

**KAJIAN TOTAL DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN HARIAN
MENGUNAKAN PEMODELAN QUAL2K UNTUK PENCEMAR BOD, TSS,
AMMONIA, FOSFAT DAN NITRAT DI SUNGAI KAMPUNG BUGIS, TARAKAN**
*(Study of Total Maximum Daily Load Using QUAL2K Modelling for BOD, TSS, Ammonia,
Phosphate and Nitrate Pollutants in Kampung Bugis River, Tarakan)*

Eko Sugiharto*, Christian Widya Purnama Setyabudi dan Endang Astuti.

Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jl. Lingkungan Budaya, Sekip Utara, Yogyakarta, 55281

*Penulis korespondensi. No.Telp./Fax. (0274) 565722. Email: ekosugiharto@ugm.ac.id

Diterima: 12 Januari 2014

Disetujui: 13 Maret 2014

Abstrak

Telah dilakukan studi untuk mengetahui kualitas air serta memprakirakan beban pencemar di Sungai Kampung Bugis Kota Tarakan Kalimantan Utara. Metode pendekatan yang digunakan adalah dengan simulasi pemodelan QUAL2K serta metode perhitungan Total Beban Tampung Maksimum Harian. Berdasar hasil studi, dinyatakan bahwa kandungan pencemar khususnya BOD dan NH_3 di Sungai Kampung Bugis melebihi Baku Mutu Lingkungan (BML). Hal serupa didapat dari hasil pemodelan QUAL2K, dinyatakan bahwa Sungai Kampung Bugis tidak dapat menampung beban pencemar TSS, BOD dan NH_3 . Namun demikian, beban pencemar lainnya yaitu NO_3 dan PO_4 masih berada pada batas normal, di bawah nilai BML. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan QUAL2K, dapat diprediksi bahwa pola persebaran pencemar untuk masing-masing pencemar di Sungai Kampung Bugis pada setiap ruas dari hulu menuju hilir tidak merata, kecuali pada PO_4 dan NO_3 . Hasil perhitungan total beban maksimum harian pencemar adalah BOD 90,32 kg/hari, TSS 73,77 kg/hari, NH_3 5,11 kg/hari, PO_4 0,03 kg/hari dan NO_3 sebesar 5,75 kg/hari.

Kata kunci: total beban tampung maksimum harian, model QUAL2K, beban pencemar.

Abstract

Determination and prediction studies on water quality as well as on the number of pollutant load in Kampung Bugis River, Tarakan, South Borneo were studied. The approaching methods used were modelling simulation with QUAL2K and calculating method with Total Maximum Daily Load (TMDL). Based on the result of study, the number of pollutants in Kampung Bugis River were exceeding the environmental quality standards especially for BOD and NH_3 . However, for other pollutants, PO_4 and NO_3 were on normal level, below than the environmental quality standard. Simulation results by QUAL2K stated that the prediction of dispersion pattern for each pollutant from the headwaters to downstream were uneven, except for PO_4 and NO_3 . In addition, the load capacity results for BOD, TSS, NH_3 , PO_4 and NO_3 were 90.32; 73.77; 5.11; 0.03 and 5.75 kg/day, respectively.

Keywords: total maximum daily load, QUAL2K model, load capacity of pollutant.

PENDAHULUAN

Dewasa ini, dapat diamati bahwa kualitas lingkungan hidup makin lama makin memburuk. Hal ini senada dengan yang diungkapkan oleh Wealth Health Organization (WHO) dalam Susanto dkk. (2009) dimana salah satu masalah yang sering muncul adalah menurunnya kualitas dan kuantitas sumber daya air yang sebenarnya harus selalu dijaga demi untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Masalah yang sama juga mulai terlihat di Tarakan, kota yang berada dalam sebuah pulau kecil di sebelah timur Pulau Kalimantan. Terdapat 3 isu prioritas di lingkungan Kota Tarakan yang perlu perhatian khusus, di antaranya, isu terkait

masalah air, bencana alam dan masalah permukiman di pesisir. Secara khusus, isu sumber air di lingkungan tersebut terkait dengan permasalahan kuantitas sumber air baik air permukaan maupun air tanah dan permasalahan kualitas sumber air yang dipengaruhi oleh kegiatan domestik rumah tangga, pertanian, pertambangan, kegiatan industri maupun kegiatan jasa lainnya (BPLH Kota Tarakan, 2012).

Perencanaan serta perhitungan terkait keberadaan pencemar di suatu wilayah baik secara kuantitatif maupun kualitatif diperlukan guna menyikapi kondisi ini. Salah satunya adalah dengan melakukan prediksi persebaran pencemar menggunakan model QUAL2K. Model QUAL2K

merupakan versi modern dari *US Environmental Protection Agency's (EPA) standard river water-quality model: QUAL2E* (Fakhraei dan Karimi-Jashni, 2010) yang dimodifikasi untuk mengatasi semua keterbatasan versi sebelumnya (Hassanin, 2007). QUAL2K digunakan untuk memodelkan kualitas air sungai sesuai rekomendasi US EPA (Salvai dan Bezdán, 2008). Model untuk menghitung TMDL secara umum dibagi menjadi 3 (Borah dkk., 2006), yaitu model beban pencemar (*loading model*), model yang menghitung dampak perairan (*receiving model*) dan model badan perairan (*watershed model*).

Selain itu, perhitungan total daya tampung beban pencemaran harian atau yang lebih dikenal sebagai *Total Maximum Daily Load (TMDL)* dapat dipilih sebagai langkah selanjutnya. Perhitungan ini selain dapat digunakan untuk mengetahui penilaian standar kualitas dan kuantitas perairan dari jumlah maksimum polutan, dapat pula digunakan untuk mengetahui sumber polusi dan memprakirakan pola pengurangan polutan. Apabila metode ini telah digunakan, kondisi perairan harus dijaga agar tetap sesuai standar kualitas air, alokasi jumlah sumber polutan, dan sesuai dengan proses pemulihan serta perlindungan sungai yang telah ditetapkan tanpa mengakibatkan sungai tersebut tercemar (Copeland, 2012; PerMen LH No.1, 2010).

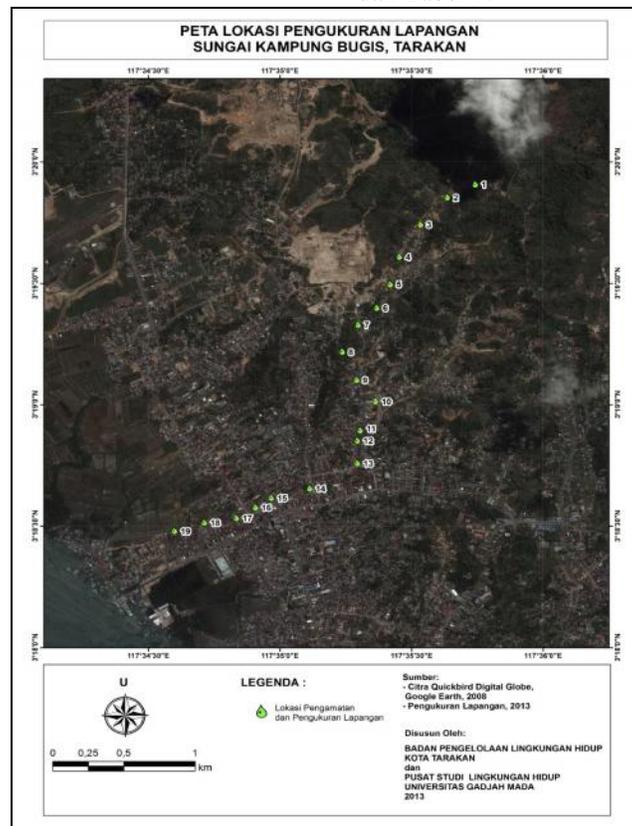
Lebih lanjut, pengembangan TMDL bertujuan untuk menghilangkan penyebab tercemarnya perairan sehingga sesuai dengan standar setiap polutan (Copeland, 2012), mempertimbangkan kondisi intrinsik sumber air dan baku mutu air yang ditetapkan (PerMen LH No.1, 2010) dan melindungi kesehatan manusia. Selain itu TMDL juga dapat memonitoring dan meninjau program manajemen di masa mendatang dan sebagai dasar dalam mengontrol kualitas air terhadap suatu polusi (US EPA, 2001).

Berdasarkan kondisi tersebut, studi ini bertujuan untuk mengetahui nilai beban pencemar maksimum yang diizinkan oleh pemerintah dengan cara membuat simulasi dan perhitungan kondisi kritis di Sungai Kampung Bugis, Tarakan, Kalimantan dengan menggunakan konsep perhitungan TMDL dan permodelan.

METODE PENELITIAN

Penentuan wilayah studi

Studi dilakukan di Sungai Kampung Bugis, Tarakan (5,377 km) yang dibagi dalam 3 segmen utama dengan total 19 ruas pengukuran. Segmen I yaitu ruas 1-8; segmen II yaitu ruas 9-13 dan segmen III yaitu ruas 14-19. Peta serta koordinat lokasi pengambilan sampel tampak pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel

Tabel 1. Data koordinat lokasi pengambilan sampel

No	Nama	Panjang (km)	Lebar (m)	Koordinat	
				Lintang	Bujur
01	Ruas 1	0,283	0,65	3°19'54.637''	117°35'44.450''
02	Ruas 2	0,566	1,32	3°19'51.420''	117°35'38.160''
03	Ruas 3	0,849	2,70	3°19'44.700''	117°35'32.040''
04	Ruas 4	1,132	2,92	3°19'36.720''	117°35'27.240''
05	Ruas 5	1,415	1,90	3°19'29.940''	117°35'25.140''
06	Ruas 6	1,698	4,70	3°19'24.120''	117°35'22.080''
07	Ruas 7	1,981	5,20	3°19'19.920''	117°35'17.820''
08	Ruas 8	2,264	2,54	3°19'13.260''	117°35'14.220''
09	Ruas 9	2,547	2,70	3°19'6.300''	117°35'17.460''
10	Ruas 10	2,830	7,10	3°19'1.020''	117°35'21.780''
11	Ruas 11	3,113	2,30	3°18'53.820''	117°35'18.300''
12	Ruas 12	3,396	2,40	3°18'51.300''	117°35'17.640''
13	Ruas 13	3,679	4,10	3°18'45.720''	117°35'17.640''
14	Ruas 14	3,962	3,40	3°18'39.480''	117°35'06.780''
15	Ruas 15	4,245	3,30	3°18'37.140''	117°34'58.020''
16	Ruas 16	4,528	3,55	3°18'34.800''	117°34'54.420''
17	Ruas 17	4,811	5,57	3°18'32.160''	117°34'50.100''
18	Ruas 18	5,094	6,20	3°18'31.020''	117°34'42.780''
19	Ruas 19	5,377	8,30	3°18'28.980''	117°34'36.000''

Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam studi ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh pada saat survei lapangan di bulan Agustus 2013, meliputi: Pengukuran hidrometri saluran sungai meliputi kemiringan sungai, lebar sungai, kemiringan sisi sungai, *mannig*, kecepatan arus, luas penampang basah, debit sungai dengan menggunakan meteran, *abney level*, *stopwatch*, dan tongkat berskala. Pengukuran debit dilakukan dengan *Velocity Area Method*. Pada metode ini, debit (Q) suatu aliran diperoleh sesuai persamaan (1) dan (2):

$$Q = A \times V \quad (1)$$

dengan,

Q = debit aliran ($m^3/detik$)

V = kecepatan aliran ($m/detik$)

A = luas penampang basah (m^2)

= lebar sungai X kedalaman sungai (2)

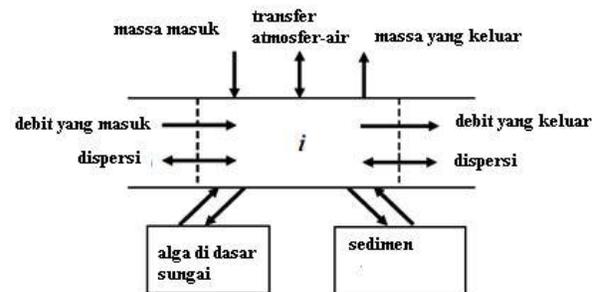
Penentuan koordinat meliputi letak Lintang dan Bujur serta elevasi dilakukan dengan menggunakan GPS, dan pengukuran *in situ* seperti suhu dengan termometer, nilai pH dan DHL dengan alat *portable* pengukur pH/DHL/TDS merek HI 98 11-0 buatan *Hanna Instrument Italia*. Selanjutnya, analisis sampel dilakukan di laboratorium milik dan oleh BPLH Kota Tarakan.

Data sekunder meliputi data kualitas air, data klimatologi dan data sumber pencemar merupakan data yang diperoleh dari BPLH Kota Tarakan. Penentuan nilai kritis dilakukan dengan berdasar Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 dan Peraturan Gubernur Kalimantan Timur No.02

Tabel 2. Indikator baku mutu lingkungan yang digunakan

Indikator (mg/L)	Sasaran nilai	
	Per Gub KalTim No. 02 Tahun 2011*	PP No. 82 Tahun 2001**
BOD	2	2
TSS	50	50
Amonia	0,5	0,5
Fosfat	0,2	0,2
Nitrat	10	10

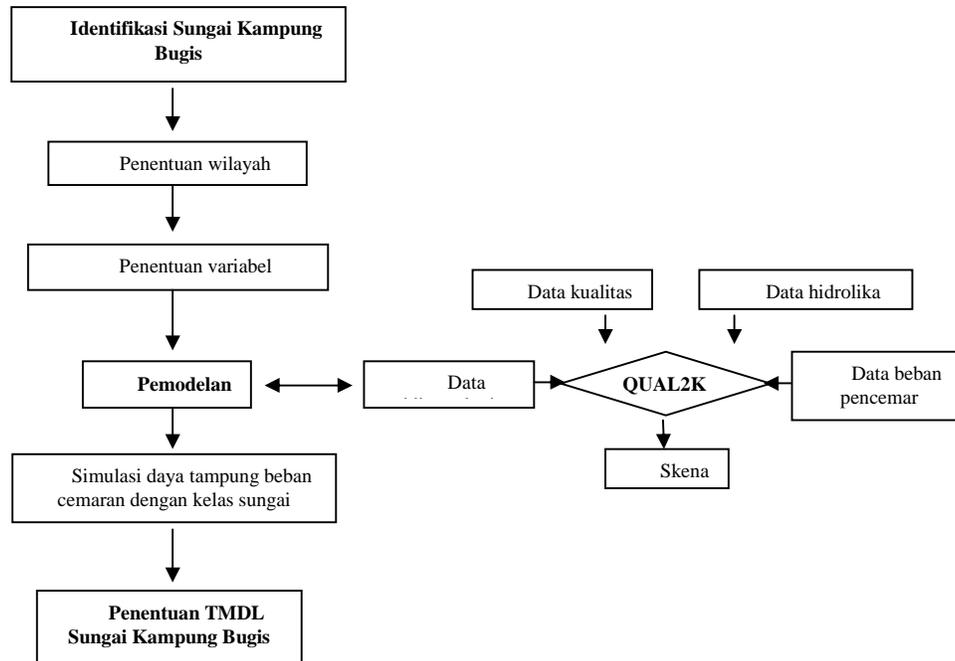
*dan ** tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air (kelas 1)

**Gambar 2.** Keseimbangan massa pada sebuah elemen

Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air untuk penggunaan air kelas 1 (Tabel 2).

Simulasi TMDL

Model QUAL2K dipilih untuk mendapatkan hasil simulasi dan perhitungan yang menyangkut



Gambar 3. Kerangka pemodelan lingkungan di Sungai Kampung Bugis

kualitas air di Sungai Kampung Bugis. Parameter pencemar untuk model QUAL2K, dikembangkan sebagai fungsi antara konsentrasi sumber pencemar dengan kemampuan purifikasi di perairan terhadap fungsi jarak. Pada studi kali ini, digunakan model QUAL2K 2.11. Keseimbangan massa pada kondisi *steady state* untuk setiap elemen sungai model dalam QUAL2K digambarkan pada Gambar 2 sesuai dengan persamaan (3) (Chapra dkk., 2008):

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{W_i + S_i}{V_i} \quad (3)$$

dengan,

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 yang disebabkan oleh reaksi yang terjadi dan mekanisme transfer massa ($g/m^3/detik$ atau $mg/m^3/detik$)

E'_i = koefisien bulk dispersi antara elemen i dan $i+1$ ($m^3/detik$)

Proses pemodelan dilakukan dalam 2 tahap yaitu, segmentasi model dengan membagi aliran sungai menjadi beberapa ruas dan input data dengan *Microsoft Excel Sheet*. Prakiraan dampak pencemar di wilayah Sungai Kampung Bugis berdasar pada kerangka pemodelan lingkungan seperti tampak pada Gambar 3.

Pendekatan TMDL

Perhitungan konsep TMDL Sungai Kampung Bugis menggunakan metode TMDL yang dinyatakan dalam beban harian (Sylvester, 2013), dituliskan sebagai massa per waktu yang spesifik misal, bulanan, tahunan, musiman (Reckhow, 2001) dan sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku di Indonesia serta sesuai dengan rekomendasi US EPA. TMDL menghitung ketidakpastian pada pemodelan dengan mengalokasikan beban yang diijinkan yaitu *point sources/Wasteload Allocation* (WLA) dan *non point sources/Load Allocation* (LA) serta total beban sebagai *Margin of Safety* (MOS) yang secara matematis diwakili dengan persamaan (4) (Sylvester, 2013; Copeland, 2012; US EPA, 2001):

$$TMDL = WLA + LA + MOS \quad (4)$$

Selain itu dalam perhitungan TMDL, persen reduksi (%) diperlukan dengan menghitung perbedaan antara sumber pencemar terukur dan kriteria kualitas perairan untuk sumber pencemar (Burack dkk., 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi/rona lingkungan awal daerah sekitar Sungai Kampung Bugis sedikit banyak dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu, masalah bantaran Sungai Kampung Bugis yang digunakan sebagai pemukiman penduduk (BPLH Kota Tarakan, 2012) serta keberadaan limbah domestik hasil dari aktivitas penduduk (Romayanto dkk., 2006).

Tabel 3. Hasil kualitas air Sungai Kampung Bugis

Titik pengamatan	Hidrolika sungai		Parameter									
			Fisika					Kimia				
	Debit (m ³ /d)	Kelajuan (m/d)	TSS (ppm) <50	pH (6-9)	Suhu (C)	DO (mg/L) >6	DHL (µd)	Kesadahan (CaCO ₃) (mg/L)	Total BOD (mg/L) 2	Total PO ₄ (mg/L) 2	NO ₃ (mg/L) 10	NH ₃ (mg/L) 0,5
Segmen I												
Ruas 1	0,01	0,19	65*	6,39	30,0	7,98	323	18	0,89	0,02	1,25	1,19*
Ruas 2	0,04	0,33	46	5,35*	29,9	7,90	167	167	8,16*	0,02	1,08	0,73*
Ruas 3	0,04	0,13	41	5,12*	31,3	7,98	324	15	0,89	0,02	0,73	1,00*
Ruas 4	0,05	0,36	105*	4,83*	30,5	7,34	208	79	0,89	0,02	0,27	1,41*
Ruas 5	0,05	0,50	294*	5,43*	31,1	7,98	124	52	4,93*	0,02	0,12	2,31*
Ruas 6	0,07	0,43	97*	5,38*	32,6	7,66	107	31	0,08	0,02	0,61	2,36*
Ruas 7	0,12	0,51	75*	5,31*	34,1	6,05	109	36	4,93*	0,02	0,52	2,05*
Ruas 8	0,09	0,47	81*	5,56*	34,9	6,37	115	37	6,55*	0,02	0,32	2,13*
Segmen II												
Ruas 9	0,08	0,30	34	5,56*	34,0	6,69	125	40	0,08	0,02	0,23	0,45
Ruas 10	0,14	0,08	16	5,47*	33,6	5,81*	131	36	4,12*	0,02	0,20	3,22*
Ruas 11	0,36	0,26	43	5,98*	31,5	7,66	181	40	3,31*	0,02	0,32	2,96*
Ruas 12	0,05	0,29	41	6,18	30,9	7,02	224	45	4,12*	0,02	0,37	3,94*
Ruas 13	0,16	0,34	28	6,20	29,5	5,81*	331	59	7,35*	0,08	0,24	4,25*
Segmen III												
Ruas 14	0,23	0,61	34	6,39	29,7	4,03*	323	53	0,32	0,08	0,21	0,24
Ruas 15	0,13	0,16	45	6,75	27,7	7,10	298	53	4,93*	0,02	0,24	2,92*
Ruas 16	0,18	0,25	43	6,29	31,2	5,16*	217	45	12,20*	0,04	0,14	3,89*
Ruas 17	0,17	0,25	22	6,37	29,5	6,77	404	49	10,59*	0,04	0,19	5,02*
Ruas 18	0,22	0,17	30	6,15	31,5	7,10	294	51	9,78*	0,04	0,20	4,85*
Ruas 19	0,80	0,25	38	6,03	31,8	7,26	8150	838	0,89	0,03	0,10	3,76*

Faktor hidrolika Sungai Kampung Bugis juga berkontribusi terhadap kondisi Sungai Kampung Bugis. Secara teori, sungai memiliki kemampuan untuk memperbaiki kondisinya sendiri. Namun dikarenakan perbuatan yang mengakibatkan kerusakan sungai seperti, pengalihan fungsi lahan hijau sebagai tangkapan air (Raini dkk., 2004), kegiatan pertanian (Yonky dan Rahardyan, 2002), limbah rumah tangga maupun limbah industri (Harmayani dan Konsukartha, 2007) kerap terjadi, sehingga *recovery* Sungai Kampung Bugis yang termasuk sungai kecil dan banyak mengandung beban pencemar sungai tidak berjalan optimal. Hasil analisis pengukuran lapangan dan pengujian laboratorium yang dilakukan oleh BPLH Kota Tarakan terhadap Sungai Kampung Bugis tampak pada Tabel 3.

Secara garis besar dapat diamati pada Tabel 3 bahwa beberapa kandungan pencemar yang meliputi *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD), amonia (NH₃) dan pH di Sungai Kampung Bugis melebihi baku mutu lingkungan (BML) yang diperbolehkan. Kondisi ini didukung dengan indikasi terjadinya sedimentasi pada Sungai Kampung Bugis secara fisik dapat diamati dari warna air yang tampak kecoklatan. Lebih lanjut, untuk derajat keasaman (pH) air Sungai Kampung Bugis yang mencerminkan keseimbangan antar asam dan basa dalam suatu lokasi, dapat diamati bahwa nilai pH air Sungai

Kampung Bugis pada sebagian ruas melebihi BML (pH < 6). Namun demikian, dikarenakan lokasi Tarakan banyak memiliki lahan gambut maka, nilai pH tersebut masih berada pada batas normal.

Secara teoritis, nilai pH pada daerah gambut berkisar antara 3,0 hingga 5,1 (Tim Sintesis Kebijakan, 2008). Selain itu pengaruh kuantitas konsentrasi asam organik yang berasal dari limbah domestik (Doraja dkk., 2012) juga dapat mengakibatkan beberapa ruas memiliki nilai pH < 6. Camp dan Thomas (1974) dalam Astono dkk. (2008) menyatakan bahwa pada suasana netral, nilai pH perairan di alam akan proporsional terhadap konsentrasi oksigen dalam proses dekomposisi organik.

Simulasi hidrologi dan kualitas air dengan model QUAL2K serta perhitungan TMDL

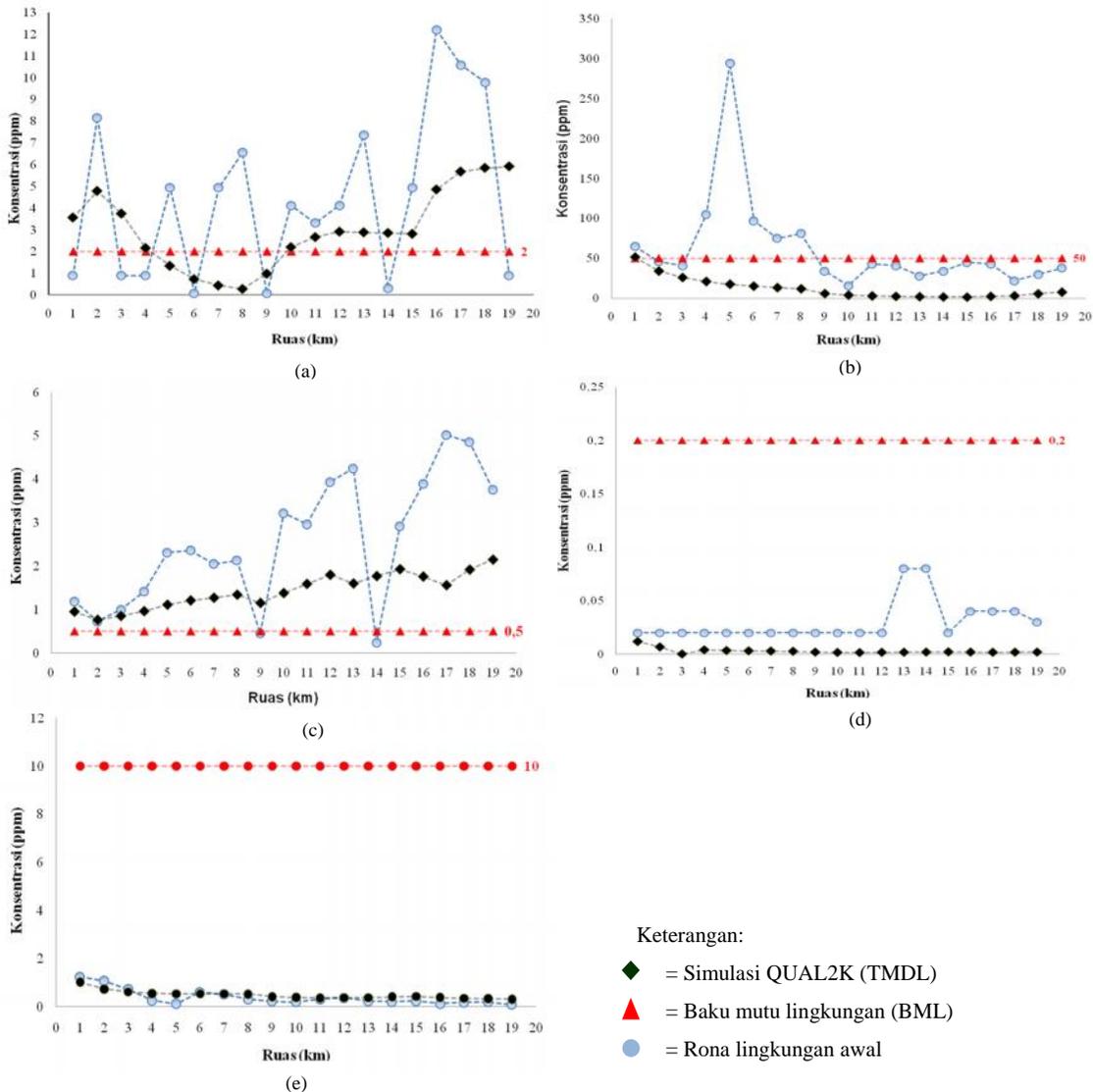
Kualitas air di Sungai Kampung Bugis disimulasikan menggunakan perhitungan TMDL dan pemodelan QUAL2K seperti tampak pada Gambar 4 dan Tabel 4.

Berdasarkan hasil analisis kualitas air (Tabel 3) dan skala prioritas BPLH Kota Tarakan, maka pemodelan QUAL2K dan perhitungan TMDL difokuskan pada parameter BOD, TSS, NH₃, PO₄ dan NO₃. Hasil rona awal lingkungan, baku mutu lingkungan dan hasil simulasi TMDL diilustrasikan pada Gambar 4. Pada parameter BOD, nilai baku mutu lingkungan (BML) yang digunakan sesuai

dengan PP No. 82 Tahun 2001 dan PerGub KalTim No. 2 Tahun 2011 adalah 2 ppm. Hasil rona awal lingkungan pada Sungai Kampung Bugis menyatakan bahwa nilai BOD pada ruas 1-4 dan ruas 10-19 melebihi BML, sedangkan pada ruas 5-9 nilai BOD berada dibawah BML. Kisaran nilai BOD yang tampak pada rona lingkungan awal adalah antara 0,08 hingga 12,2 ppm. Selanjutnya, berdasarkan hasil pemodelan, tampak bahwa nilai BOD pada masing-masing ruas juga bervariasi. Prakiraan dampak yang muncul sebagai perhitungan TMDL menggunakan QUAL2K berada pada kisaran 0,28 hingga 5,9 ppm. Hal ini sesuai senada dengan hasil analisis kualitas air (Tabel 3).

Kondisi ini berarti, material organik yang ada di Sungai Kampung Bugis cukup tinggi, dengan demikian jumlah oksigen yang ada di dalam Sungai

Kampung Bugis yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara biokimia juga tinggi. Sebab, tanpa adanya oksigen yang cukup, proses dekomposisi aerobik suatu bahan organik di perairan akan terhambat (Monoarfa, 2002). Hal ini didukung dengan kondisi eksisting di lapangan, Sungai Kampung Bugis termasuk sungai kecil, tidak dalam, kondisi aliran yang stabil dan tenang. Kondisi demikian mengindikasikan bahwa aerasi di Sungai Kampung Bugis hampir tidak ada. Hal ini dapat menurunkan kemampuan alami sungai untuk melakukan *self purification*. Karena kemampuan alami ini tidak berjalan maka banyak sumber pencemar yang tidak dapat mengalami degradasi alami. Sebagai akibatnya, rata-rata hampir seluruh ruas sungai memiliki kecenderungan nilai pencemar yang tinggi.



Gambar 4. Hasil simulasi untuk parameter (a) BOD, (b) TSS, (c) NH₃, (d) PO₄, (e) NO₃ berdasarkan hasil analisis kualitas air dan skala prioritas BPLH Kota

Pada parameter TSS, rona lingkungan awal yang muncul adalah pada kisaran 16 hingga 294 ppm sedangkan untuk hasil pemodelan QUAL2K, kisaran dampak TSS yang muncul adalah antara 1,56 hingga 51,39 ppm. Berbeda dengan hasil pada rona lingkungan awal, dimana nilai TSS pada ruas 4-8 melebihi BML, nilai TSS pada pemodelan QUAL2K untuk ke-19 ruas, berada di bawah BML (50 ppm) yang berarti nilai ini masih dapat diterima oleh Sungai Kampung Bugis meskipun secara fisik, warna sungai kecoklatan akibat adanya sedimentasi. Proses sedimentasi ini dapat dipengaruhi oleh debit air, kemiringan tanah, jenis tanah dan jenis aliran sungai (Sudarwin, 2008). Teramati dari nilai debit air dari masing-masing ruas, nilai TSS yang relatif rendah ditemukan pada ruas yang memiliki debit air cukup tinggi, yaitu di atas $0,13 \text{ m}^3/\text{d}$ (Tabel 3). Besar debit air berbanding lurus dengan kecepatan aliran sungai. Semakin besar kecepatan aliran sungai maka, proses sedimentasi akan semakin lambat (Sudarwin, 2008).

Prediksi pemodelan QUAL2K pada parameter NH_3 di sekitar Sungai Kampung Bugis menyatakan bahwa terdapat kenaikan konsentrasi NH_3 pada masing-masing ruas dari hulu ke hilir, dengan kisaran konsentrasi NH_3 antara 0,76 hingga 2,15 ppm. Apabila dibandingkan dengan nilai rona lingkungan awal (antara 0,24 hingga 5,02 ppm), tampak perbedaan fluktuatif yang cukup tajam antara sebaran NH_3 pada hulu menuju hilir pada prediksi model QUAL2K untuk NH_3 . Kisaran konsentrasi NH_3 pada keduanya menunjukkan bahwa konsentrasi NH_3 pada Sungai Kampung Bugis melebihi nilai BML. Hasil serupa tampak pada Tabel 3, dimana hanya 2 dari 19 ruas yang memiliki kadar ammonia yang sesuai dengan BML ($< 0,5 \text{ mg/L}$). Tingginya konsentrasi NH_3 di sungai biasanya berhubungan dengan kandungan oksigen terlarut. Tetapi mengingat kondisi Sungai Kampung Bugis yang relatif dangkal, maka tingginya konsentrasi NH_3 lebih cenderung diindikasikan karena adanya limpasan dari pupuk yang biasanya digunakan dalam bidang pertanian serta hasil peternakan di sekitar Sungai Kampung Bugis.

Kondisi yang hampir sama ditemukan pada prediksi sebaran pencemar PO_4 dan NO_3 . Hasil rona lingkungan awal untuk konsentrasi PO_4 , tampak pada bagian hulu hingga bagian tengah sebelum hilir, cenderung stabil pada 0,02 ppm. Kondisi ini kemudian berubah, seiring dengan meningkatnya konsentrasi PO_4 pada bagian sungai menuju hilir (ruas 12-15) dengan konsentrasi 0,08 ppm yang kemudian kembali menurun pada ruas selanjutnya. Prakiraan model QUAL2K untuk sebaran pencemar

PO_4 pada Gambar 4 juga menggambarkan hal senada, meskipun demikian kisaran nilai konsentrasi PO_4 pada masing-masing ruas tidak lebih dari 0,01 ppm. Pola persebaran pencemar NO_3 pada rona lingkungan awal, cenderung menurun pada bagian hulu (1,25 ppm) menuju bagian hilir (0,1 ppm). Hal ini sesuai dengan prediksi sebaran NO_3 pada model QUAL2K. Kisaran konsentrasi pada model QUAL2K untuk NO_3 adalah antara 0,317 ppm (hilir) hingga 1,025 ppm pada bagian hulu. Selain itu, dapat teramati dengan jelas bahwa konsentrasi PO_4 dan NO_3 pada rona lingkungan awal dan pada prediksi model QUAL2K berada jauh di bawah BML. Hal ini merupakan indikasi bahwa Sungai Kampung Bugis masih mampu menampung beban pencemar PO_4 dan NO_3 pada setiap ruas yang dipelajari.

Selanjutnya, perhitungan TMDL dilakukan dengan memperhitungkan *Margin of Safety* (MOS) yang merupakan faktor keselamatan untuk menghitung ketidakpastian atau kurangnya data pendukung antara beban polutan dan kualitas air (Smith, 2000). Kontribusi beban WLA dan LA pada masing-masing ruas Sungai Kampung Bugis yang dinyatakan sebagai jumlah total beban pencemar harian (Tabel 4).

Tampak pada Tabel 4, besar masing-masing WLA untuk setiap sumber pencemar yaitu BOD sebesar 85,72 kg/hari; TSS sebesar 73,04 kg/hari; NH_3 sebesar 5,06 kg/hari; PO_4 sebesar 0,02 kg/hari sedangkan NO_3 sebesar 2,87 kg/hari. Untuk masing-masing LA adalah BOD sebesar 2,63 kg/hari; PO_4 sebesar 0,002 kg/hari; NO_3 sebesar 2,36 kg/hari. Hasil perhitungan beban pencemar sesuai TMDL berturut-turut adalah BOD 90,32 kg/hari, TSS 73,77 kg/hari, NH_3 5,11 kg/hari, PO_4 0,03 kg/hari dan NO_3 sebesar 5,75 kg/hari. Hal ini dapat digunakan untuk menggambarkan batas kemampuan sungai dalam menampung beban pencemar. Selain itu, seperti pada pemodelan dengan QUAL2K, dapat diamati bahwa persebaran pencemar di masing-masing ruas dari hulu menuju hilir tidak merata.

Asumsi bahwa telah terjadi kondisi kritis di Sungai Kampung Bugis digunakan dalam studi ini. Hal ini didasarkan pada hasil pengamatan kualitas air Sungai Kampung Bugis (Tabel 3) dan sesuai data BPLH Kota Tarakan (2012) yang menyatakan terdapat beberapa faktor pendukung terjadinya kondisi kritis Sungai Kampung Bugis yang meliputi terjadinya fluktuasi debit air antara musim kemarau dan hujan yang cukup signifikan, serta adanya kegiatan penambangan pasir, pemotongan bukit dan pembukaan lahan di sekitar lokasi.

Tabel 4. Perhitungan beban TMDL Sungai Kampung Bugis

Titik Pengamatan	Kategori	Sumber pencemar BOD			Sumber pencemar TSS			Sumber pencemar NH ₃			Sumber pencemar PO ₄			Sumber pencemar NO ₃		
		Total (kg/hari)	% Reduksi (%)	MOS	Total (kg/hari)	% Reduksi (%)	MOS	Total (kg/hari)	% Reduksi (%)	MOS	Total (kg/hari)	% Reduksi (%)	MOS	Total (kg/hari)	% Reduksi (%)	MOS
Segmen I (Hulu)	Ruas 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,09	91,22	0,009	
	Ruas 2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,25	66,17	0,025	
	Ruas 3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,22	64,57	0,022	
	Ruas 4	Non Point Sources (LA)	0,88	58,8	0,088	---	---	---	---	---	---	---	0,23	58,86	0,023	
	Ruas 5		0,62	72,82	0,062	---	---	---	---	---	---	---	0,25	53,53	0,025	
	Ruas 6		0,44	89,04	0,044	---	---	---	---	---	---	---	0,32	40,96	0,032	
	Ruas 7		0,46	91,08	0,046	---	---	---	---	---	---	---	0,57	5,56	0,057	
	Ruas 8		0,23	95,73	0,023	---	---	---	---	---	0,002	87	0,00021	0,43	18,71	0,043
	Sub total	2,63		0,263	0		0		0	0,002	91	0,00021	2,36		0,236	
Segmen II	Ruas 9	0,68	91,84	0,068	---	---	---	---	---	0,001	92,5	0,00013	0,3	29,58	0,03	
	Ruas 10	2,66	46,6	0,266	---	---	---	---	---	0,001	93	0,0001	0,48	21,8	0,048	
	Ruas 11	0,84	19,64	0,084	---	---	---	---	---	0,000	92	0,0000	0,12	67,57	0,012	
	Ruas 12	1,24	29,37	0,124	---	---	---	---	---	0,007	97,88	0,0007	0,16	57,89	0,016	
	Ruas 13	Point Sources (WLA)	3,98	60,82	0,398	---	---	---	---	---	0,002	97,75	0,0002	0,53	37	0,053
Ruas 14	5,58		88,77	0,055	---	---	---	---	---	0,003	90	0,0003	0,81	95,7	0,081	
Ruas 15	3,04		43	0,030	---	---	---	---	---	0,002	95,5	0,0002	0,47	8,29	0,047	
Ruas 16	7,53		60,25	0,075	3,84	94,26	0,038	2,73	54,76	0,027	0,002	96	0,0002	---	---	---
Ruas 17	8,47		46,46	0,084	4,8	85,41	0,048	2,33	68,92	0,023	---	---	---	---	---	---
Segmen III	Ruas 18	11	40,29	0,11	10,8	81,03	0,108	---	---	---	---	---	---	---	---	
	Ruas 19	40,7	84,94	0,407	53,6	79,55	0,536	---	---	---	---	---	---	---	---	
	Sub total	85,72		1,703	73,04		0,730	5,06		0,050	0,021		0,002	2,87		0,287
	Total	88,35		1,966	73,04		0,730	5,06		0,050	0,023		0,002	5,23		0,523
TMDL (Target Load) = WLA+LA+MOS			90,32			73,77		5,11		0,03			5,75			

KESIMPULAN

Prediksi persebaran sumber beban pencemar serta penentuan total beban harian pencemar di Sungai Kampung Bugis yang menjadi prioritas BPLH Kota Tarakan dapat dilakukan dengan menggunakan QUAL2K. Secara garis besar, hasil simulasi menyatakan bahwa keberadaan pencemar di Sungai Kampung Bugis bervariasi dari bagian hulu menuju hilir.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada BPLH Kota Tarakan, Kalimantan Utara atas kerjasamanya dengan Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSLH) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta demi terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Astono, W., Saeni, M.S., Lay, B.W., dan Soemarto, S. 2008. Pengembangan Model DO-BOD dalam Pengelolaan Kualitas Air Sungai Ciliwung. *Forum Pascasarjana*. 31(1):37-45.
Borah, D. K., Yagow, G., Saleh, A., Barnes, P. L., Rosenthal, W., Krug, E. C., dan Hauck, L. M.

2006. Sediment and Nutrient Modeling for TMDL Development and Implementation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 49(4): 967-986.

Burack, T. S., Walls, M. J., Stewart, H. T. dan Edwardson, K. 2010. 2012 Section 305(b) and 303(d) Consolidated Assessment and Listing Methodology. State of New Hampshire Department of Environmental Services. Concord, N. H.

BPLH Kota Tarakan. 2012. Laporan Data Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Tarakan 2012. Pemerintah Kota Tarakan, Provinsi Kalimantan Timur.

Chapra, S., Pelletier, G dan Tao, H. 2008. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Copeland, C. 2012. Clean Water Act and Pollutant Total Maximum Daily Loads (TMDLs). *CRS Report for Congress Prepared for Members and Committees of Congress*. Congressional Research Service. Washington, DC.

Doraja, P. H., Shovitri, M., dan Kuswytasari, N. D. 2012. Biodegradasi Limbah Domestik Dengan

- Menggunakan Inokulum Alami Dari Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1(1):44-47.
- Fakhraei, H. dan Karimi-Jashni, A. 2010. Assessment of weirs in dissolve oxygen (DO) level in Kor River. 5th National Congress on Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran.
- Harmayani, K.D dan Konsukartha, I.G.M. 2007. Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik di Lingkungan Kumuh (Studi Kasus Banjar Ubung Sari, Kelurahan Ubung). *Jurnal Permukiman Natak*. 5(2):62-108.
- Hassanin, S.A.K. 2007. Evaluation of Water Quality of ELNASR-3 Main Drain in Egypt Using QUAL2K Model. Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11 2007 Sharm El-Sheikh, Egypt.
- Monoarfa, W. 2002. Dampak Pembangunan Bagi Kualitas Air di Kawasan Pesisir Pantai Losari Makassar. *Sci&Tech*. 3(3):37-44.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Raini, M., Isnawati, A., dan Kurniati. 2004. Kualitas Fisik dan Kimia Air PAM di Jakarta, Bogor, Tangerang, Bekasi Tahun 1999-2001. *Media Litbang Kesehatan* 14(3):14-19).
- Reckhow, K. H. 2001. Assessing the TMDL Approach to Water Quality Management. *Committee to Assess the Scientific Basis of the Total Maximum Daily Load Approach to Water Pollution Reduction*. The Governing Board of the National Research Council. Washington, D.C.
- Romayanto, M. E. W., Wiryanto, dan Sajidan. 2006. Pengolahan limbah domestik dengan aerasi dan penambahan bakteri *Pseudomonas putida*. *Bioteknologi* 3(2):42-49.
- Salvai, A. dan Bezdian, A. 2008. Water Quality Model QUAL2K in TMDL Development. University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management Novi Sad, Serbia.
- Smith, R. F. 2000. Total Maximum Daily Load (TMDL) for Fecal Coliform Bacteria in the Waters of Duck Creek in Mendenhall Valley, Alaska. United States Environmental Protection Agency Region 10. Seattle, Washington.
- Sudarwin. 2008. Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang. *Tesis*. Magister Kesehatan Lingkungan. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.
- Susanto, B., Krisdianto, dan Nur, H. S. 2009. Kajian kualitas air sungai yang melewati kecamatan gambut dan aluh aluh Kalimantan Selatan. *Bioscientiae*, 6(1):40-50.
- Sylvester, S. L. 2013. TMDL Development and Implementation Guidance: Integrating the WPDES and Impaired Waters Programs Edition No. 2, Guidance Number: 3400-2013-02. Wastewater Policy & Management Team, Water Resources Policy & Management Team. Bureau of Water Quality Program Guidance, Wisconsin Department of Natural Resources. Wisconsin.
- Tim Pelaksana Kebijakan. 2008. Pemanfaatan dan Konservasi Ekosistem Lahan Rawa Gambut di Kalimantan. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian*, 1(2):149-156.
- US. EPA. 2001. Protocol for Developing Pathogen TMDLs. EPA 841-R-00-002. Office of Water (4503F). United States Environmental Protection Agency. Washington, DC.
- Yonky, I dan Rahardyan, N.A. 2002. Penilaian Kualitas Air di DAS dengan Penutupan Lahan Hutan Pinus Untuk Monitoring dan Evaluasi (Monev) Pengelolaan DAS. *Prosiding Seminar "Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS"*. Surakarta.