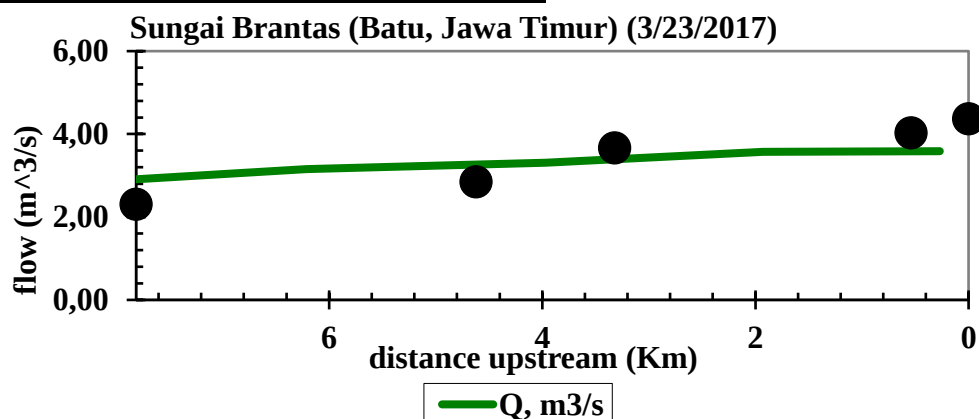
Data-data yang diperlukan dalam permodelan adalah data kualitas air, elevasi sungai dan posisi geografis, Panjang sungai, kecepatan aliran, kedalaman, lebar sungai, temperature udara, kecepatan angin, tutupan awan, tutupan benda lain per *reach*, cahaya, panas, *point sources* (lokasi, debit, kualitas air), *diffuse sources*, data hidrolis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan menganalisis Sungai Brantas dengan panjang kurang lebih 7,81 km dari titik Jembatan Kekep sampai Jembatan Punden yang terbagi menjadi beberapa *reach*. Pembagian *reach* pada sungai ini dilakukan untuk keperluan pemodelan dan mempermudah dalam penentuan titik pengambilan data sungai. Pembagian ini sudah didasarkan pada belokan, perubahan dimensi sungai serta masukan dari sumber pencemar.

Tabel 1. Pembagian *Reach* Sungai Brantas

Reach	Panjang (Km)	Elevasi	
		Hulu (m)	Hilir (m)
Kekep-Sidomulyo I	3,19	1057	954
Sidomulyo I-Sidomulyo II	1,3	954	916
Sidomulyo II-Metro	2,78	916	866
Metro-Punden	0,54	866	855



Gambar 2. Perbandingan Debit Aliran Model dan Data

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat penentuan *reach* (segmen) pada Sungai Brantas sehingga didapatkan 4 *reach* (segmen) untuk penelitian ini.

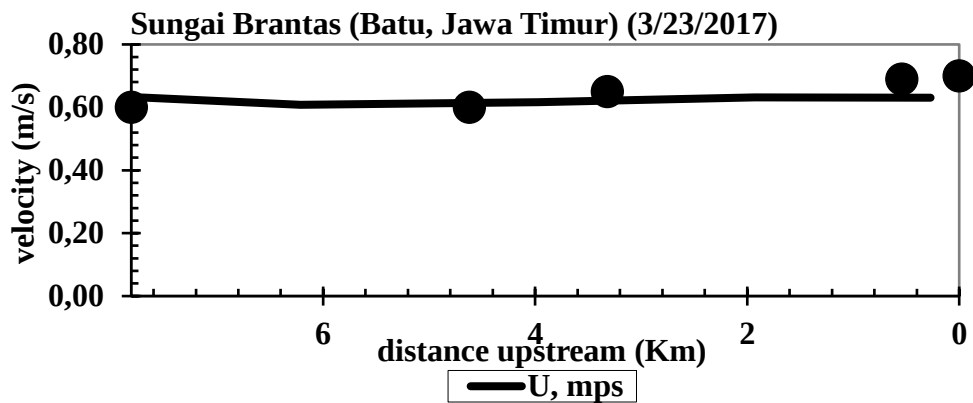
Kalibrasi Model

Setelah *reach* dibuat, maka dilakukan *entry* data ke dalam komputer yang meliputi identitas sungai, debit, dan kualitas hulu identitas *reach*, sumber pencemaran *point source* dan *non point source* akan ikut serta menentukan kualitas air Sungai Brantas.

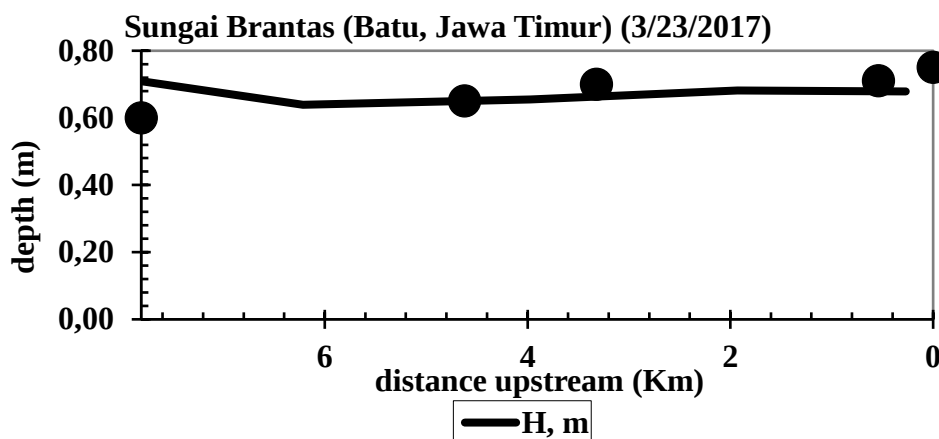
Dalam penelitian ini sebelum melakukan beberapa simulasi kualitas air, maka model perlu dikalibrasi. Kalibrasi model dilakukan dengan tujuan data model mendekati data input yang telah dimasukkan kedalam program. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan waktu dan variasi data. Kalibrasi model dibagi menjadi 2 yaitu, kalibrasi data hidrolis dan kalibrasi data kualitas air. Setelah didapatkan hasil koefisien dari kalibrasi model dan hasil mendekati model maka dilakukan verifikasi data pada tahun selanjutnya.

Verifikasi data adalah proses pencocokan nilai koefisien yang di dapat dari lembar kerja dengan data tahun sebelumnya atau tahun berikutnya,

Trial and error bertujuan untuk membandingkan data prediksi model dengan hasil pengamatan. Dengan kata lain, model kalibrasi mendekati data kualitas air hasil dari pengamatan.



Gambar 3. Perbandingan Kecepatan Model dan Data

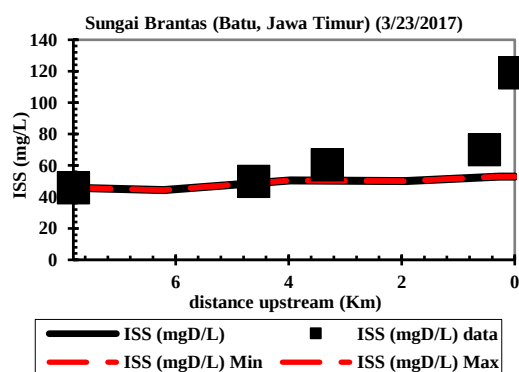


Gambar 4. Perbandingan Kedalaman Model dan Data

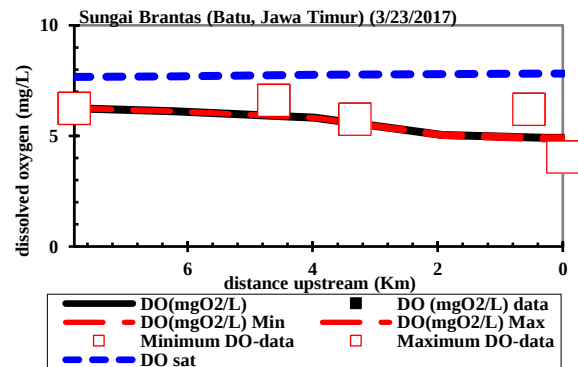
Kalibrasi hidraulik dilakukan dengan memasukkan data-data hidraulik yakni debit, kecepatan, dan kedalaman sungai yang didapat dari hasil pengukuran langsung di lapangan kedalam *Worksheet QUAL2Kw*.

Berdasarkan hasil kalibrasi pada Gambar 2 sampai Gambar 4 dapat dilihat

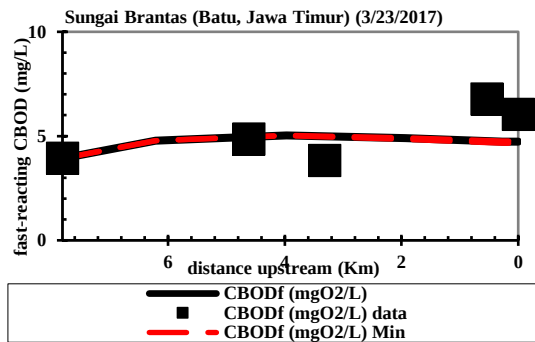
bahwa nilai antara data dan model sudah satu tren. Hasil *trial and error* yang dilakukan pada *sheet reach* dengan mengganti angka pada kolom *manning* sesuai dengan nilai koefisien yang sudah ditetapkan juga tetap menunjukkan angka yang sama tidak jauh berbeda.



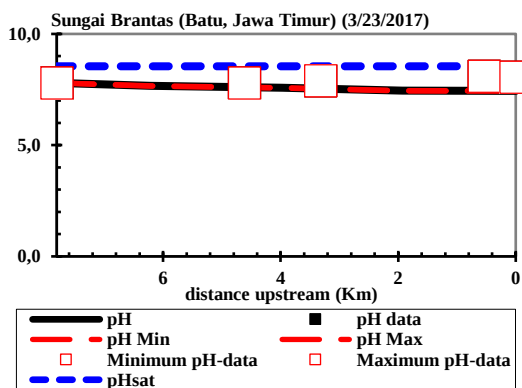
Gambar 5. Perbandingan Model dan data parameter *Inorganic solid* (TSS)



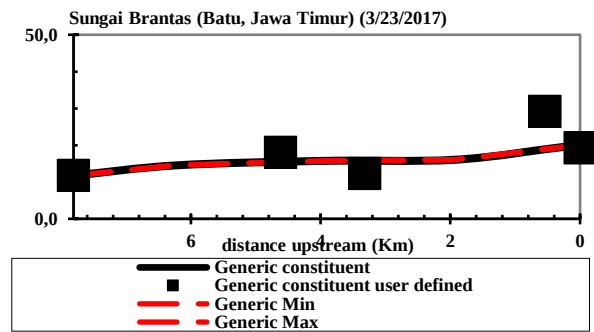
Gambar 6. Perbandingan Model dan data parameter *Dissolved Oxygen* (DO)



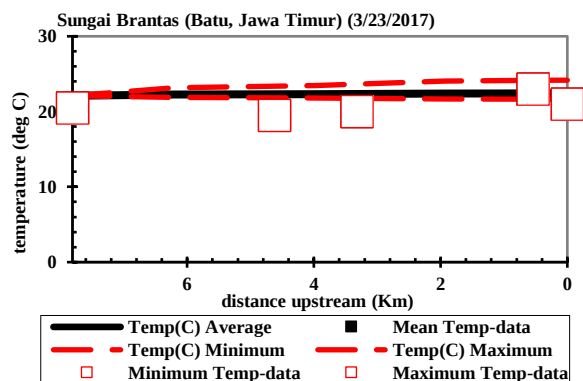
Gambar 7. Perbandingan Model dan data parameter *CBOd fast* (BOD)



Gambar 9. Perbandingan Model dan data parameter pH



Gambar 8. Perbandingan Model dan data parameter *Generic Constituent* (COD)



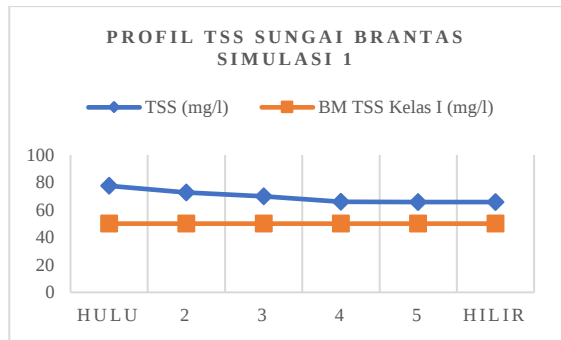
Gambar 10. Perbandingan Model dan data parameter suhu

Dari hasil kalibrasi diatas didapatkan bahwa parameter TSS dan parameter DO sudah terdapat pada satu tren, untuk TSS pada titik terakhir belum mendekati data, hasil dari parameter BOD melebihi baku mutu air kelas I, pada beberapa segmen tidak mendekati data meskipun nilai koefisien sudah diubah-ubah hal ini dapat terjadi karena perbedaan waktu dan variasi data. Untuk parameter COD pada segmen ke tiga dan empat model menjauhi data dikarenakan adanya faktor-faktor berupa data asli dilapangan nilainya berubah-ubah disetiap titik. Parameter pH dan suhu sudah memenuhi baku mutu air kelas I dan sudah pada satu tren model.

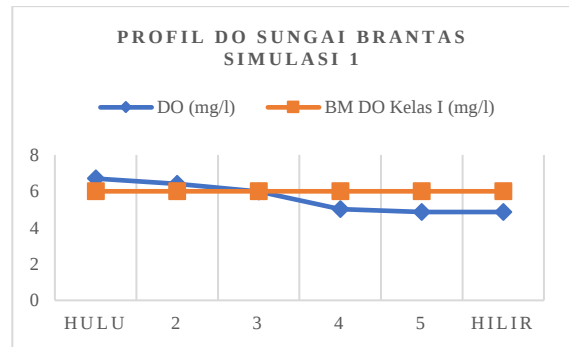
Simulasi 1

Pada simulasi 1 ini bertujuan untuk mengkalibrasi data kualitas air agar dapat digunakan untuk simulasi yang lainnya. Simulasi satu juga dapat digunakan untuk mendapatkan koefisien model sungai. Data yang dimasukkan adalah data yang digunakan saat pembentukan model untuk pertama kali.

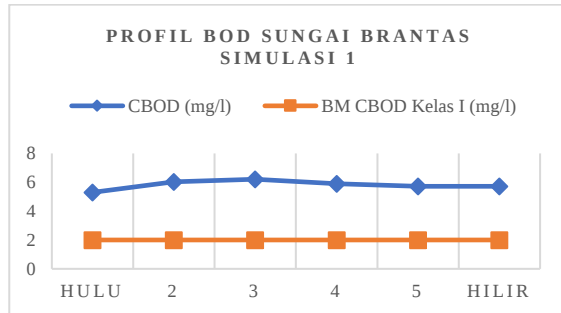
Dari hasil simulasi 1 menunjukkan bahwa kualitas air pada parameter TSS, BOD, dan COD tidak memenuhi baku mutu air kelas I. Sedangkan untuk parameter DO pada titik ke tiga sampai dengan titik lima masih dibawah baku mutu air.



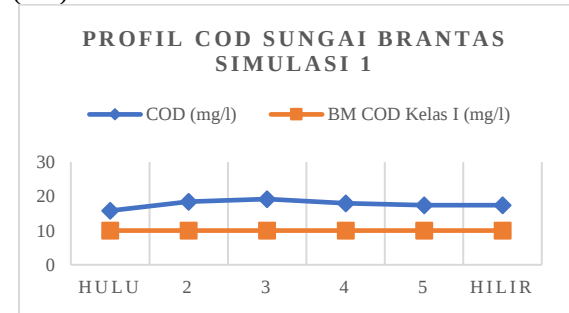
Gambar 11. Profil Parameter *Inorganic solid* (TSS)



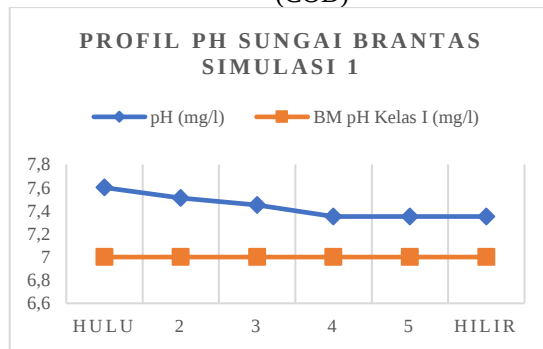
Gambar 12. Profil Parameter *Dissolved Oxygen* (DO)



Gambar 13. Profil Parameter *CBOD fast* (BOD)



Gambar 14. Profil Parameter *Generic Constituent* (COD)



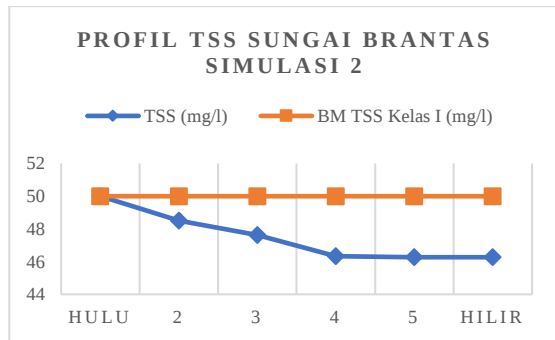
Gambar 15. Profil Parameter *pH*

SIMULASI 2

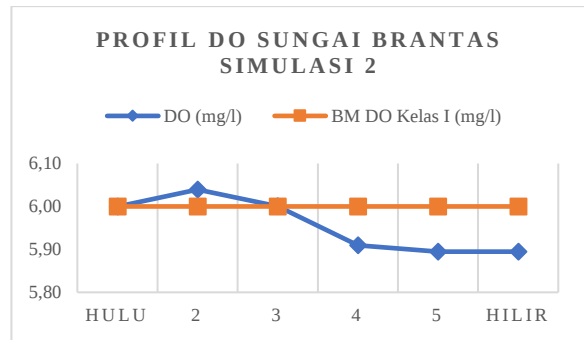
Pada simulasi 2 ini, merupakan simulasi beban kosong. Beban pencemar *non point sources* segmen pemukiman akan dihilangkan, sedangkan segmen pertanian dianggap memenuhi baku mutu air kelas I.

Hasil dari simulasi 2 ini menunjukkan kondisi kualitas air pada kondisi tanpa sumber pencemar pemukiman memenuhi

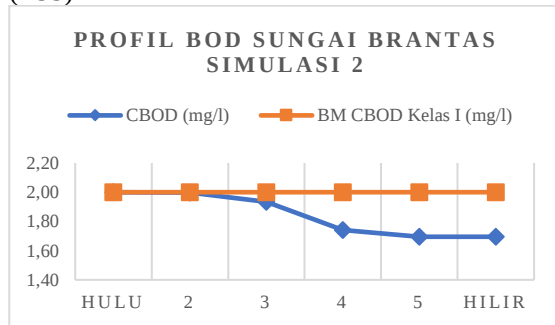
baku mutu air kelas I. Hal ini dikarenakan data kualitas air pada Sungai Brantas disesuaikan dengan baku mutu air kelas I. tujuan adanya simulasi 2 yang memenuhi baku mutu air kelas I adalah untuk mengetahui kemampuan self-purifikasi dari Sungai Brantas. Semakin Panjang jarak maka kemampuan self-purifikasi sungai semakin bagus.



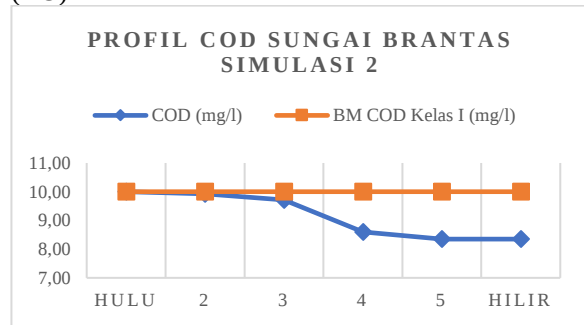
Gambar 16. Profil Parameter *Inorganic solid* (TSS)



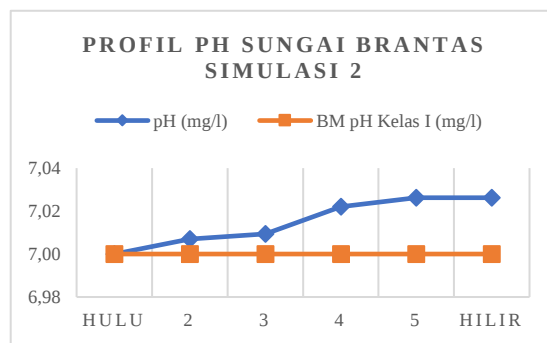
Gambar 17. Profil Parameter *Dissolved Oxygen* (DO)



Gambar 18. Profil Parameter *CBOD fast* (BOD)



Gambar 19. Profil Parameter *Generic Constituent* (COD)

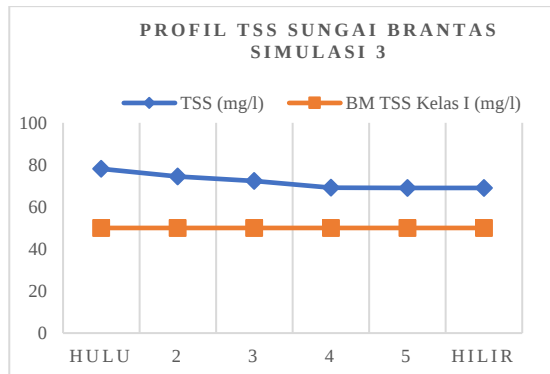


Gambar 20. Profil Parameter *pH*

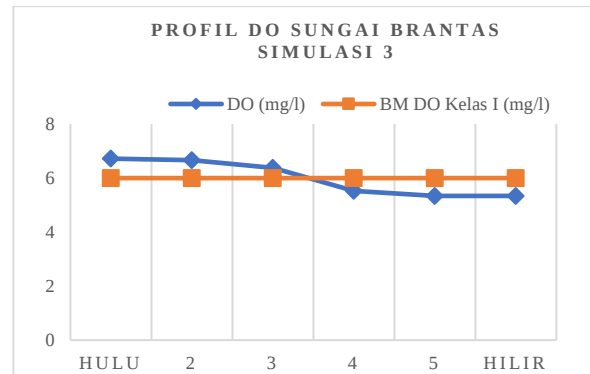
SIMULASI 3

Pada simulasi 3 ini, bertujuan untuk mengetahui kualitas air Sungai Brantas untuk masa yang akan datang. Data debit sumber pencemar *non point source* segmen pemukiman merupakan hasil prediksi dari pertumbuhan penduduk di bantaran Sungai Brantas 5 tahun yang akan datang.

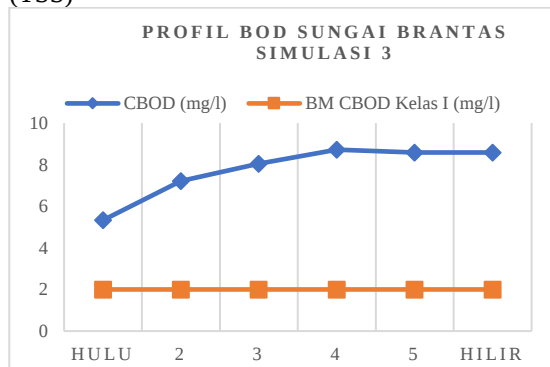
Hasil dari simulasi 3 ini didapatkan bahwa parameter TSS, BOD, dan COD diatas baku mutu air kelas 1 pada prediksi 5 tahun yang akan datang. Hal ini juga berpengaruh karena banyaknya pertambahan penduduk maka banyaknya sumber pencemar juga semakin bertambah.



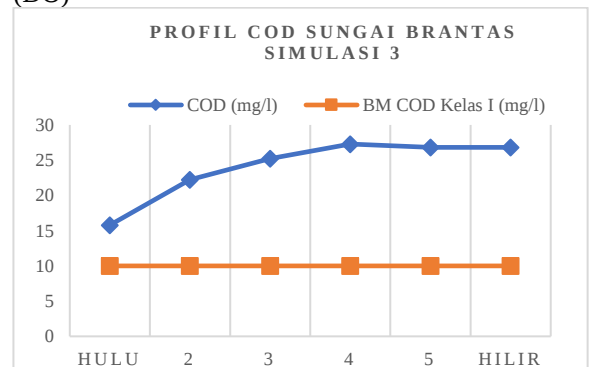
Gambar 21. Profil Parameter *Inorganic solid* (TSS)



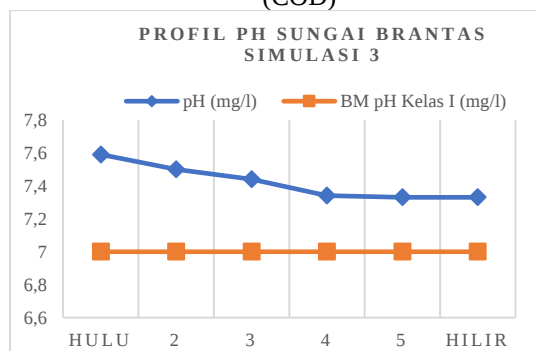
Gambar 22. Profil Parameter *Dissolved Oxygen* (DO)



Gambar 23. Profil Parameter *CBOD fast* (BOD)



Gambar 24. Profil Parameter *Generic Constituent* (COD)



Gambar 25. Profil Parameter *pH*

SIMULASI 4

Simulasi didasarkan pada nilai parameter kualitas air yang sesuai dengan baku mutu air kelas I. Pada kondisi eksisting nilai parameter kualitas air sungai terdapat beberapa parameter yang memenuhi baku mutu. Pada simulasi 4

akan menggunakan nilai maksimum baku mutu air limbah domestik, dan didapatkan hasil semua parameter kualitas air memenuhi baku mutu air kelas I dan kualitas air yang dihasilkan lebih baik dari simulasi I.

Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai beban pencemaran yang merupakan hasil perhitungan beban pencemaran debit dan kualitas air tiap segmen dari hasil

running *non-point source* beban minimum dan beban penuh. Untuk perhitungan daya tampung beban pencemaran didapatkan dari simulasi 2 dan 4, berdasarkan dari hasil simulasi tersebut didapatkan perhitungan daya tampung beban

pencemaran dengan selisih dari hasil simulasi 4 (beban penuh) dan simulasi 2 (beban minimum).

Status Mutu Air

Pada penelitian ini digunakan metode Indeks Pencemaran untuk menentukan status mutu air. Hasil perhitungan didapatkan bahwa Sungai Brantas Kota Batu ruas kekep-punden termasuk ke dalam cemar ringan. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi pada QUAL2Kw dimana konsentrasi beberapa parameter telah melampaui baku mutu namun tidak terlalu jauh.

Tabel 2. Status Mutu Air

No.	Titik	Skor	Status
1	Kekep	2,962	Cemar Ringan
2	Sidomulyo I	3,012	Cemar Ringan
3	Sidomulyo II	2,947	Cemar Ringan
4	Metro	3,336	Cemar Ringan
5	Punden	2,750	Cemar Ringan

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang dilakukan sesuai dengan rumusan masalah pada kajian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini didapatkan bahwa kualitas air di Sungai Brantas dengan parameter TSS, BOD, COD, DO masih belum memenuhi baku mutu air pada kondisi eksisting dan kondisi pertambahan penduduk, sedangkan pada kondisi sumber pencemar dihilangkan dan pada hulu disamakan dengan nilai baku mutu air maka kualitas air memenuhi baku mutu air kelas I.
2. Besar beban pencemaran pada Sungai Brantas untuk beban pencemaran pada simulasi 2 (beban kosong) paling besar terdapat pada segmen ke tiga dimana nilai TSS sebesar 676,512 kg/hari, BOD sebesar 45,1008 kg/hari, dan COD sebesar 225,504 kg/hari. Sedangkan untuk simulasi 4 (beban penuh) besar beban

pencemaran terdapat pada segmen ke tiga untuk semua parameter.

3. Beban pencemaran yang masuk ke sungai brantas sudah melampaui daya tampung beban pencemaran yang ada, oleh karena itu diperlukan penanganan khusus untuk kedepannya. Untuk daya tampung beban pencemaran paling tinggi terdapat pada parameter TSS sebesar 455,328 kg/hari dan COD sebesar 68,7744 kg/hari terdapat pada segmen 3, sedangkan untuk BOD terdapat pada segmen 1 dan 4 dimana nilainya sama yaitu 1,0368 kg/hari.
4. Status mutu air yang dihitung dengan menggunakan Indeks Pencemaran menunjukkan bahwa kondisi sungai saat ini tercemar ringan pada semua titik pengamatan. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi QUAL2Kw dimana konsentrasi beberapa parameter telah melampaui baku mutu namun tidak terlalu jauh nilainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Aplikasi QUAL2Kw Sebagai Alat Bantu Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Madiun (Segmen Kota Madiun)*. Kota Madiun: ITS Eco Campus. (diakses pada tanggal 2 bulan April 2017)
- Menteri Lingkungan Hidup. 2010. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Batu. 2015. *Laporan Analisa Data Kualitas Air Sungai di Provinsi Jawa Timur Kota Batu Tahun 2015*. DLH-Kota Batu. Malang
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 12 Tahun 2013. *Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Sumberdaya Air Provinsi Jawa Timur*. Surabaya: Pemerintah Provinsi Jawa Timur

Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse*. McGraw-Hill, Inc. New York.

Maulidya, I. 2009. *Studi Daya Dukung dan Daya Tampung Kali Surabaya Segmen Gunungsari-Jagir Dengan Metode Linear Programming*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Herera. 2013. *Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Surabaya dengan Menggunakan*

Paket Program QUAL2Kw. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya

Sagara, M. R. N. 2013. *Identifikasi dan Prediksi Kualitas Air di Kali Bokor Surabaya Menggunakan Metode QUAL2Kw*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. ITS: Surabaya

Nadhiroh, Y. 2014. *Analisa Kualitas Air Sungai Pakis Akibat Limbah Pabrik Gula Pakis Baru, Di Kecamatan Tayu Kabupaten Pati*. Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta