

PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI MENGGUNAKAN QUAL2K: STUDI KASUS SUNGAI SECANG KABUPATEN KULON PROGO PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Ahmad Baidowi¹, Suprpto Dibyosaputro²

¹Jurusan Kimia FMIPA UGM

Jl. Bulaksumur, Yogyakarta 55281, e-mail: jdowiba00@yahoo.com

Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM

Jl. Lingkungan Budaya, Sekip Utara Yogyakarta 55281

Abstrak

Telah dilakukan pemodelan kualitas air sungai menggunakan QUAL2K berdasarkan data pengukuran yang meliputi oksigen terlarut (DO), temperatur air, pH, total padatan terlarut (TDS), daya hantar listrik (EC), total padatan tersuspensi (TSS) dan hidrolika sungai. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Mei (setelah hujan) dan bulan Juli (sebulan tidak hujan). Status kualitas air sungai diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran dan prediksi model terhadap baku mutu air. Kalibrasi model menggunakan data bulan Mei dan validasi model menggunakan data bulan Juli. Sensitifitas model diuji untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur udara, awan dan naungan pepohonan di tepian sungai terhadap temperatur air. Kualitas air Sungai Secang dari hasil pengukuran dan prediksi model dibandingkan dengan baku mutu air masuk kategori kelas I kecuali TSS pada bulan Mei. Hasil sensitifitas model menunjukkan bahwa naungan pepohonan dapat menurunkan temperatur air pada skenario hari terpanas. Aplikasi QUAL2K digunakan untuk mengetahui prakiraan dampak pembuangan limbah pabrik bioetanol sebesar 2.500 m³/hari terhadap kualitas air Sungai Secang. Pembuangan limbah pada bulan Juli dapat berdampak besar pada kualitas air. Penurunan konsentrasi limbah dan penambahan debit air dapat meningkatkan DO daerah hilir.

Kata kunci: pemodelan, kualitas air, QUAL2K, Sungai Secang

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan di bumi sehingga kebutuhan air yang berkualitas baik serta ketersediaannya sangat diperlukan. Kualitas air sangat terkait dengan senyawa-senyawa kimia baik organik maupun anorganik serta keberadaan mikroorganisme yang memegang peranan penting dalam menentukan komposisi kimiawi air.

Sungai Secang merupakan sungai di pegunungan yang melewati kawasan hutan dimana hutan merupakan suatu komunitas vegetasi dengan kapasitas yang besar dalam penyimpanan unsur hara. Daun, cabang, dan batang pohon merupakan cadangan unsur hara yang dapat dimanfaatkan flora dan fauna lain ketika pohon tersebut tumbang kemudian mengalami proses dekomposisi. Selain sebagai cadangan unsur hara, hutan adalah daerah peresapan air hujan yang baik dan berperan dalam menjaga ketersediaan kuantitas air tanah.

Pada penelitian ini, Sungai Secang dipilih karena dimanfaatkan untuk memasok air ke waduk Sermo dan sumber air PDAM. Sungai Secang merupakan sungai alami namun seiring perubahan pemanfaatan lahan dan bertambahnya populasi penduduk yang berpotensi menurunkan kualitas air sungai sehingga mengganggu pasokan air minum dan keberadaan waduk.

Pemodelan adalah usaha untuk menggeneralisir proses yang terjadi di alam nyata ke dalam persamaan matematis

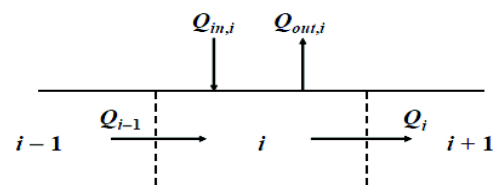
berdasarkan asumsi dan penyederhanaan (CREM U.S. EPA, 2003). Hasil dari pemodelan yang utama adalah sebuah prediksi pada kondisi dan waktu yang berbeda. Pemodelan yang tepat dapat menggambarkan perilaku dari parameter kualitas air dan proses-proses yang terjadi dalam air sungai.

Pada penelitian ini menggunakan model QUAL2K yang di unduh secara gratis dari

www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html

. Asumsi dalam model QUAL2K antara lain satu dimensi, senyawa dalam saluran bercampur sempurna secara lateral maupun vertikal, debit aliran bersifat *steady state* namun variabel kualitas air bersifat *non-steady state*.

Kesetimbangan debit aliran pada kondisi *steady state* untuk setiap elemen model dalam QUAL2K digambarkan seperti pada gambar 1 dan dapat dinyatakan dalam persamaan matematis 1.1 (Chapra dkk. 2006).



Gambar 1. Kesetimbangan debit aliran pada sebuah elemen (Chapra dkk. 2006)

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (1.1)$$

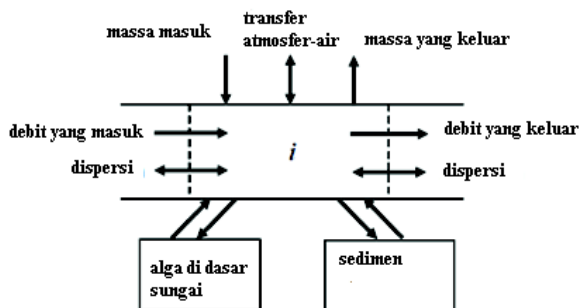
Dimana, Q_i = debit aliran elemen i yang masuk ke elemen hilir $i+1$ [$m^3/detik$]; Q_{i-1} = debit aliran dari elemen hulu $i-1$ [$m^3/detik$]; $Q_{in,i}$ = total debit aliran yang masuk dari sumber tertentu dan tidak tertentu [$m^3/detik$]; $Q_{out,i}$ = total debit yang keluar dari elemen [$m^3/detik$] disebabkan oleh sumber tertentu dan tidak tertentu.

Secara umum, kesetimbangan massa setiap variabel dalam ruas sungai ditunjukkan pada gambar 2 dan dinyatakan dalam persamaan matematis 1.2 (Chapra dkk. 2006).

Secara umum, kesetimbangan massa setiap variabel dalam ruas sungai ditunjukkan pada gambar 2 dan dinyatakan dalam persamaan matematis 1.2 (Chapra dkk. 2006).

$$\frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (1.2)$$

Dimana, V_i = volume elemen i [m^3]; W_i = beban eksternal yang masuk ke elemen i [g/detik atau mg/detik]; S_i = perubahan di dalam sumber (*sources*) dan penampung (*sink*) suatu variabel disebabkan oleh reaksi yang terjadi dan mekanisme transfer massa [g/ m^3 /detik atau mg/ m^3 /detik]; E'_i = koefisien *bulk* distribusi antara elemen i dan $i + 1$ [$m^3/detik$].



Gambar 2. Kesetimbangan massa dalam sebuah elemen (Chapra dkk. 2006)

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model QUAL2K untuk memperkirakan dampak suatu kegiatan yang berpotensi sebagai sumber pencemar terhadap Sungai Secang. Selain itu, membandingkan hasil model QUAL2K terhadap pengukuran analisis air Sungai Secang untuk mengetahui kualitasnya sesuai baku mutu air.

Penelitian dilakukan di Sungai Secang yang mengalir di desa Hargotirto, Kokap kabupaten Kulon Progo. Sungai Secang merupakan sungai alami dan relatif pendek serta berfungsi sebagai pemasok air utama untuk waduk Sermo. Data primer diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan dan di laboratorium yang dilakukan pada bulan Mei dan Juli 2009. Pengukuran di lapangan menggunakan termometer dan peralatan *portable* untuk DO, pH, EC, TDS. Pengukuran kualitas air meliputi DO, TDS, EC, pH dan temperatur air. Sedangkan pengukuran hidrolika sungai meliputi kecepatan alir, debit air dan kemiringan. Pengukuran kecepatan alir menggunakan larutan garam yang dimasukkan ke aliran sungai dan dicatat waktu tempuhnya.

Data pengukuran selanjutnya dimasukkan dalam model QUAL2K. Kalibrasi model menggunakan data bulan Mei 2009 sedangkan validasi model menggunakan data bulan Juli 2009. Pemilihan koefisien parameter dilakukan secara perulangan hingga diperoleh hasil prediksi sesuai dengan data pengukuran. Validasi model dilakukan dengan memasukkan data bulan Juli sedangkan koefisien parameter mengikuti hasil kalibrasi. Sensitifitas model dilakukan untuk menguji perubahan faktor eksternal meliputi temperatur udara, awan, naungan pepohonan di tepian sungai terhadap prediksi temperatur air.

Koefisien validitas model digunakan sebagai kriteria kuantitatif, apakah sebuah model diterima atau tidak. Nilai U berkisar antara 0 hingga 1. Nilai U sama dengan nol ketika nilai prediksi *overlap* secara sempurna dengan data pengukuran atau kesesuaiannya sempurna. Nilai U sama dengan 1 menunjukkan kesesuaian nilai prediksi dengan data sangat jelek (Deksissa, 2004). Pada (2.1) $y_{i,predks}$ adalah nilai prediksi pada lokasi ke i ; $y_{i,ukur}$ adalah nilai pengukuran pada lokasi ke i ; n adalah jumlah data berpasangan.

Bila model diterima maka dilanjutkan dengan mengaplikasikan model pada sebuah rencana pendirian perusahaan bioetanol yang akan membuang limbahnya ke Sungai Secang.

METODE PENELITIAN

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{i,predks} - y_{i,ukur})^2}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i,predks}^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i,ukur}^2}} \quad (2.1)$$

Hasil prediksi model terhadap dampak pembuangan limbah serta pengelolannya dilakukan dengan beberapa skenario. Hasil akhirnya adalah rekomendasi konsentrasi limbah yang boleh dibuang ke Sungai Secang sehingga tidak berdampak buruk pada lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Kalibrasi dan Validasi Model

Pada penelitian ini, Sungai Secang dibagi dalam dua segmen dengan panjang bervariasi. Penentuan segmen didasarkan pada topografi alam. Pada bagian hulu, sungai lebih curam, saluran sempit dan ternaungi oleh pepohonan. Pada bagian hilir, sungai lebih landai, saluran lebar dan pepohonan lebih jarang. Dari peta tingkat erosi dinyatakan bahwa daerah di sebelah

timur sungai termasuk kategori erosi berat sedangkan daerah di sebelah barat sungai tergolong dalam kategori erosi sangat berat. Sumber pemasok tambahan air Sungai Secang adalah dua sungai kecil sebagai sumber tertentu, dua saluran kecil dan rembesan air dari mata air kecil yang tersebar di tepian sungai sebagai sumber tidak tertentu.

Hasil pengukuran parameter hidrolika dan kualitas air sungai pada bulan Mei dan Juli disajikan dalam tabel 1-3 (ditampilkan sebagai nilai rata-rata sedangkan data dan koefisien parameter secara lengkap dapat dilihat dalam versi tesis). Hasil pengukuran dan prediksi model QUAL2K selanjutnya dibandingkan terhadap baku mutu air untuk mengetahui kategori kelas air Sungai Secang

Tabel 1. Data pengukuran hidrolika sungai tanggal 24 Mei dan 18 Juli 2009

Loka-si	Kode	Kemiri-ngan (m/m)	Laju alir (m/det)		Debit (m ³ /det)		Ketinggian (m)	<i>n</i> Manning	Posisi
			Kal	Val	Kal	Val			
Hilir	I	0,02	0,167	0,02	0,0618	0,0072	160	0,03	07°48,640' LS 110°06,615' BT
An.su ngai	II	0,02	0,167	0,03	0,0404	0,0021	161	0,04	07°48,588' LS 110°06,611' BT
Segm en2	III	0,03	0,16	0,04	0,1392	0,0173	209	0,04	07°47,945' LS 110°06,881' BT
Salur an kecil1	IV	0,01	0,11	0,08	0,0217	0,0034	211	0,04	07°47,930' LS 110°06,875' BT
An.su ngai	V	0,03	0,148	0,009	0,0826	0,0009	210	0,05	07°47,920' LS 110°06,670' BT
Salur an kecil2	VI	0,03	0,25	0,1	0,0887	0,0039	450	0,04	07° 47,058' LS 110°06,180' BT
Hulu	VII	0,05	0,25	0,077	0,0556	0,0039	494	0,04	07° 47,008' LS 110o06,141' BT

Tabel 2. Data pengukuran kualitas air tanggal 24 Mei 2009

Lokasi	Kode	pH	TDS (mg/L)	EC (µS/cm)	DO (mg/L)	Temp (°C)	TSS (mg/L)
Hilir	I	7,86	164	328	6,64	27	54,78
An.sung1	II	8	184	374	6,32	27,4	45,85
Segmen2	III	7,94	154	304	6,52	25,40	48,71
Sal.kecil1	IV	7,54	150,2	300	6,64	26,2	46,09
An.sung2	V	8,02	154	326	6,76	26,6	68,42
Sal.kecil2	VI	7,72	148,6	300,2	6,3	24,2	54,02
Hulu	VII	7,66	156	310	6,16	24,2	55,56

Tabel 3. Data pengukuran kualitas air tanggal 18 Juli 2009

Lokasi	Kode	pH	TDS (mg/L)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	DO (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	TSS (mg/L)
Hilir	I	7,38	198	404	5,68	24,2	4,50
An.sung1	II	7,58	212	426	6,9	24,4	5,33
Segmen2	III	7,36	162	316	6,26	24,20	7,54
Sal.kecil1	IV	7,22	160	306	6,08	24,2	7,18
An.sung2	V	7,22	154	312	6,2	24,2	6,14
Sal.kecil2	VI	7,16	166	336	6	22,4	4,72
Hulu	VII	7,26	172	356	5,58	22,2	3,60

Tabel 4. Koefisien parameter yang digunakan untuk kalibrasi

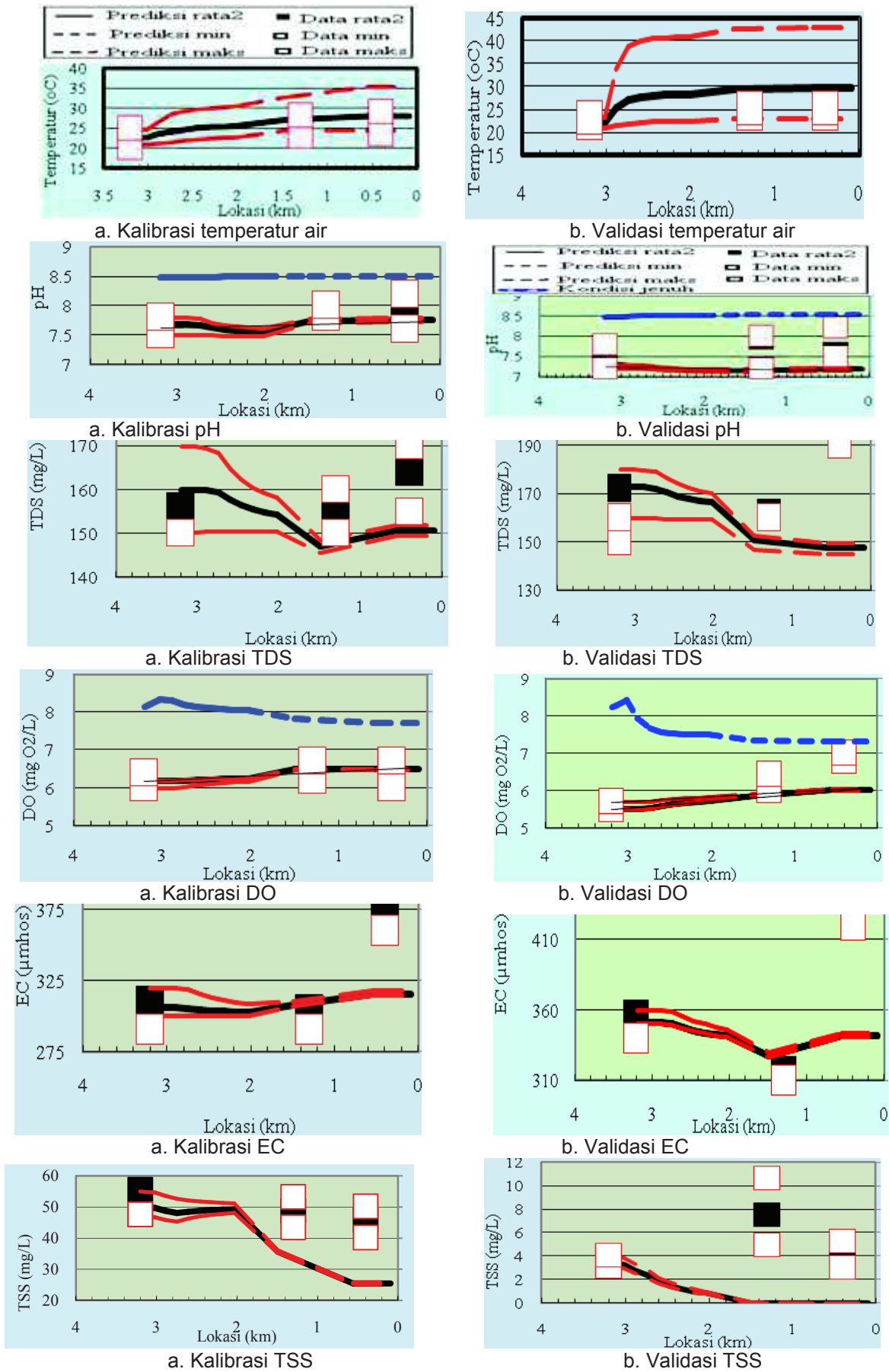
Parameter	Nilai	Unit	Simbol
Stoichiometry:			
Carbon	40	gC	gC
Nitrogen	7.2	gN	gN
Phosphorus	1	gP	gP
Dry weight	100	gD	gD
Chlorophyll	1	gA	gA
Inorganic suspended solids:			
Settling velocity	1.304	m/hari	v_i
Oxygen:			
Reaeration model	Owens-Gibbs		
Temp correction	1.024		q_a
Reaeration wind effect	None		
O2 for carbon oxidation	2.69	gO_2/gC	r_{oc}
O2 for NH4 nitrification	4.57	gO_2/gN	r_{on}

Hasil kalibrasi model mempunyai kesesuaian yang baik dengan data lapangan. Nilai U dan R^2 (dalam kurung) untuk temperatur air =0,03 (0,93); pH =0,01 (0,22); TDS =0,03 (0,74); DO =0,01 (0,84); EC =0,05 (0,61); TSS =0,16 (0,87). Nilai R^2 menyatakan hubungan antara variabel terhadap jarak lokasi dari hilir. Nilai U dibawah 1 mengindikasikan bahwa hasil prediksi model dapat diterima. Sementara itu, Nilai U dan R^2 validasi model adalah temperatur air =0,08 (0,59); pH =0,04 (0,42); TDS =0,09 (0,91); DO =0,05 (0,97); EC =0,05 (0,42); TSS =0,62 (0,79).

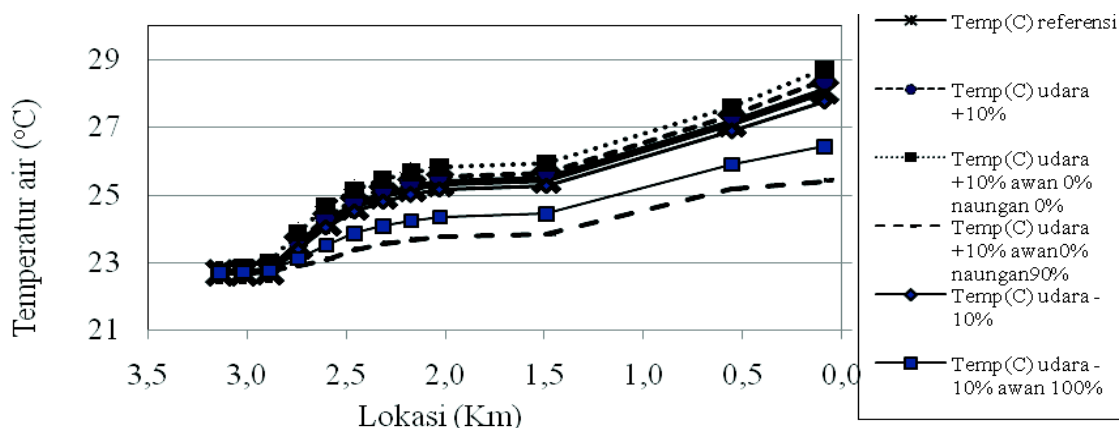
Pascual dkk. (2003) menyatakan *uncertainty* digunakan untuk menggambarkan informasi yang tidak lengkap tentang parameter yang digunakan atau struktur internal model. Woodhouse and Lukas (2008), menyatakan bahwa *uncertainty* suatu model dapat diperoleh dari nilai RMSE meskipun tidak merefleksikan seluruh sumber *uncertainty*. Semakin sedikit sampel maka

nilai *uncertainty* lebih tinggi. Akurasi dan presisi data pengukuran yang dipakai merupakan sumber utama *uncertainty*. Nilai terbesar RMSE secara berurutan adalah EC (33,88), TSS (14,37) TDS (9,00), laju alir (1,51), temperatur (1,37), kedalaman (0,32), debit (0,19), pH (0,18), dan DO (0,10). Dari nilai RMSE tersebut menunjukkan bahwa data pH dan DO mempunyai *uncertainty* yang kecil. Hal ini didukung oleh nilai kesalahan relatif dan kesalahan absolutnya yang kecil. Pada penelitian selanjutnya, parameter dengan *uncertainty* besar (EC, TSS, TDS) membutuhkan perlakuan dan perhatian khusus sehingga diperoleh data yang lebih baik.

Sensitifitas model dilakukan untuk mengetahui perubahan eksternal berupa temperatur udara, awan dan naungan pepohonan terhadap hasil prediksi temperatur air. Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario perubahan seperti dalam gambar 4. Peningkatan temperatur udara sekitar 10%



Gambar 3. Kalibrasi dan validasi Sungai Secang



Gambar 4. Sensitifitas model terhadap perubahan temperatur udara, naungan dan awan

diprediksi dapat meningkatkan temperatur air di daerah hilir sebesar $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ (atau naik $1,10\%$). Penurunan temperatur udara sekitar 10% diprediksi menurunkan temperatur air di daerah hilir sebesar $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (atau turun $1,18\%$) dan seterusnya.

3.2 Prakiraan Dampak Pencemaran Air Sungai

Model QUAL2K yang telah dikalibrasi digunakan untuk memperkirakan dampak pembuangan limbah cair perusahaan bioetanol terhadap Sungai Secang. Hasil analisis limbah cair bioetanol mengandung pH (4,0); temperatur ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$); BOD_5 (150 mg/L); DO ($2,0\text{ mg/L}$); TDS (900 mg/L); EC ($1200\text{ }\mu\text{mhos/cm}$); dan TSS (400 mg/L). Hasil perkiraan dampak pembuangan limbah cair perusahaan bioetanol terhadap Sungai Secang dapat dilihat pada gambar 5. Dari gambar 5 menunjukkan bahwa pembuangan limbah cair ke Sungai Secang akan mempengaruhi kualitas air dengan tingkat yang berbeda antara bulan Mei dan Juli. Model QUAL2K telah memprediksi bahwa dampak besar pembuangan limbah cair pada bulan Mei (hari hujan) adalah pH dan DO. Sementara itu, pembuangan limbah cair pada bulan Juli (bulan tanpa hujan) berdampak besar pada EC, TDS, pH dan DO,

3.3 Strategi pengelolaan limbah untuk meningkatkan DO

Pengolahan limbah hingga konsentrasi yang aman dan tidak menimbulkan bahaya bagi lingkungan tentunya berkaitan dengan biaya dan waktu. Strategi pengelolaan limbah dilakukan dalam beberapa skenario penurunan konsentrasi limbah dan penambahan debit air ke Sungai Secang. Pada gambar 6a menunjukkan bahwa pengelolaan limbah hingga konsentrasi berkurang 50% masih belum bisa meningkatkan DO di daerah hilir secara

signifikan. Nilai DO hasil prediksi $1,7\text{ mg/L}$ masih dibawah baku mutu kelas 4. Bila pengelolaan limbah dilanjutkan lagi hingga konsentrasi turun 80% maka nilai DO meningkat hingga $3,7\text{ mg/L}$ dimana limbah yang dibuang hanya 10% dari total limbah yang dihasilkan seperti pada gambar 6b. Penambahan air ke aliran sungai sebesar $0,001\text{ m}^3/\text{detik}$ tidak memberikan peningkatan yang signifikan terhadap peningkatan DO. Pada pengelolaan lebih lanjut hingga konsentrasi limbah hampir sama dengan konsentrasi awal sungai dapat meningkatkan DO di atas $5,66\text{ mg/L}$ seperti pada gambar 6c. Penambahan debit air dapat meningkatkan DO aliran. Dari skenario di atas maka dapat disarankan kepada perusahaan untuk mengolah limbah cairnya terlebih dahulu hingga konsentrasi minimum sehingga tidak berdampak buruk pada DO di hilir.

SIMPULAN

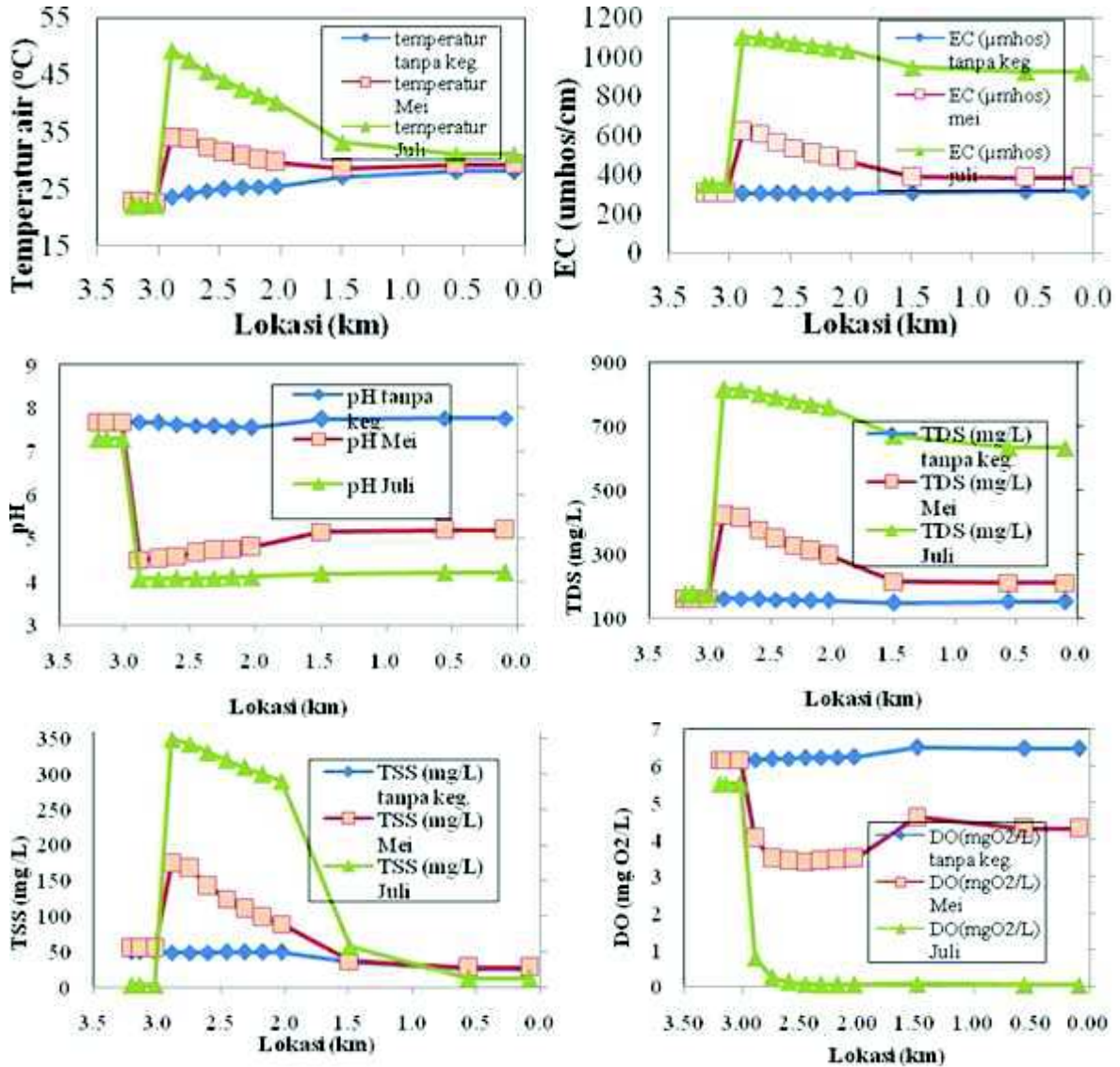
Berdasarkan hasil dan pembahasan maka disimpulkan bahwa model QUAL2K dapat digunakan untuk memprediksi kualitas air sungai. Nilai U untuk kalibrasi dan validasi dibawah $0,5$ yang menunjukkan model dapat diterima baik. Nilai U pada kalibrasi temperatur ($0,03$), pH ($0,01$), TDS ($0,03$), DO ($0,01$), TSS ($0,16$) dan EC ($0,05$). Nilai U pada validasi temperatur ($0,08$), pH ($0,04$), TDS ($0,09$), DO ($0,05$), TSS ($0,62$) dan EC ($0,05$).

Aplikasi model QUAL2K dapat digunakan untuk memprakirakan dampak pembuangan limbah cair pabrik bioetanol ke aliran Sungai Secang. Apabila ada pembuangan limbah di musim kemarau maka akan berdampak besar terhadap penurunan pH dan DO. Konsentrasi DO di sungai akan meningkat, apabila konsentrasi limbah berkurang atau debit sungai meningkat.

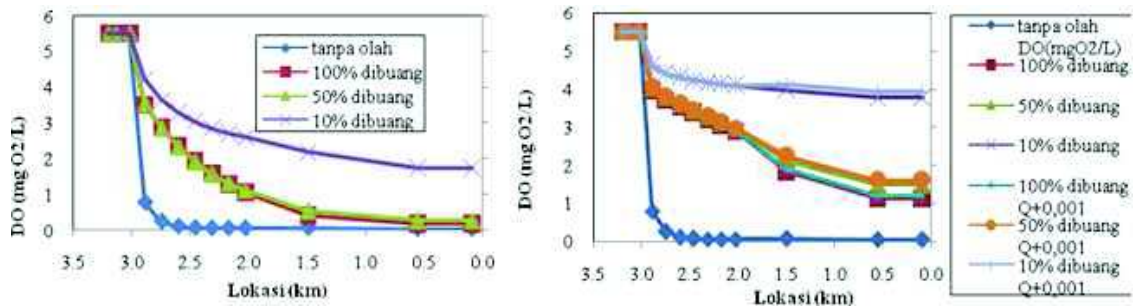
Hasil pengukuran dan prediksi model menunjukkan bahwa kualitas air Sungai

Secang masuk kelas I kecuali TSS pada hari hujan. Nilai TSS yang tinggi pada hari hujan mengindikasikan laju erosi yang tinggi oleh air hujan.

Kualitas air sungai mengalami perubahan antara hari hujan dan bulan tanpa hujan. Pada bulan tanpa hujan konsentrasi TDS, EC, DO dan temperatur air turun.



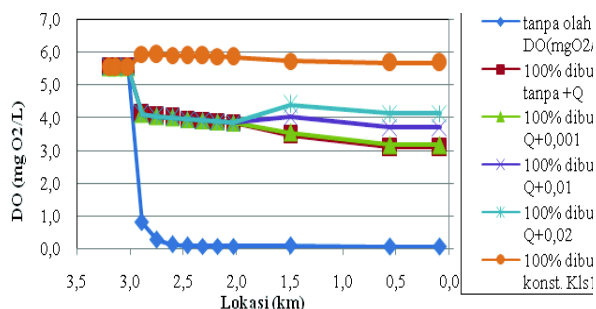
Gambar 5. Prakiraan dampak pembuangan limbah cair pada Sungai Secang



a) Konsentrasi limbah turun 50%

b). Konsentrasi limbah turun 80% dan penambahan debit

Gambar 6. Strategi pengolahan limbah Untuk meingkatkan DO.



Gambar 6 Pengolaha limbah: c) konsentrasi limbah minimum dan penambahan debit

DAFTAR PUSTAKA

- AMEC Earth & Environmental and ERO Resources Corporation, 2008, *Stream Water Quality Modeling and Methods Report: Windy Gap Firming Project*, prepared for U.S. Bureau of Reclamation, Colorado, U.S.A
- Asdak, C., 2002, *Hidrologi dan Pengelolaan DAS*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Bowie, G.L., Mills, W.B., Parcella, D.B., Campbell, C.L., Pagenkoft, J.R., Rupp, G.L., Johnson, K.M., Chan, P.W.H., Gherini, S.A., 1985, *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling* (second edition), Environmental Research Laboratory Office of Research and Development, U.S. EPA, Athens, Georgia
- Chaminda, G.G.T., Aramaki, T., Amarasekara, T., Herath, G.B.B., Babel, M.S., 2004, *Modeling and Assessment of Water Quality in The Kelani River, Sri Lanka*, Final Report, Sri Lankan National Water Supply & Drainage Board, Colombo, Sri Lanka
- Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H., 2006, *QUAL2K : A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual*, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA
- CREM U.S. EPA, 2003, *Assessment Report: Draft Guidance Modules Appendix 2*, EPA the Council for Regulatory Environmental Modeling, Whashington, D.C.
- Deksissa, T., 2004, *Dynamic Integrated Modelling of Basic Water Quality and Fate and Effect of Organic Contaminants in Rivers, Ph.D Thesis*, Ghent University, Belgium
- Gammal, H.A., Shazely, H.S., 2008, *Water Quality Management Scenarios in Rosetta River Nile Branch, Egypt, Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 2008*, Alexandria, Egypt
- Kannel, P.R., Lee, S., Kanel, S.R., Lee, Y.S., Ahn, K.H., 2007, *Application of QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Dissolved Oxygen Control in The River Bagmati, Environment Monitoring Assesment*, No: 125, hal. 201-217
- Mohamed, M., Yahya, T., Tang, H.S., 2003, *Water Quality Modeling and Flow Augmentation- Sg. Merlimau Case Study*, Patnership in River Enhancement Program (PREP), Institute of Environmental and Water Resources Management (IPASA), Universiti Teknologi Malaysia, Johor
- New Mexico Environment Departement/Surface Water Quality Bureau (NMED/SWQB), 2005, *Final Total Maximum Daily Load (TMDL) for the San Juan River Watershed (part 1)*, www.nmenv.state.nm.us/swqb/index.html, diakses tanggal 6 Oktober 2009
- Obregon, O., 2008, *Assessing Water Quality Modeling In Subtropical Regions Based on A Case Study of The Aguamilpa Reservoir, Thesis*, Department of Civil And Environmental Engineering, Brigham Young University
- O'Driscoll, M.A., DeWalle, D.R., 2004, *Stream-Air Temperatur Relationships as Indicators of Groundwater Inputs, Watershed Update, AWRA Hydrology & Watershed Management Technical Committee*, Vol. 2 no. 6
- Park, S.S., Lee, Y.S., 2002, *A Water Quality Modeling Study of The Nakdong River, Korea, Ecological Modelling*, Vol. 152, hal. 65-75
- Pascual, P., Stiber, N., Sunderland, E., 2003, *Draft Guidance on the Development, Evaluation, and Application of Regulatory Environmental Models*, EPA Council for Regulatory Environmental Modeling, Whashington, D.C.
- Schnoor, J.L., 1996, *Environmental Modeling: Fate and Transpor of Pollutant in Water, Air, and Soil*, John Wiley & Sons, Inc. New York
- Woodhouse, C., and Lukas, J., 2008, Part 4: *Validation, Skill Assessment, and Uncertainty, Technical Workshop for Water Resource Managers*, Boulder City, Nevada.