

**APLIKASI MODEL QUAL2Kw UNTUK MENENTUKAN STRATEGI
PENANGGULANGAN PENCEMARAN AIR SUNGAI GAJAHWONG
YANG DISEBABKAN OLEH BAHAN ORGANIK**
*(Application of Qual2Kw Model to Determine the Strategy in Solving Gajahwong
River Water Pollution Caused by Organic Matter)*

Agnes Dyah Novitasari Lestari*, **Eko Sugiharto****, **Dwi Siswanta****,
*Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Papua, Manokwari
**Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
email: a.dyahnovitasari@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan pemodelan kualitas air terhadap Sungai Gajahwong menggunakan model QUAL2Kw untuk parameter DO-BOD. Diselidiki dinamika DO-BOD sungai tersebut pada kondisi eksisting tahun 2011. Oleh karena beban pencemar pada kondisi hujan dan tanpa hujan berbeda, maka prediksi dilakukan pada kedua kondisi tersebut.

Hasil pemodelan QUAL2Kw untuk kondisi eksisting Sungai Gajahwong tahun 2011 menunjukkan bahwa pada kondisi hujan dan tanpa hujan, konsentrasi BOD sungai telah melebihi baku mutu air kelas II. Hasil simulasi menunjukkan bahwa (1) Pembangunan perumahan yang membuang limbah cairnya ke Sungai Gajahwong pada debit total 0,1 m³/s dengan konsentrasi BOD 10 mg/L dapat meningkatkan BOD serta menurunkan DO Sungai Gajahwong, dan (2) Pengelolaan kualitas air dan penanggulangan pencemaran air oleh bahan organik pada Sungai Gajahwong dapat dilakukan dengan strategi pembuatan IPAL komunal di setiap kabupaten dengan penurunan konsentrasi BOD hulu hingga 2 mg/L.

Kata Kunci: DO-BOD, jarak pemulihan, model QUAL2Kw, Sungai Gajahwong

Abstract

Water quality modelling of Gajahwong River has been done using QUAL2Kw model for DO-BOD parameters. The dynamics of DO-BOD of the river on the existing conditions in 2011 has been investigated. Because of the load of pollutants in the rainy condition and no rain condition was different, then the predictions made on both conditions.

QUAL2Kw modelling results for Gajahwong River in year 2011 showed that the BOD concentration of the river on both conditions has exceeded water quality standards class II. The simulation results showed that: (1) Housing construction that discharge its liquid waste into Gajahwong River on total discharge 0,1 m³/s with concentration of BOD 10 mg/L, increased the BOD and decreased the DO of Gajahwong River, and (2) Water quality management and organic pollution control of Gajahwong River can be done by a strategy of making communal WWTP in each district with reduction of the upstream BOD concentration to 2 mg/L.

Key words: DO-BOD, distance of recovery, QUAL2Kw model, Gajahwong River

PENGANTAR

Sungai Gajahwong merupakan salah satu dari tiga sungai utama yang melintasi kota Yogyakarta. Sungai yang menjadi sasaran Prokasih (Program kali bersih)

ini diperuntukkan sebagai sumber air golongan I pada bagian hulu sungai dan golongan II pada bagian tengah sampai hilir sungai (Anonim, 2007). DAS Gajahwong merupakan sub DAS Opak. Luas DAS Gajahwong

adalah 46,082 km². Secara administratif, DAS Gajahwong meliputi daerah Kabupaten Sleman (bagian hulu), Kota Yogyakarta (bagian tengah), dan Kabupaten Bantul (bagian hilir) (Widyastuti dan Marfai, 2004; Waluyo, 2007). Kontinuitas aliran sungai ini didukung oleh rembesan-rembesan air tanah yang muncul di permukaan dengan debit yang bervariasi menurut curah hujan (Widyastuti dan Marfai, 2004; Waluyo, 2007).

Sumber pencemar potensial di Sungai Gajahwong di bagian hulu, adalah: rumah tangga, pertanian, dan jasa (rumah sakit/puskesmas, restoran, hotel, *laundry*); bagian tengah, adalah: pertanian dan pemukiman; dan di bagian hilir, adalah: pemukiman, jasa, dan industri. Sumber-sumber pencemar tersebut mengandung bahan organik dalam jumlah besar, yaitu: sabun dan deterjen, sampah sisa makanan, daun-daunan, pupuk, pestisida, dan bahan organik lainnya (Risyanto dan Widyastuti, 2004).

Tingkat pencemaran karena bahan organik dalam air sungai pada umumnya direpresentasikan oleh parameter kualitas air, yaitu BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) (Masters, 1998 dalam Vellidis *et al.*, 2006). Kadar zat organik yang tinggi di perairan dapat mengakibatkan turunnya DO (*Dissolved Oxygen*) karena DO digunakan untuk proses biodegradasi bahan organik dalam air. Konsentrasi DO yang rendah dalam air dapat mengakibatkan terganggunya ekosistem air yang ditandai dengan kematian ikan, bau dan gangguan estetika (Cox, 2003).

Dalam menyusun program-program pengelolaan kualitas air dan penanggulangan pencemaran air oleh bahan organik, diperlukan pemahaman yang baik mengenai proses-proses yang berpengaruh terhadap DO-BOD air sungai. Proses-proses ini sangat

kompleks, sehingga diperlukan pemodelan matematis menggunakan komputer (Karim dan Badruzzaman, 1999; Fan *et al.*, 2009). Pemodelan matematis merupakan solusi atas keterbatasan pendekatan eksperimen maupun analisis dalam membuat prediksi kualitas air sepanjang aliran sungai (Kannel *et al.*, 2011).

Saat ini terdapat enam model kualitas air yang paling banyak digunakan dan tersedia bebas, yaitu SIMCAT (Simulation Catchment), TOMCAT (Temporal Overall model for Catchments), WASP7 (Water Quality Analysis Simulation Program), dan QUASAR (Quality Simulation along Rivers), QUAL2EU, dan QUAL2Kw (Kannel *et al.*, 2011). Model-model ini memiliki perbedaan dalam hal proses-proses yang mendasari, kebutuhan input, asumsi, dan aplikasinya. Proses-proses yang mendasari model SIMCAT dan TOMCAT sangat sederhana. Model SIMCAT dan TOMCAT merupakan model yang terlalu banyak menyederhanakan proses-proses yang terjadi di dalam sungai sehingga diperoleh hasil prediksi yang cepat, namun kurang akurat. Model WASP7 dan QUASAR mensimulasikan proses-proses yang kompleks dalam sungai dan memerlukan data yang sangat banyak, sehingga menimbulkan kesulitan dalam mengalokasikan biaya dan waktu. Kompleksitas proses-proses yang mendasari model QUAL2EU dan QUAL2Kw dapat dikategorikan menengah bila dibandingkan dengan model SIMCAT dan TOMCAT serta model WASP7 dan QUASAR. Model QUAL2Kw memiliki kelebihan, yaitu adanya perlengkapan untuk mengkonversi kematian alga menjadi carbonaceous BOD (CBOD) sehingga lebih sesuai untuk perairan yang terdiri dari macrophyte daripada QUAL2EU (Kannel *et al.*, 2011).

Model QUAL2Kw telah diterapkan pada banyak sungai di dunia; salah satunya pada Sungai Bagmati, Nepal (Kannel et al., 2007). Hasil penelitian pada Sungai Bagmati menjamin penggunaan model QUAL2Kw sebagai pilihan untuk menentukan kebijakan kualitas air sungai di masa depan (Kannel et al., 2007).

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan model QUAL2Kw pada Sungai Gajahwong, Yogyakarta untuk menilai kualitas air pada parameter DO-BOD sekaligus melakukan simulasi untuk menentukan strategi penanggulangan pencemaran air oleh bahan organik di sungai tersebut.

METODE PENELITIAN

Wilayah studi

Wilayah studi dalam penelitian ini adalah Sungai Gajahwong, Yogyakarta.

Lokasi-lokasi pengambilan sampel air dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer yang dilengkapi dengan sistem operasi Windows dan software QUAL2Kw versi 5.1 dan program Excel 2007 untuk analisis data output QUAL2Kw. Software QUAL2Kw versi 5.1 beserta dengan manual booknya dapat diunduh melalui [situs: http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html](http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html).

Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data-data kualitas air Sungai Gajahwong tahun 2011 (Anonim, 2011a), data hasil pengukuran kualitas air

bulan Juni 2012, data hidrolika sungai (kecepatan aliran, luas penampang sungai, debit air) pengukuran tahun 2011 dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Sumber Daya Mineral Provinsi DIY dan data meteorologi 5 tahun (tahun 2006-2010) (Anonim, 2011b), Peta Rupa Bumi DIY 1:25.000 Lembar Pakem, Timoho, dan Pleret, dan peta sampling Sungai Gajahwong.

Cara Kerja

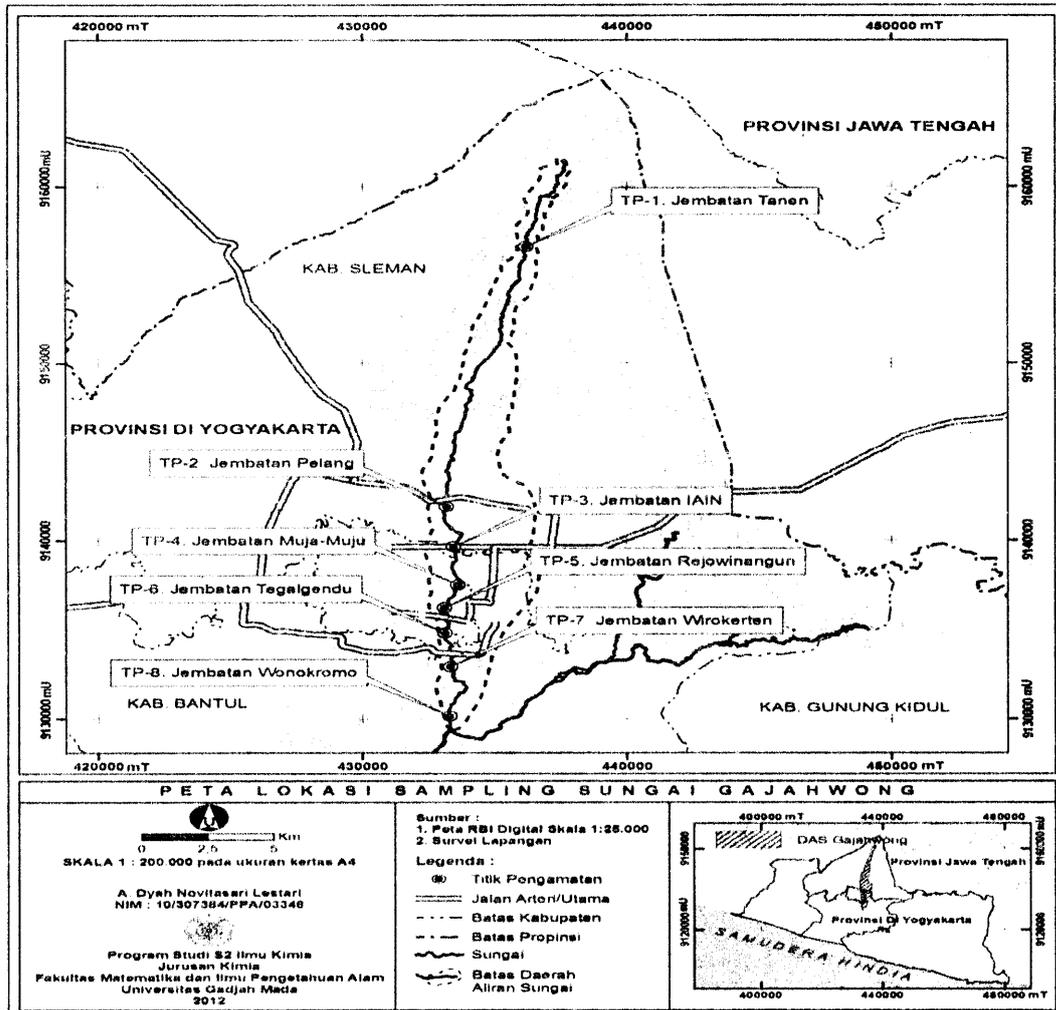
Segmentasi sungai

Langkah pertama dalam pemodelan QUAL2Kw ini adalah pembagian penggal sungai ke dalam ruas-ruas (reaches) yang sama panjangnya yaitu 0,5 km. Ruas-ruas ini dikelompokkan dalam segmen-segmen menurut kondisi lapangan (topografi) dan letak titik pengambilan sampel (Tabel 1). Titik pengambilan sampel dalam penelitian ini mewakili 3 daerah administratif yang dilalui oleh Sungai Gajahwong, yaitu Kabupaten Sleman (titik sampling Tanen-IAIN), Kabupaten Kota (IAIN-Tegalendu), dan Kabupaten Bantul (Tegalendu-Sungai Opak).

Penentuan parameter model dan asumsi-asumsi

Penentuan parameter model dan asumsi-asumsi, dilakukan melalui penelusuran literatur, perbandingan dengan data pengukuran lapangan, dan perhitungan statistik. Hal ini terutama dilakukan pada penentuan model reaerasi yang mendekati kondisi lapangan. Kriteria kuantitatif secara statistik yang digunakan untuk menilai kedekatan model dengan data pengukuran lapangan adalah koefisien validitas model (U).

Nilai U berkisar antara 0 hingga 1. Nilai U sama dengan 0 menunjukkan bahwa prediksi model sama dengan data pengukuran lapangan (kesesuaiannya sempurna). Nilai U sama dengan 1



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel air sungai

menunjukkan bahwa kesesuaian model dengan lapangan sangat buruk. Nilai U di bawah 0,5 dapat digunakan untuk menyatakan bahwa model dapat diterima (Deksissa, 2004). Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung U:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{i\text{prediksi}} - Y_{i\text{ukur}})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i\text{prediksi}}^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i\text{ukur}}^2}} \quad (4.1)$$

dimana:

$Y_{i\text{prediksi}}$ = nilai prediksi pada lokasi ke i

$Y_{i\text{ukur}}$ = nilai pengukuran pada lokasi ke i

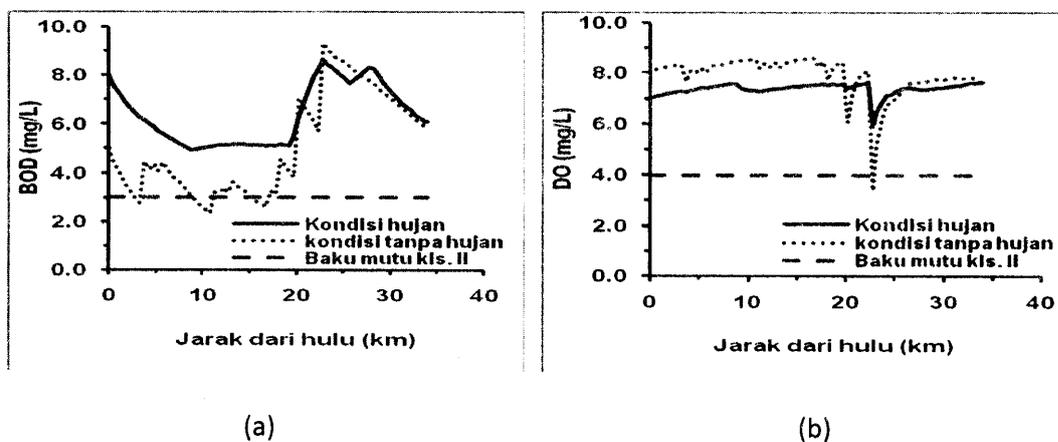
n = jumlah data berpasangan

Input Data ke program QUAL2Kw

Serangkaian data olahan dan hasil penentuan nilai parameter model pada tahap sebelumnya, diinputkan ke dalam program QUAL2Kw. Input data model QUAL2Kw meliputi: lokasi, tanggal, pilihan-pilihan kontrol integrasi numerik, debit dan konsentrasi-konsentrasi parameter di hulu, konsentrasi dan debit untuk point dan diffuse source, panjang ruas, elevasi, geometri hidrolika (input-input persamaan Manning untuk kedalaman dan kecepatan, yaitu

Tabel 1. Segmentasi Sungai Gajahwong

Segmen	Titik sampling	Kabupaten	Jarak dari hulu (km)
1	Jembatan Tanen	Sleman	00,00
2	Jembatan Pelang	Sleman	18,10
3	Jembatan IAIN	Sleman	21,21
4	Jembatan Muja Muju	Kota	23,68
5	Jembatan Rejowinangun	Kota	25,15
6	Jembatan Tegalendu	Kota	26,94
7	Jembatan Wirokerten	Bantul	29,52
8	Jembatan Wonokromo	Bantul	33,20



Gambar 2. Grafik (a) Hub. BOD Vs Jarak dan (b) Hub. DO vs Jarak untuk Sungai Gajahwong pada kondisi eksisting tahun 2011

kemiringan dasar sungai, koefisien kekasaran Manning, lebar dasar sungai), temperatur udara, kecepatan angin, tutupan awan, naungan, parameter redaman cahaya, pilihan untuk model radiasi matahari, penguapan (worksheet 'light and heat'), dan radiasi gelombang panjang, parameter untuk laju dan konstanta kinetika kualitas air air (worksheet 'rates').

Simulasi model

Berikut ini skenario-skenario yang dilakukan dalam penelitian ini:

Skenario 1: Skenario 1 dilakukan untuk memodelkan kondisi eksisting Sungai Gajahwong, baik pada kondisi

hujan (bulan Februari) maupun kondisi tanpa hujan (bulan Juli). Model yang dihasilkan diverifikasi menggunakan data hasil pengukuran bulan Juni 2012;

Skenario 2: Skenario 2 dilakukan untuk memprediksikan dampak dari pembuangan limbah cair domestik suatu perumahan penduduk pada daerah di dekat hulu sungai terhadap DO-BOD Sungai Gajahwong;

Skenario 3: Skenario 3 dirancang untuk mengkaji strategi pengelolaan kualitas air Sungai Gajahwong melalui pembangunan IPAL komunal pada setiap Kabupaten di sepanjang Sungai Gajahwong.

Analisis data output model QUAL2Kw

Langkah selanjutnya adalah analisis data yang diperoleh dari hasil *output* program QUAL2Kw. Data DO dan BOD hasil *running* diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik antara konsentrasi DO maupun BOD *versus* jarak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penentuan Parameter Model dan Asumsi-Asumsi

Secara umum parameter laju dan konstanta-konstanta serta koreksi temperatur pada worksheet 'rates' dan 'light and heat' yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan nilai default model QUAL2Kw. Model reaerasi yang digunakan adalah model USGS (pool-riffle). Penentuan parameter model pada worksheet 'rates' dan 'light and heat' ini dilakukan secara trial and error dengan menjalankan program QUAL2Kw pada dua seri data yang berbeda, yaitu data bulan Februari (kondisi hujan) dan data bulan Juli (kondisi tanpa hujan). Debit point source pada kondisi hujan mengikuti hasil penelitian sebelumnya (Susilatama, 2003), sedangkan debit pada kondisi tanpa hujan diasumsikan 50% debit kondisi hujan untuk saluran drainase pertanian dan 75% debit kondisi hujan untuk saluran dari rumah tangga. Dalam tahap ini, diasumsikan adanya tambahan beban pencemar dari proses run off (diffuse source) pada kondisi hujan (Bulan Februari), sedangkan pada kondisi tanpa hujan diasumsikan tidak terdapat diffuse source. Debit diffuse source diperkirakan dengan pendekatan neraca massa, yaitu sebesar 80% dari total debit masukan (Anonim, 2010), dengan asumsi tidak terdapat abstraksi aliran. Nilai koefisien validitas model U dalam penelitian ini adalah 0,08 untuk DO Bulan Februari dan 0,09 untuk DO bulan Juli. Nilai U untuk

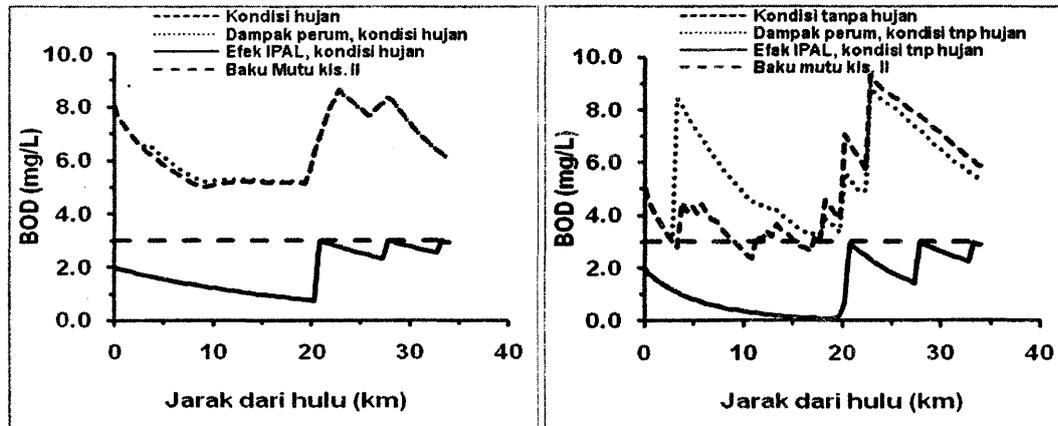
BOD bulan Februari adalah 0,11 dan nilai U untuk BOD Bulan Juli adalah 0,2. Nilai U di bawah 0,5 dapat digunakan sebagai acuan bahwa model dapat diterima penggunaannya secara statistik (Deksissa, 2004).

Penentuan Strategi untuk Pengelolaan Kualitas Air dan Penanggulangan Pencemaran air Sungai Gajahwong untuk parameter DO-BOD

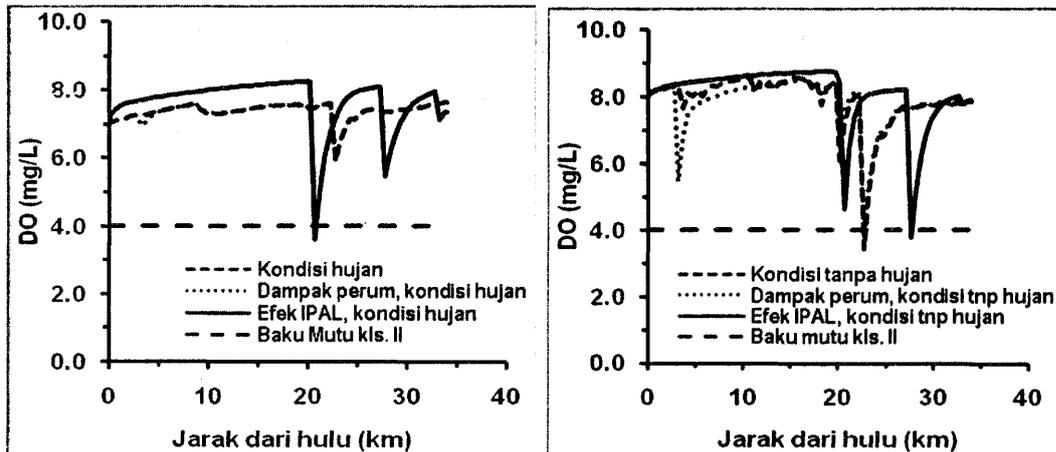
Strategi Pengelolaan kualitas air dan penanggulangan pencemaran air Sungai Gajahwong untuk parameter DO-BOD yang diajukan dalam penelitian ini adalah dengan pembangunan 1 buah IPAL komunal pada setiap kabupaten sepanjang DAS Gajahwong, yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Untuk menentukan konsentrasi aman yang boleh dibuang ke sungai, perlu dilakukan kajian kondisi eksisting DO-BOD sungai dan dampak rencana tata guna lahan yang berpengaruh terhadap DO-BOD sungai. Dalam penelitian ini telah disimulasikan dampak pembuangan limbah cair dari perumahan pada daerah dekat hulu Sungai Gajahwong.

Kajian kondisi eksisting Sungai Gajahwong

Hasil pemodelan QUAL2Kw untuk kondisi eksisting (tahun 2011) Sungai Gajahwong pada parameter DO-BOD ditunjukkan pada Gambar 2. Profil DO-BOD hasil pemodelan QUAL2Kw dibedakan dalam 2 kondisi, yaitu kondisi hujan (menggunakan data bulan Februari) dan kondisi tanpa hujan (menggunakan data bulan Juli). Pada Gambar 2(a) ditunjukkan bahwa konsentrasi BOD pada hampir semua titik pada Sungai Gajahwong telah melebihi baku mutu air kelas II.



Gambar 3. Grafik Hub. BOD Vs Jarak untuk Air Sungai Gajahwong dengan adanya perumahan dan IPAL komunal pada (a) kondisi hujan, dan (b) kondisi tanpa hujan



Gambar 4. Grafik Hub. DO Vs Jarak untuk Air Sungai Gajahwong dengan adanya perumahan dan IPAL komunal pada (a) kondisi hujan, dan (b) kondisi

Pada kondisi hujan terjadi peningkatan konsentrasi BOD sungai oleh bahan organik dari proses run off, sehingga konsentrasi BOD pada kondisi hujan secara umum lebih tinggi daripada kondisi tanpa hujan. Peningkatan BOD ini diikuti oleh penurunan DO sungai, namun DO Sungai Gajahwong tetap memenuhi baku mutu air kelas II (Gambar 2(b)). Hal ini dikarenakan kondisi Sungai Gajahwong yang dangkal dengan kecepatan alir yang memadai, sehingga dihasilkan laju reaerasi yang relatif tinggi.

Hasil Pemodelan kondisi eksisting tahun 2011 ini telah diverifikasi dengan data hasil pengukuran konsentrasi DO dan BOD pada tahun 2012. Nilai koefisien validitas U pada tahap verifikasi model kondisi hujan adalah 0,06 (untuk DO) dan 0,22 (untuk BOD), sedangkan pada tahap verifikasi model kondisi tanpa hujan 0,07 (untuk DO) dan 0,19 (untuk BOD). Nilai U di bawah 0,5 dapat digunakan sebagai acuan bahwa model dapat diterima secara statistik (Deksissa, 2004).

Kajian dampak pembuangan limbah cair dari perumahan perumahan di daerah dekat hulu Sungai Gajahwong

Pembangunan perumahan penduduk di daerah Kabupaten Sleman terus meningkat akhir-akhir ini. Pada penelitian ini, disimulasikan adanya suatu perumahan dekat Sungai Gajahwong pada jarak 3,25 km dari hulu yang membuang limbah cairnya pada konsentrasi 10 mg/L dengan debit total 0,1 m³/s.

Hasil pemodelan QUAL2Kw untuk dampak pembuangan limbah cair dari suatu perumahan pada jarak 3,25 km dari hulu sungai disajikan dalam Gambar 3 dan Gambar 4. Masuknya limbah cair domestik pada debit total 0,1 m³/s dengan konsentrasi 10 mg/L dari perumahan pada jarak 3,25 km dari hulu, mengakibatkan kenaikan BOD sungai dan penurunan DO sungai. Dampak ini lebih terasa pada kondisi tanpa hujan karena volume air sungai yang lebih kecil.

Strategi pengelolaan DO-BOD Sungai Gajahwong: Pembangunan IPAL komunal pada setiap kabupaten di DAS Gajahwong

Pada penelitian ini disimulasikan strategi pengelolaan DO-BOD Sungai Gajahwong dengan penurunan konsentrasi limbah cair organik yang masuk ke sungai melalui suatu IPAL komunal. Untuk mempermudah pengelolaannya, diajukan pembangunan 1 buah instalasi IPAL komunal pada setiap kabupaten sepanjang DAS Gajahwong, masing-masing terletak di dekat perbatasan antar kabupaten. Untuk daerah Kabupaten Sleman, diperlukan 2 buah IPAL komunal dimana 1 buah IPAL komunal ditujukan untuk menjaga konsentrasi hulu sungai agar sesuai dengan baku mutu air kelas I yang merupakan sasaran peruntukan air daerah hulu Sungai Gajahwong (Dusun Tanen). Perubahan konsentrasi DO-BOD Sungai

Gajahwong sebelum dan sesudah masuk limbah cair organik dari perumahan serta setelah adanya IPAL komunal disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Apabila konsentrasi BOD pada hulu sungai diturunkan hingga 2 mg/L dan masing-masing IPAL komunal di perbatasan kabupaten menurunkan konsentrasi BOD limbahnya hingga lebih kecil atau sama dengan 3,5 mg/L (Sleman), 3,9 mg/L (Kota), dan 6,0 mg/L (Bantul) pada kondisi hujan serta 3,3 mg/L (Sleman), 3,3 mg/L (Kota), dan 19,0 mg/L (Bantul) pada kondisi tanpa hujan; maka seluruh titik pada Sungai Gajahwong memenuhi baku mutu air kelas II.

Pada Gambar 4 (a), masuknya air keluaran IPAL komunal di Perbatasan Kabupaten Sleman dan Kota menyebabkan konsentrasi DO sungai di titik itu menurun hingga sedikit melebihi baku mutu air kelas II. Penurunan DO ini dapat diatasi dengan cara mengeluarkan air hasil olahan IPAL melalui suatu terjunan sehingga terjadi efek oksigenasi lokal.

KESIMPULAN

1. Menurut model QUAL2Kw, hampir seluruh titik pada Sungai Gajahwong telah melebihi baku mutu air kelas II
2. Hasil simulasi menggunakan model QUAL2Kw menunjukkan bahwa: (1) Rencana pembangunan sebuah perumahan pada jarak 3,25 km dari Jembatan Tanen yang membuang limbah cairnya pada debit total 0,1 m³/s dengan konsentrasi 10 mg/L ke Sungai Gajahwong, diprediksikan akan meningkatkan BOD dan menurunkan DO sungai, namun tidak begitu besar, dan (2) Strategi pengelolaan kualitas air dan penanggulangan pencemaran air oleh bahan organik pada Sungai

Gajahwong dapat dilakukan dengan pembangunan sebuah IPAL komunal pada setiap kabupaten dengan konsentrasi BOD air keluaran lebih kecil atau sama dengan 3,5 mg/L (Sleman), 3,9 mg/L (Kota), dan 6,0 mg/L (Bantul) pada kondisi hujan serta 3,3 mg/L (Sleman), 3,3 mg/L (Kota), dan 19,0 mg/L (Bantul) pada kondisi tanpa hujan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Pendidikan dan Kebudayaan atas bantuan biaya penelitian yang diberikan dan kepada BLH Provinsi DIY, Balai PSDA Provinsi DIY, serta Dinas PU, Perumahan dan Sumber Daya Mineral Provinsi DIY atas bantuan data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. *Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 22 Tahun 2007 tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi DIY*. Sekretariat Daerah Provinsi DIY. Yogyakarta
- Anonim. 2010. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta
- Anonim. 2011a. *Laporan Analisa Data Kualitas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2011*. BLH-DIY (Badan Lingkungan Hidup-Daerah Istimewa Yogyakarta). PT Proporsi. Yogyakarta
- Anonim. 2011b. *Publikasi Data Pos Klimatologi dan Hujan di Daerah Istimewa Yogyakarta*. Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Tahun 2010. Balai PSDA (Balai Pengelolaan Sumber Daya Air) Provinsi DIY (Daerah Istimewa Yogyakarta). Yogyakarta
- Cox, B. A. 2003. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *Sci. Total Environ.* 314:335–377
- Deksissa, T. 2004. *Dynamic Integrated Modelling of Basic Water Quality and Fate and Effect of Organic Contaminants in Rivers*. Disertasi. Ghent University. Belgium
- Fan, C., Ko, C.H, dan Wang, W.S. 2009. An Innovative Modeling Approach Using Qual2K and HEC-RAS Integration to Assess The Impact of Tidal Effect on River Water Quality Simulation. *J. Environ. Manage.* 5(90):1824–1832
- Kannel, P.R., Kanel, S.R., Lee, S., Lee, Y., dan Gan, T.Y. 2011. A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams. *Environ Model Assess.* 2(16):183–204
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., dan Pelletier, G.J. 2007. Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modelling and Management in The Bagmati River. *Nepal. Ecol. Modell.* 3–4(202):503–517
- Karim, M.R. dan Badruzzaman, A.B.M. 1999. Modeling of Nutrient Transport and Dissolved Oxygen in The Water Column in River System. *Pollut. Res.* 3(18):195–206
- Risyanto dan Widyastuti, M. 2004. Pengaruh Perilaku Penduduk dalam Membuang Limbah terhadap Kualitas Air Sungai Gajahwong. *Manusia dan Lingkungan*. Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia. 22(11):73-85

- Susilatama, S. 2003. Pengujian Tingkat Toksisitas Air Sungai Gajahwong dan Sungai Opak dengan Metode AOD (Aquatic Organism Environmental Diagnostic). *Tesis*. Pasca Sarjana Fakultas Teknik Sipil. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Vellidis, G., Barnes, P., Bosch, D.D., dan Cathey, A.M. 2006. Mathematical Simulation Tools for Developing Dissolved Oxygen TMDLs. *ASABE*. 4(49):1003–1022
- Widyastuti, M. dan Marfai, M.A. 2004. Kajian Daya Tampung Sungai Gajahwong terhadap Beban Pencemaran. *Majalah Geografi Indonesia*. 2 (18): 81