

KAJIAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN SUNGAI BATANGHARI PADA PENGGAL GASIANG – SUNGAI LANGKOK SUMATERA BARAT

Zuchri Abdi

zuchriabadi@yahoo.co.id

*Pusat Pengelolaan Ekoregion Sumatera, Kementerian Lingkungan Hidup Pekanbaru-
Pekanbaru, Kepulauan Riau, Indonesia*

Pramono Hadi dan M.Widyastuti

Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi sumber-sumber pencemar, mengetahui sebaran kandungan BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid), menghitung beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran sungai serta menguji reliabilitas penggunaan model untuk menghitung beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran. Metode QUAL2Kw digunakan dalam proses pemodelan dimana sungai utama dibagi dalam delapan penggal (reach) dengan Gasiang (kilometer ke-157) sebagai headwater dan Sungailangkok sebagai batas terhilir (kilometer ke-0). Sampel air sungai diambil di tiga belas titik, delapan di sungai utama dan lima di anak sungai. Pemodelan menggunakan data kualitas air sumber pencemar sebagai input dan data kualitas air sungai utama sebagai pembanding. Berdasarkan hasil penelitian, total beban pencemaran BOD, COD dan TSS berturut-turut sebesar 14,463; 43,363; 14,658 Ton/jam dengan daya tampung beban pencemaran berturut-turut sebesar 22,956; 108,6; 33,2 Ton/jam. Walaupun secara total daya tampung beban pencemaran belum terlampaui, namun jika ditinjau berdasarkan penggal-penggal sungai (reach), kelebihan beban pencemaran BOD telah terjadi di Sungai Pangian sebesar 0,16 Ton/jam, beban pencemaran COD pada kilometer 140 – 139 sebesar 14,58 Ton/jam dan beban pencemaran TSS pada kilometer 156 – 141 sebesar 61,2 Ton/jam. Uji reliabilitas dengan relative bias dan mean relative error menunjukkan bahwa pemodelan dengan metode QUAL2Kw dapat diterima penggunaannya di daerah penelitian, namun uji korelasi pada grafik pencar menunjukkan model hanya berlaku pada satu set data pemantauan saja. Hasil pemodelan hanya mewakili daya tampung beban pencemaran sesaat.

Kata kunci: Beban Pencemaran, Daya Tampung, QUAL2Kw, Sungai Batanghari

ABSTRACT

The objectives of this study are to identify the pollutant sources location; to acknowledge the distribution of BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) and TSS (Total Suspended Solid) concentrations; to

calculate the pollution load and pollution load carrying capacity of the river as well as to examine the model reliability to calculate the pollution load and the pollution load carrying capacity. The applied QUAL2Kw methods during the modeling process brought in the main river, is divided into eight reach with Gasiang (km 157) as the headwater and Sungailangkok as the downstream boundary (km 0). The water samples are selected at thirteen points with eight of them located at the main river and the remain five at the tributaries. The modeling was brought the water quality data on pollutant sources as input and the main river water quality data as a comparison. Based on the results of the study, the total pollution load of BOD, COD and TSS are respectively for 14.463; 43.363; 14.658 Tons/hour with pollution load carrying capacity respectively for 22.956; 108.6; 33.2 Tons/hour. Although the total pollution load carrying capacity has not been exceeded, nevertheless if the review is based on reach, an excessing of BOD pollution load has occurred in the Pangian River for 0.16 Tons/hour, COD pollution load for 14.58 Tons/hour at km 140-139 and TSS pollution load for 61.2 Tons/hour at km 156-141. The reliability test with a relative bias and relative mean errors indicate that modeling with QUAL2Kw is acceptable to be applied in the research area, though the correlation test on the scatter graph shows the models is merely valid on a set of monitoring data. However, the modeling results are restricted to represent the pollution load carrying capacity of the river momentarily.

Key Words: *The Pollution Load, Carrying Capacity, QUAL2Kw, Batanghari River*

PENDAHULUAN

Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) berkelanjutan sangat penting karena berhubungan dengan banyak aspek antropogenik penggunaan sumber daya alam. Kualitas sumber daya air merupakan isu pokok dalam pengelolaan DAS (Azzellino et al., 2008). Pengelolaan DAS yang dilakukan secara tidak tepat akan meningkatkan jumlah DAS kritis. Di Indonesia, setidaknya terdapat 60 DAS kritis yang perlu dikelola secara baik. Kekritisian DAS dapat dilihat dari indikator luas lahan kritis, intensitas bencana banjir, tanah longsor dan penurunan kualitas air (Kementerian Kehutanan, 2009).

Dalam konteks kualitas air, kekritisian DAS dapat ditekan dengan menurunkan beban pencemar yang masuk ke dalam badan air. Besarnya penurunan beban pencemaran ditentukan berdasarkan daya tampung lingkungan badan air terhadap beban pencemar. Masalah yang sering muncul pada saat pengambilan keputusan dalam hal pengelolaan sumber-sumber pencemar serta pengelolaan pemanfaatan lahan di sekitar sungai adalah di mana beban itu harus diturunkan, dari aktivitas apa dan berapa besarnya. Kepastian tentang ketiga hal ini penting karena menyangkut kepentingan aktivitas ekonomi dan keselarasannya dengan pelestarian fungsi lingkungan hidup.

Terminologi daya tampung lingkungan dalam regulasi di Indonesia biasanya disejalkan dengan daya dukung lingkungan. Daya dukung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antara keduanya. Sementara itu, daya tampung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya (KLH, 2009).

Penelitian ini fokus pada perhitungan daya tampung lingkungan hidup. Parameter kimia yang ditinjau adalah BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) yang merupakan parameter kunci pencemaran air (KLH, 2001; KLH, 2003; dan KLH, 2010). Teknik perhitungan menggunakan Metode QUAL2Kw - Enhance Stream Water Quality Model (Brown, 1987) yang sebenarnya merupakan metode pemodelan yang biasanya diterapkan untuk perencanaan dan pengelolaan kualitas air sungai secara umum seperti yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Kannel et al., 2006; Kannel et al., 2007; Lin et al., 2009; Turner et al., 2009; Ginting, dkk., 2009; Kurniawan, 2010; Nugraha dan Cahyorini, 2007).

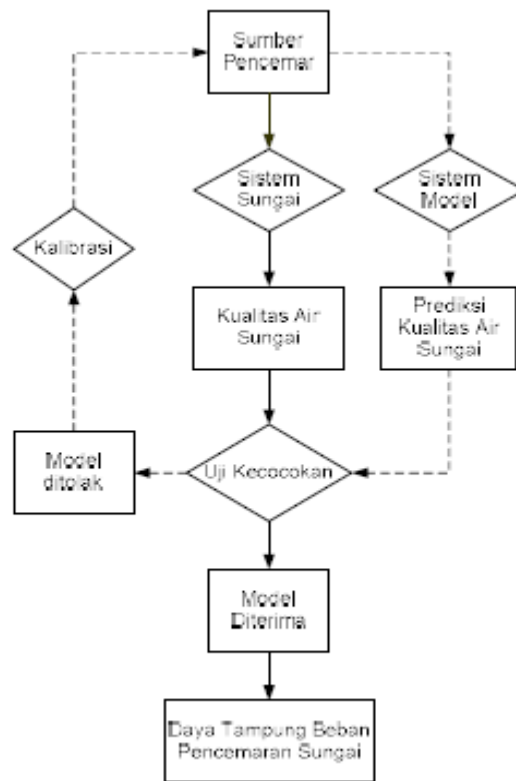
Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air, metode QUAL2E direkomendasikan penggunaannya untuk menghitung daya tampung beban pencemaran di badan air. QUAL2E dikembangkan lebih lanjut menjadi QUAL2Kw (Brown, 1987). Akan tetapi, mengingat metode ini dikembangkan untuk pengelolaan kualitas air sungai di Amerika, maka timbul pertanyaan: (1) apakah metode ini cukup layak untuk diterapkan dalam kajian daya tampung beban pencemaran sungai, serta (2) seberapa besar daya tampung beban pencemaran sungai di daerah penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi lokasi sumber-sumber pencemar di daerah penelitian, (2) mengetahui sebaran kandungan BOD, COD dan TSS di sepanjang sungai utama di daerah penelitian, (3) mengetahui beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran sungai utama di daerah penelitian, dan (4) menguji layak atau tidaknya penggunaan metode QUAL2Kw untuk menghitung beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran di daerah penelitian.

Kerangka Pemikiran Konsep yang digunakan untuk mengetahui besarnya daya tampung beban pencemaran sungai serta akurasi penggunaan model dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran sungai

direpresentasikan pada diagram Kerangka Pemikiran sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

Apabila pada suatu sistem sungai masuk atau dimasukkan bahan pencemar, maka sistem sungai mendapatkan beban pencemaran yang bisa menyebabkan kualitas air pada sistem sungai berubah. Dengan menganalisis sampel air yang diambil pada beberapa titik di sistem sungai, diperoleh data kualitas air pada setiap titik. Di sisi lain, sistem model dipergunakan untuk memprediksi sebaran kualitas air di sepanjang sungai dengan memasukkan data kualitas air pada sumber pencemar titik dan sumber pencemar non titik. Prediksi sebaran kualitas air yang diperoleh dari pemodelan dikalibrasi dengan data kualitas air sungai hasil observasi di lapangan untuk menguji apakah hasil pemodelan memiliki kemiripan dengan data pengukuran lapangan. Jika belum ada kemiripan, maka dilakukan adjustment hingga diperoleh hasil yang paling mirip. Model yang paling mirip dengan data observasi digunakan untuk menghitung daya tampung beban pencemaran sungai.

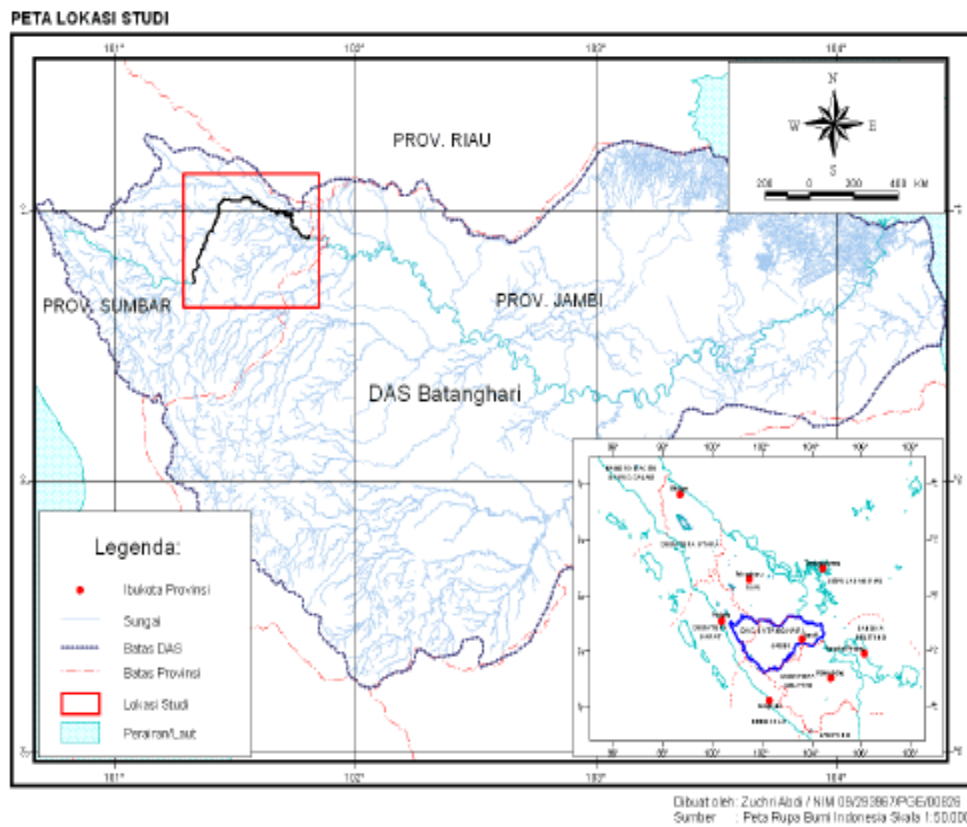


Gambar 1. Kerangka Pemikiran

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian Penelitian dilakukan di Sungai Batanghari pada segmen hulu hingga tengah di Kabupaten Solok Selatan dan Kabupaten Dharmasraya Provinsi Sumatera Barat, pada penggal sungai antara Desa Gasiang hingga Desa Sungai Langkok. Gambar 2. memberikan ilustrasi letak lokasi studi.

Penentuan Sampling Sungai utama dibagi dalam delapan penggal (reach). Sampel air diambil untuk mewakili setiap penggal. Analisa sampel air dilakukan di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang. Secara keseluruhan diambil 13 sampel air, lima diantaranya merupakan sampel pada anak sungai dan delapan sisanya diambil pada sungai utama. Anak sungai merupakan sumber pencemar titik terhadap sungai utama. Lokasi titik sampling disajikan pada Table 1.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Table 1. Lokasi Pengambilan Sampel Air Sungai dan Observasi Lapangan

Nama Lokasi	Kode	Koordinat		Lokasi Pada Km ke
		BT	LS	
Gasiang	BH 2	101.32907	-1.26755	157.07
Batang Sangir*	BH SR	101.35305	-1.20383	143.57
Desa Muaro Bt. Sangir	BH 3	101.35053	-1.20051	143.02
Desa Limau Kapeh	BH LK	101.35056	-1.18037	138.91
Batang Sipatar*	BH Sp	101.39319	-1.08111	118.89
Pulau Panjang	BH PP	101.42488	-1.04166	108.01
Sungai Momon*	BH M	101.43107	-0.98837	97.23
Sungai Dareh	BH 4	101.50466	-0.96432	82.02
Batang Pangian*	BHP	101.55051	-0.94729	73.12
Siguntur	BH 5	101.55933	-0.95344	71.94
Sitiung Pulai	BH SP	101.66103	-1.00080	48.04
Batang Timpeh*	BH T	101.74232	-1.00842	25.82
Sungai Langkok	BH 6	101.78033	-1.09449	7.01

Sumber: Hasil pengukuran lapangan

* Anak sungai

Simulasi Model Simulasi model dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan, kombinasi pasangan debit dan konsentrasi pada sumber-sumber pencemar yang paling cocok dalam membentuk sebaran kualitas air seperti data observasi. Simulasi dilakukan dua tahap. Tahap pertama mensimulasi model terhadap data observasi untuk menghitung beban pencemaran, dan tahap kedua mensimulasi model terhadap baku mutu untuk menghitung daya tampung beban pencemaran.

Kalibrasi Model Kalibrasi model menggunakan uji kecocokan dengan metode Chi Square. Formula yang digunakan adalah:

$$x^2 = \sum_{r=0}^n \frac{(\text{Nilai Observasi} - \text{Nilai Model})^2}{\text{Nilai Model}} \quad (\text{Sudjana,2001})$$

dimana x^2 adalah uji statistik rata-rata kuadrat dari simpangan, n adalah jumlah sampel, dan r adalah sampel ke- n . Hasil perhitungan x^2 dibandingkan dengan x^2 tabel pada $\alpha = 0,95$. Jika x^2 hitung $>$ x^2 tabel, maka model ditolak dan jika x^2 hitung $<$ x^2 tabel, maka model diterima (Sudjana, 2001).

Uji Reliabilitas Reliabilitas adalah konsistensi dari serangkaian pengukuran atau konsistensi dari suatu alat ukur, sering digunakan untuk mendeskripsikan hasil suatu uji (Meeker and Escobar, 1998). Dalam penelitian ini uji reliabilitas dilakukan untuk menilai apakah model yang digunakan cukup layak ataukah tidak. Uji reliabilitas dilakukan secara statistik dan secara grafikal. Secara statistik digunakan metode relative bias (rB) dan metode mean relative error (MRE). Relative bias dihitung dengan formula:

$$rB = \frac{(R_m - R_o)}{S_o} \text{ dan } F = \frac{S_m^2}{S_o^2},$$

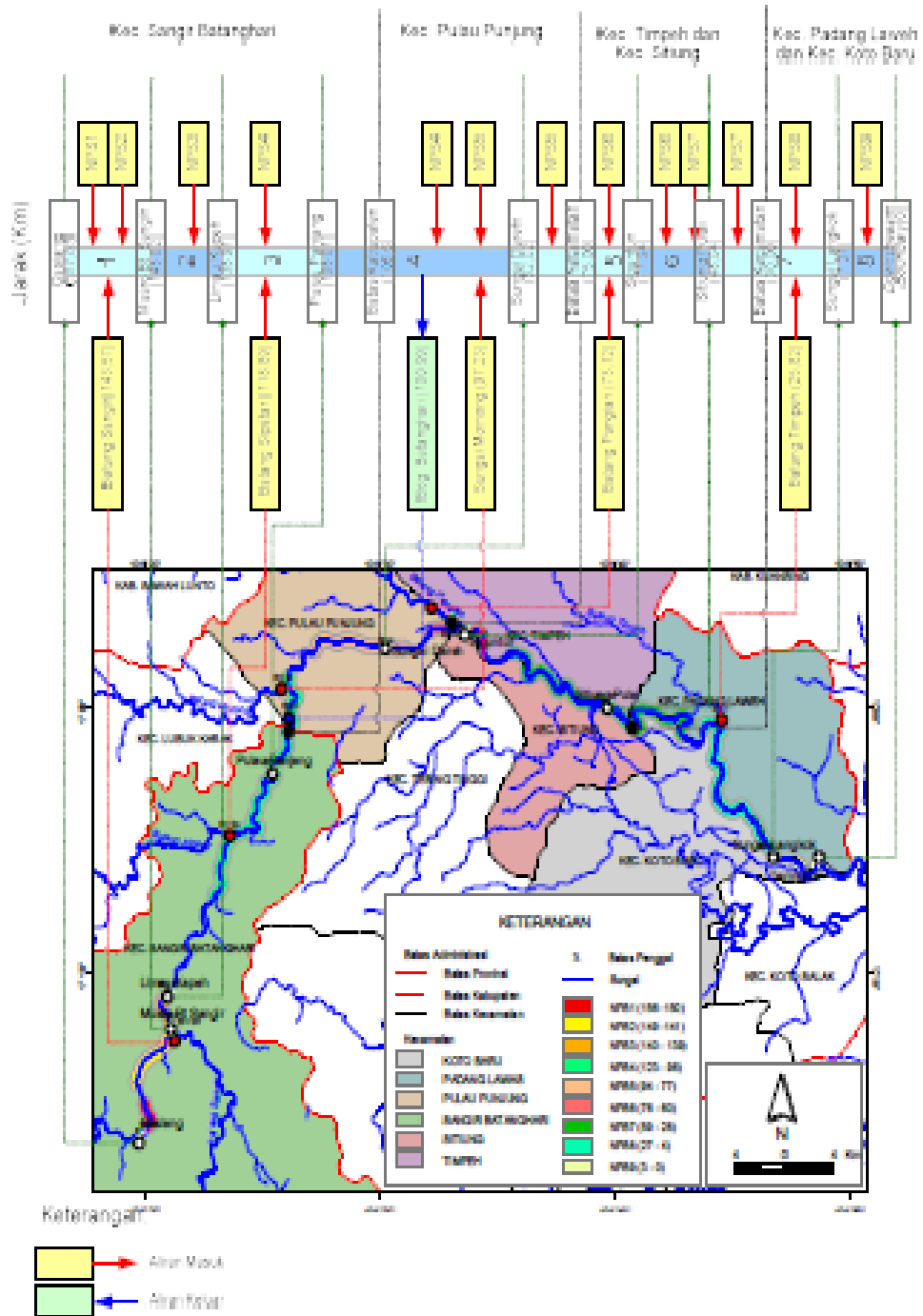
dalam hal ini, F adalah rasio variasi model dan observasi, R_m adalah rata-rata nilai model, R_o adalah rata-rata nilai observasi, S_o adalah standar deviasi nilai observasi, S_m adalah standar deviasi nilai model. Jika $-0,5 < rB < 0,5$ dan $0,5 < F < 1,5$, maka model diterima, dan Jika $rB < -0,5$ atau $rB > 0,5$ dan $F < 0,5$ atau $F > 1,5$, maka model ditolak (Bartell, 1992). Mean relative error (MRE) dihitung dengan formula:

$$MRE = \sum_{r=1}^n \frac{|\text{Nilai Observasi} - \text{Nilai Model}|}{\text{Nilai Observasi}},$$

dalam hal ini n adalah jumlah sample dan r adalah sampel ke-n. Jika $MRE < 10\%$, maka model diterima dan jika $MRE > 10\%$, maka model ditolak (Montgomery, 1984). Secara Grafikal, uji reliabilitas model dilakukan dengan dua cara. Pertama dengan membuat grafik pencar (scatter plot) korelasi antara satu model parameter pencemar dengan model parameter pencemar yang lain. Kedua dengan cara membuat grafik pencar korelasi antara model parameter pencemar dengan set data observasi yang diambil pada waktu yang berbeda tetapi pada lokasi sampling yang sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

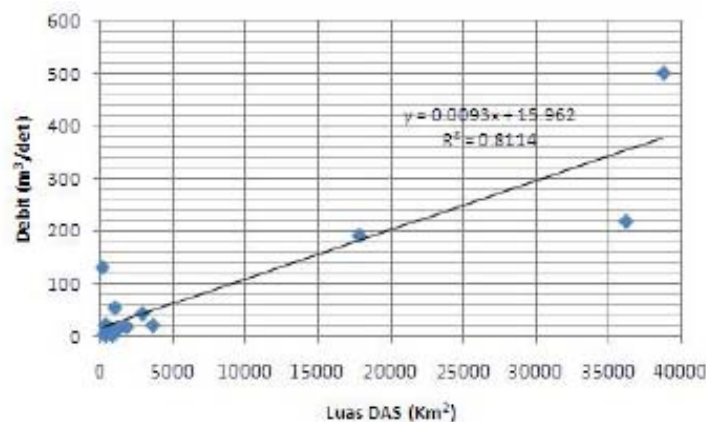
Identifikasi Lokasi Sumber-Sumber Pencemar Sungai utama di daerah penelitian dibagi dalam delapan penggal (reach). Gambar 3. merupakan diagram sebaran sumber-sumber pencemar yang mengilustrasikan juga pembagian penggal sungai. Desa Gasiang pada kilometer 157,07 merupakan headwater, dan batas akhir daerah penelitian (downstream boundary) berada 7,01 kilometer di hilir Desa Sungai Langkok.



Gambar 3. Diagram Sumber-Sumber Pencemar

Sumber pencemar air sungai dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu sumber pencemar titik (PS) dan sumber pencemar non titik (NPS). PS menunjukkan buangan polutan yang ditimbulkan oleh sumber spesifik atau lokasi tertentu, sedangkan NPS menunjukkan polusi yang dikoleksi, ditransportasi serta dibuang lewat limpasan air pada suatu kawasan. NPS sering juga disebut sumber area atau sumber menyebar (James, 1984). Dalam penelitian ini selain limbah industri dari instalasi pengolahan limbah (IPL), anak sungai dimasukkan dalam kategori PS. Hasil observasi menunjukkan tidak terdapat IPL Industri yang membuang langsung air limbah ke sungai utama. Dengan demikian PS hanya berasal dari anak sungai. Berdasarkan hasil pemodelan, di daerah penelitian diperkirakan terdapat sembilan NPS yang tersebar dari hulu hingga hilir (NPS1 sampai NPS9). NPS dalam hal ini tidak dibedakan jenis sumbernya. Secara lokasional NPS dinyatakan dalam rentang jarak tertentu pada sungai.

Debit Minimum Pemodelan kualitas air sungai utama menggunakan debit minimum di headwater sebagai entri point aliran sungai. Penggunaan debit minimum didasarkan atas pertimbangan bahwa tekanan beban pencemaran terbesar terhadap sungai terjadi pada saat aliran minimum dimana pada kondisi ini sungai memiliki kemampuan pengenceran terendah. Masalahnya, tidak tersedia data debit minimum di headwater. Untuk mendapatkan perkiraan debit minimum di headwater digunakan pendekatan empiris dengan mencari regresi korelasi antara luas DAS dengan debit aliran. Asumsi yang digunakan adalah luas DAS berkorelasi linier dengan debit aliran yang dihasilkan. Dengan menggunakan data empiris dari 17 Stasiun Pemantau Air Sungai (SPAS) yang terdapat di DAS Batanghari serta data luas masing-masing DAS, maka grafik korelasi tersebut dihasilkan (Gambar 4).



Gambar 4. Korelasi antara Luas DAS dengan Debit Minimum

Berdasarkan Gambar 3.2, korelasi antara luas DAS dengan debit minimum adalah $Y = 0,0093X + 15,962$. Dalam hal ini, Y adalah debit minimum (Q_{min}) dan X adalah luas DAS. Luas DAS di headwater (Gasiang) diketahui 2.901,83 Km². Dengan demikian perkiraan debit minimum di headwater sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{min} &= (0,0093 \times 2.901,83) + 15,962 \\ &= 42,96 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Kualitas Air Anak Sungai Sampel air anak sungai diambil pada Batang Sangir, Batang Sipatar, Sungai Momong, Batang Pangian dan Batang Timpeh yang kesemuanya bermuara di Sungai Batanghari. Data kualitas air sungai disajikan pada Tabel 2.

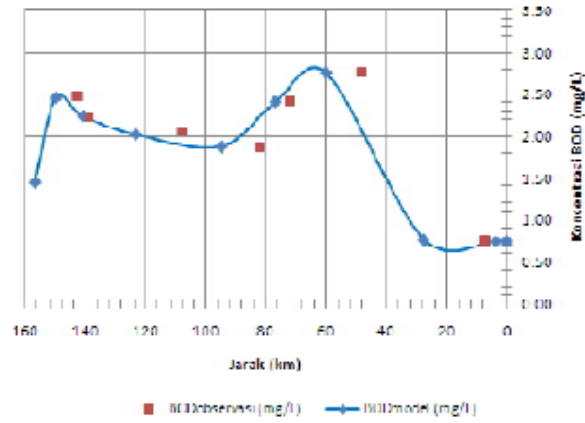
Dengan mereferensi pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (PP 82/2001), sungai yang belum ditetapkan baku mutu airnya, menggunakan baku mutu air kelas II sebagai acuan. Baku mutu kelas II untuk BOD, COD dan TSS berturut-turut adalah 3, 25 dan 50 mg/L, Berdasarkan Tabel 2, konsentrasi BOD di Batang Pangian telah melampaui baku mutu. Untuk parameter COD dan TSS semua anak sungai belum melampaui baku mutu. Meskipun demikian, untuk parameter COD telah berada di ambang batas, kecuali di Batang Sangir.

Dalam penelitian ini kualitas air sungai ditinjau berdasarkan parameter BOD, COD dan TSS. Observasi lapangan pada 13 – 15 Juli 2010, analisa sampel air di laboratorium serta pemodelan kualitas air dengan QUAL2Kw menghasilkan grafik sebaran konsentrasi BOD (Gambar 5), COD (Gambar 6) dan TSS (Gambar 7) di daerah penelitian.

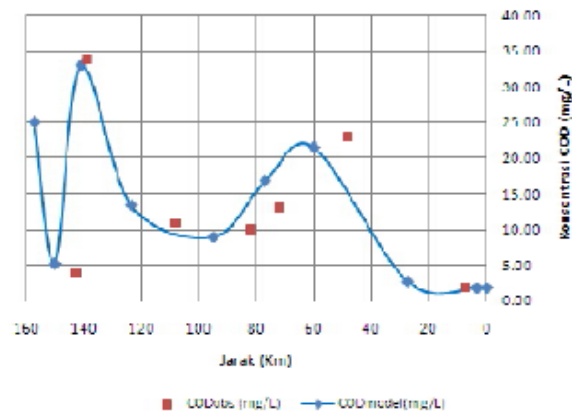
Tabel 2. Kualitas Air Anak Sungai

Nama	Lokasi (km)	Outflow m ³ /s	Inflow m ³ /s	BOD	COD	TSS
Batang Sangir	143.57	-	78.85	1.79	10.00	23.00
Batang Sipatar	118.89	-	32.34	1.93	25.00	19.00
Batang Momong	97.23	-	34.31	2.04	25.00	21.00
Batang Pangian	73.12	-	54.45	3.79	25.00	22.00
Batang Timpeh	25.82	-	26.67	1.55	25.00	45.00

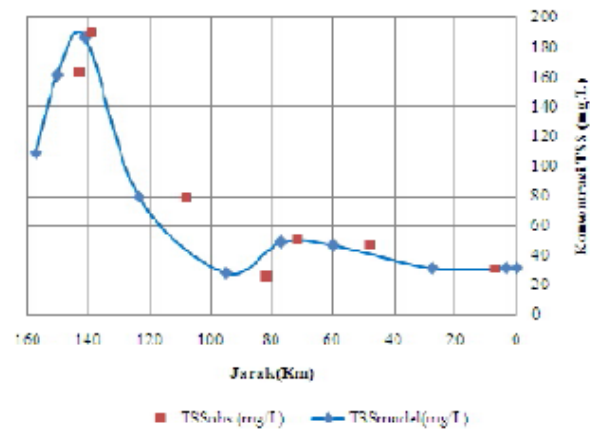
Sumber: Analisa sampel air oleh Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi (Baristand) Industri Padang



Gambar 5. Sebaran Konsentrasi BOD



Gambar 6. Sebaran Konsentrasi COD



Gambar 7. Sebaran Konsentrasi TSS

Pada Gambar 5 sampai 7, titik-titik merah adalah data observasi sedangkan garis biru adalah model sebaran konsentrasi parameter kimia yang telah dikalibrasi. Model sebaran konsentrasi parameter kimia terkalibrasi menjadi dasar perhitungan beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran sungai di daerah penelitian.

Berdasarkan Gambar 5, konsentrasi BOD naik di sekitar kilometer 150, lalu turun secara gradatif dari kilometer 140 sampai di sekitar kilometer 100. Pada kilometer 80 sampai 60 konsentrasi BOD naik lagi hingga hampir mencapai 3 mg/L. Kenaikan ini mungkin ada hubungannya dengan masuknya kelebihan beban BOD dari Batang Pangian.

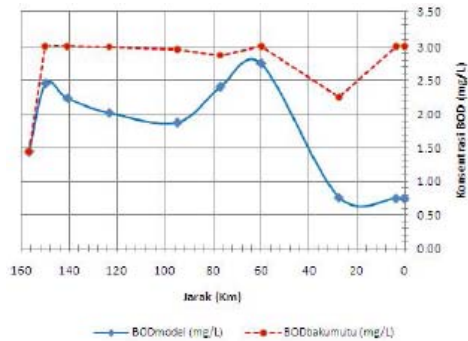
Gambar 6 menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi COD sangat fluktuatif. Turun secara tajam pada kilometer 150 diikuti kenaikan secara tajam pula di kilometer 140. Diperkirakan di lokasi ini terdapat sumber pencemar yang menyebabkan fenomena tersebut terjadi. Fenomena ini perlu diidentifikasi lebih lanjut. Kenaikan konsentrasi COD kembali terjadi pada kilometer 80 sampai 60 yang merupakan lokasi yang sama seperti kenaikan konsentrasi BOD.

Berdasarkan Gambar 7, konsentrasi TSS sudah tinggi di bagian hulu dan terus meningkat sampai di sekitar kilometer ke 140, lalu turun secara tajam dari kilometer 140 sampai kilometer 90. Kenaikan kembali terjadi di sekitar kilometer 70 untuk selanjutnya turun secara landai hingga downstream boundary. Dari headwater hingga kilometer 140 terdapat kegiatan penambangan emas tanpa izin (PETI) yang tersebar secara sporadis. PETI beroperasi dengan cara menyedot atau mengeruk dasar sungai. Aktivitas penambangan liar di badan air ini menjadi penyebab tingginya kandungan TSS di bagian hulu daerah penelitian.

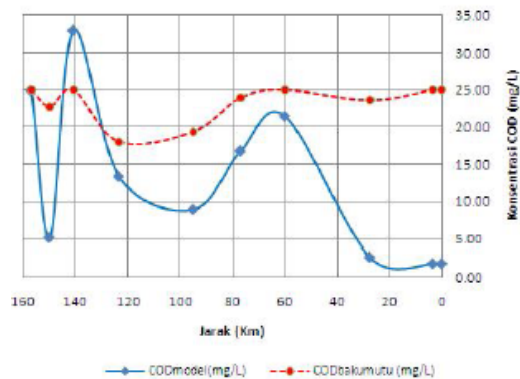
Dengan melakukan simulasi tahap kedua, diperoleh model sebaran konsentrasi BOD, COD dan TSS jika sungai diasumsikan dalam kondisi sesuai dengan baku mutu air kelas II (Gambar 3.6, 3.7, dan 3.8). Selama proses simulasi, dilakukan penambahan atau pengurangan beban pada sumber pencemar titik (PS) dan sumber pencemar non titik (NPS) secara virtual, hingga sungai mencapai ambang batas baku mutu. Selanjutnya dengan mempergunakan data penambahan dan pengurangan beban pencemaran secara virtual tersebut, dilakukan perhitungan beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran di daerah penelitian.

Paremater BOD Perhitungan daya tampung beban pencemaran BOD disajikan pada Table 3. Berdasarkan tabel tersebut, total beban pencemaran

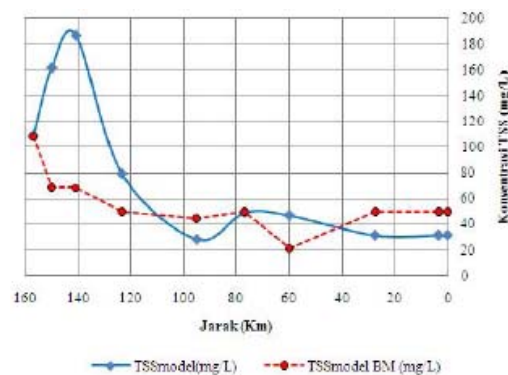
BOD sebesar 14,463 Ton/jam. Jumlah tersebut berasal dari masuknya beban BOD dari Sungai Batang Sangir sebesar 0,508 Ton/jam, Batang Sipatar 0,225 Ton/jam, Sungai Momong 0,252 Ton/jam, Batang Pangian 0,743 Ton/jam, Batang Timpeh 0,149 Ton/jam dan pengurangan beban 0,093 Ton/jam di saluran irigasi Bendungan Batanghari.



Gambar 8. Perbandingan BODmodel dengan BODbakumutu



Gambar 9. Perbandingan CODmodel dengan CODbakumutu



Gambar 10. Perbandingan TSS model dengan TSS bakumutu

Tabel 3. Daya Tampung Beban Pencemaran BOD

Sumber Pencemar	Lokasi (Km)			BOD		Selisih	Keterangan
	Titik	Up	Down	DT	BP		
Batang Sangir	143.57			0.851	0.508	0.342	Dapat menerima Beban 67.4%
Batang Sipantar	118.89			0.349	0.225	0.125	Dapat menerima Beban 55.5%
Bandungan Batanghari	100.99			-0.135	-0.093	-0.042	Out Flow
Sungai Momong	97.23			0.370	0.252	0.118	Dapat menerima Beban 47.0%
Batang Pangian	73.12			0.588	0.743	-0.155	Dapat menerima Beban -20.9%
Batang Timpeh	25.82			0.288	0.149	0.139	Dapat menerima Beban 93.5%
NPS1		156.00	150.00	1.818	1.638	0.180	Dapat menerima Beban 11.0%
NPS2		149.00	141.00	0.007	0.007	0.000	
NPS3		140.00	139.00	0.536	0.306	0.230	Dapat menerima Beban 75.0%
NPS4		123.00	96.00	7.776	5.400	2.376	Dapat menerima Beban 44.0%
NPS5		94.00	77.00	-0.720	-0.720	0.000	
NPS6		76.00	60.00	6.122	6.120	0.092	Dapat menerima Beban 1.5%
NPS7		59.00	28.00	0.036	0.036	0.000	
NPS8		27.00	4.00	3.960	-0.36	4.320	Dapat menerima Beban 1200.0 %
NPS9		3.00	0.00	1.021	0.253	0.769	Dapat menerima Beban 305.0 %
				22.956	14.463	8.493	Dapat menerima Beban 58.7%

Keterangan:

DT=Daya Tampung (Ton/Jam)

BP=Beban Pencemaran (Ton/Jam)

NPS=Sumber Pencemaran Non Titik

Penambahan dan pengurangan beban juga berasal dari sumber-sumber pencemar non titik (NPS), yaitu dari kilometer 156 sampai kilometer 150 (NPS1) sebesar 1,638 Ton/jam, kilometer 123 sampai 96 (NPS4) sebesar 5,4 Ton/jam dan kilometer 76 sampai 60 sebesar 6,12 Ton/jam.

Selanjutnya dengan menghitung selisih antara BP dan DT, diketahui bahwa anak sungai Batang Pangian harus mengurangi beban sebesar 20,9% dari beban BOD yang ada sekarang. Ini mengandung arti, sumber-sumber pencemar yang membuang limbah BOD di Batang Pangian, secara kumulatif harus mengurangi beban pencemaran hingga mencapai 20,9% agar konsentrasi BOD di Batang Pangian memenuhi baku mutu air kelas II. Lokasi-lokasi lain relatif masih bisa menerima tambahan beban.

Parameter COD Perhitungan daya tampung beban pencemaran COD disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut, total beban pencemaran COD sebesar 43,363 Ton/jam dan daya tampungnya sebesar 108,6 Ton/jam. Secara umum beban pencemaran COD di daerah penelitian masih berada dibawah daya tampungnya.

Penambahan beban yang terlalu besar terjadi pada kilometer 140 hingga 139 sebesar 16,2 Ton/jam yang menyebabkan konsentrasi COD Sungai Batanghari di daerah tersebut melampaui baku mutu (34 mg/L). Sementara itu, daya tampung di daerah itu hanya 1,62 Ton/jam. Agar konsentrasi COD di memenuhi baku mutu, beban pencemaran yang berasal dari kilometer 139 – 140 harus dikurangi sebesar 14,58 Ton/jam (900%). Penelitian ini belum menemukan adanya aktifitas tertentu yang menyebabkan terjadinya kenaikan konsentrasi yang begitu tajam di lokasi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab tingginya beban COD di daerah ini.

Parameter TSS Berdasarkan hasil perhitungan (Tabel 5.), total beban pencemaran TSS di daerah penelitian sebesar 14,658 Ton/jam sementara itu total daya tampung beban pencemaran TSS sebesar 33,2 Ton/jam. Dengan demikian, untuk baku mutu kelas II (dan juga kelas I), secara umum sungai utama masih dapat menerima beban TSS sebesar 18,56 Ton/jam.

Tabel 4. Daya Tampung Beban Pencemaran COD

Sumber Pencemar	Lokasi (Km)			COD		Selisih	Keterangan
	Titik	Up	Down	DT	BP		
Batang Sangir	143.57			7.097	2.839	4.258	Dapat menerima Beban 60.0%
Batang Sipantar	118.89			2.911	2.911	0.000	Dapat menerima Beban -
Bandungan Batanghari	100.99			-0.125	-0.495	-0630	Out Flow 56.0%
Sungai Momong	97.23			3.088	0.088	0.000	Dapat menerima Beban
Batang Pangian	73.12			4.901	4.901	0.000	Dapat menerima Beban
Batang Timpeh	25.82			2.400	2.400	0.000	Dapat menerima Beban
NPS1		156	150	0.360	-0.360	0.720	Dapat menerima Beban 200.00%
NPS2		149	141	6.275	-3.600	9.875	157.4%
NPS3		140	139	1.620	16.200	-14.580	Dapat menerima Beban - 900.00%
NPS4		123	96	18.00	0.360	17.640	Dapat menerima Beban 98.00%
NPS5		94	77	3.960	0.360	3.600	90.9%
NPS6		76	60	30.600	30.600	0.000	Dapat menerima Beban
NPS7		59	28	0.036	0.360	0.000	
NPS8		27	4	-18.000	-18.000	44.352	Dapat menerima Beban 168.3%
NPS9		3	0	1.800	1.800	0.000	Dapat menerima Beban
				108.597	43.363	65.235	Dapat menerima Beban 60.1%

Keterangan:

DT=Daya Tampung (Ton/Jam)

BP=Beban Pencemaran (Ton/Jam)

NPS=Sumber Pencemaran Non Titik

Sumber: Analisa data tahun 2010

Tabel 5. Daya Tampung Beban Pencemaran TSS

Sumber Pencemar	Lokasi (Km)	TSS		Selisih	Keterangan	
		DT	BP			
Batang Sangir	143.568	14.194	6.529	7.665	Dapat menerima Beban	117.4%
Batang Sipantar	118.888	5.821	2.212	3.609	Dapat menerima Beban	163.2%
Bandungan Batanghari	100.994	-2.250	-3.510	1.260	Out Flow	-35.9%
Sungai Momong	97.234	6.176	2.594	3.582	Dapat menerima Beban	138.1%
Batang Pangian	73.122	9.800	4.312	5.488	Dapat menerima Beban	127.3%
Batang Timpeh	25.82	4.800	4.321	0.480	Dapat menerima Beban	11.1%
NPS1	156-150	0.000	14.400	-14.400	Dapat menerima Beban	-100.0%
NPS2	149-141	0.000	46.800	-46.800	Dapat menerima Beban	-100.0%
NPS3	140-139	0.360	0.360	0.000		
NPS4	123-96	-14.033	-72.000	57.967	Dapat menerima Beban	80.5%
NPS5	94-77	4.590	6.120	-1.530		-25.0%
NPS6	76-60	9.405	68.400	-58.995	Dapat menerima Beban	-86.3%
NPS7	59-28	-87.364	- 147.600	60.236	Dapat menerima Beban	40.8%
NPS8	27-4	93.600	93.600	0.000	-	
NPS9	3-0	-11.880 33.219	-11.880 14.658	0.000 18.561	- Dapat menerima Beban	 126.6%

Keterangan:

DT=Daya Tampung (Ton/Jam)

BP=Beban Pencemaran (Ton/Jam)

NSP=Sumber Pencemaran Non Titik

Sumber: Analisa data tahun 2010

Walaupun secara total beban TSS Sungai Batanghari di daerah penelitian masih dibawah beban sesuai baku mutu, namun jika diperhatikan penggal per penggal, pada kilometer 156 – 150 terjadi kelebihan beban sebesar 14,4 Ton/jam, kilometer 149 – 141 kelebihan 46,8 Ton/jam, kilometer 94 – 77 kelebihan 1,53 Ton/jam dan kilometer 76 – 60 kelebihan beban sebesar 59 Ton/jam. Agar konsentrasi TSS sungai utama di daerah-daerah tersebut memenuhi baku mutu, maka beban pencemaran TSS harus diturunkan dari beban yang ada sekarang; 100% pada kilometer 156 – 150; 100% pada kilometer 149 – 141; 25% pada kilometer 94 – 77; 86% pada kilometer 76 – 60. Penurunan beban TSS dapat dilakukan dengan antara lain menutup aktifitas PETI, melakukan konservasi lahan dan pengaturan pengolahan lahan pertanian di kawasan hulu headwater.

Reliabilitas Model Hasil perhitungan rB dan MRE (Tabel 6 sampai Tabel 8) menunjukkan bahwa Relative bias (rB) pemodelan BOD sebesar -0.00508, COD sebesar 0.05840 dan TSS sebesar -0.00614, sementara itu rasio variasi model dan observasi (F) untuk BOD, COD dan TSS berturut-turut 0.975, 0.874 dan 0.955. Angka-angka tersebut menempatkan rB dan F untuk semua model yang diuji pada posisi dapat diterima. Tabel 6. Perhitungan rB dan MRE Model BOD

Tabel 6. Perhitungan rB dan MRE Model BOD

Lokasi	Jarak (km)	BODmodel (mg/L)	BODobs (mg/L)
Desa Muaro Bt. Sangir	143.024	2.46	2.47
Desa Limau Kapeh	138.909	2.24	2.23
Pulau Panjang	108.013	2.02	2.06
Sungai Dareh	82.02	1.88	1.86
Siguntur	71.94	2.41	2.42
Sitiung Pulai	48.037	2.76	2.76
Sungai Langkok	7.01	0.77	0.75
		Rm = 2.1	Ro = 2.1
		Sm = 0.6	So = 0.7
		Sm ² = 0.4175	So ² = 0.4284
	rB = -0.00508	F = 0.975	MRE = 0.08
Kesimpulan:			
-0.5 < rB < 0.5 dan 0.5 < F < 1.5		Model diterima	
MRE < 10%		Model diterima	

Sumber: Hasil analisis data 2010

Tabel 7. Perhitungan rB dan MRE Model COD

Lokasi	Jarak (km)	CODmodel (mg/L)	CODobs (mg/L)
Desa Muaro Bt. Sangir	143.024	5.19	4.00
Desa Limau Kapeh	138.909	33.03	34.00
Pulau Panjang	108.013	13.40	11.00
Sungai Dareh	82.02	8.94	10.00
Siguntur	71.94	16.82	13.00
Sitiung Pulaui	48.037	21.51	23.00
Sungai Langkok	7.01	2.68	2.00
		Rm = 14.5	Ro = 13.9
		Sm = 10.5	So = 11.2
		Sm ² = 109.4	So ² = 125.1
	rB = 0.05840	F = 0.874	MRE = 3.67
Kesimpulan:			
-0,5 < rB < 0,5 dan 0,5 < F < 1,5		Model diterima	
MRE < 10%		Model diterima	

Sumber: Hasil analisis data 2010

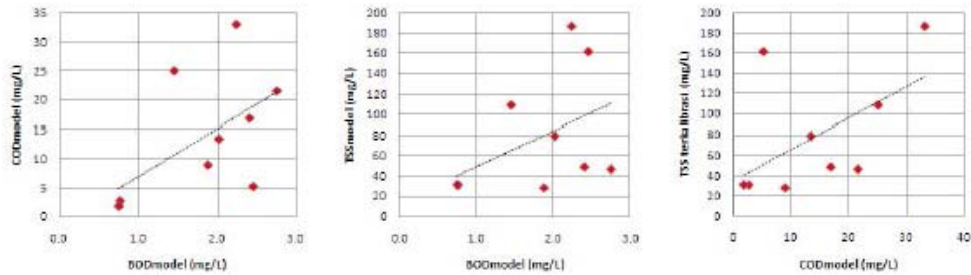
Tabel 8. Perhitungan rB dan MRE Model TSS

Lokasi	Jarak (km)	TSSmodel (mg/L)	TSSobs (mg/L)
Desa Muaro Bt. Sangir	143.024	161.5	163.0
Desa Limau Kapeh	138.909	186.4	190.0
Pulau Panjang	108.013	79.4	78.0
Sungai Dareh	82.02	28.3	26.0
Siguntur	71.94	49.1	51.0
Sitiung Pulaui	48.037	47.0	47.0
Sungai Langkok	7.01	31.4	31.0
		Rm = 83.3	
		Sm = 64.5	So = 66.0
		Sm ² = 4160.5	So ² = 4357.2
	rB = -0.00614	F = 0.955	MRE = 1.33
Kesimpulan:			
-0,5 < rB < 0,5 dan 0,5 < F < 1,5		Model diterima	
MRE < 10%		Model diterima	

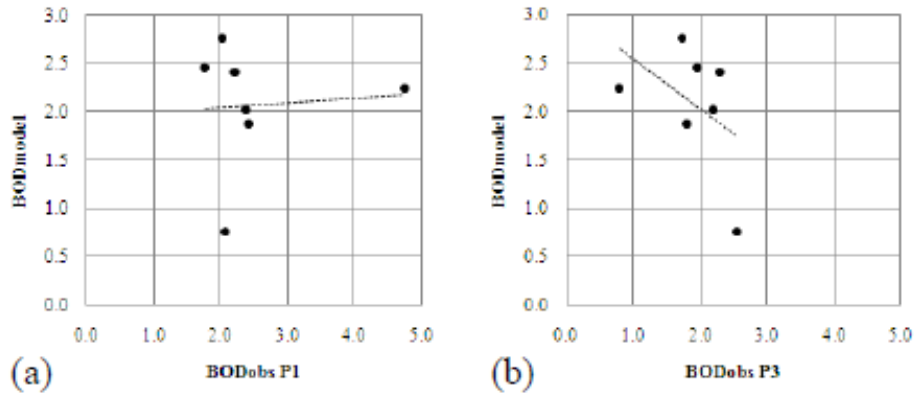
Sumber: Hasil analisis data 2010

Sementara itu, hasil perhitungan menunjukkan nilai MRE untuk semua model lebih kecil dari 10%. Itu artinya, semua model dapat diterima penggunaannya. Uji reliabilitas secara grafis di sajikan pada Gambar 11 sampai Gambar 14. Berdasarkan Gambar 11, semua pasangan parameter pencemaran membentuk pola regresi yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemodelan cukup reliable untuk semua parameter kimia yang diuji. Dengan demikian, pemodelan daya tampung beban pencemaran menggunakan QUAL2Kw dapat diterapkan pada semua parameter pencemaran yang diuji.

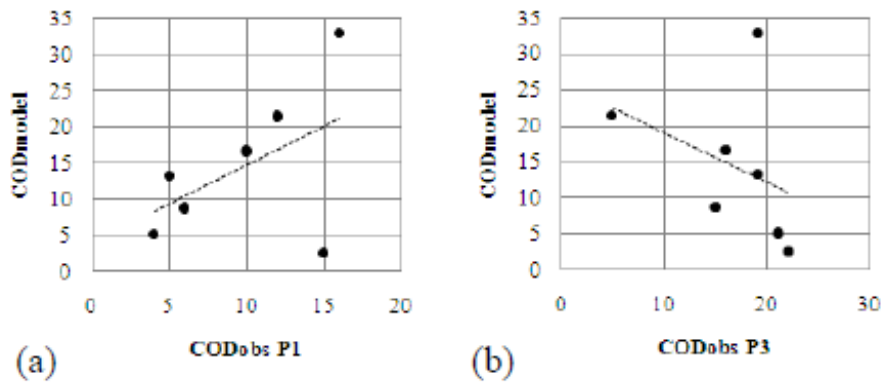
Sementara itu, berdasarkan Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14, terlihat bahwa tidak ada kesamaan pola regresi antara set data pemantauan yang satu dengan set data pemantauan yang lain. Hal ini dapat dimengerti karena kualitas air di suatu sungai bisa berbeda dari waktu ke waktu. Fakta tersebut menunjukkan bahwa model hanya berlaku untuk data yang digunakan sebagai dasar pemodelan saja dan tidak bisa digeneralisir untuk set data yang lain. Dengan demikian model hanya berlaku untuk menghitung daya tampung beban pencemaran sesaat.



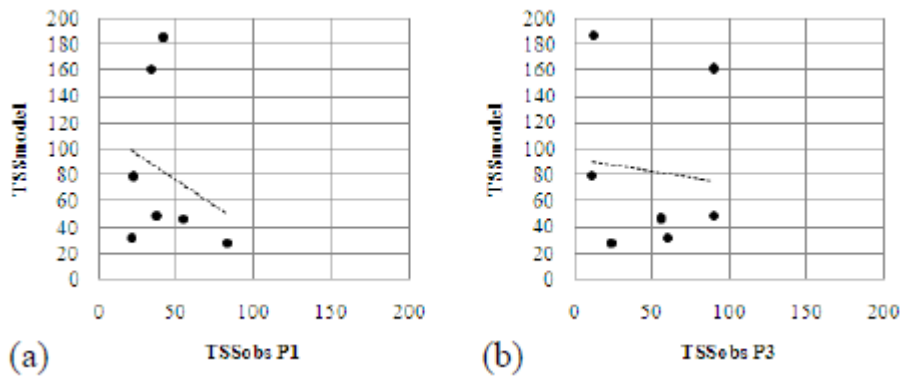
Gambar 11. Grafik Pencar Pasangan Data Model



Gambar 12. Perbandingan BOD Model dengan BOD Observasi (a) Pemantauan 1 dan (b) Pemantauan 3



Gambar 13. Perbandingan CODmodel dengan COD Observasi (a) Pemantauan 1 dan (b) Pemantauan 3



Gambar 14. Perbandingan TSSmodel dengan TSS Observasi (a) Pemantauan 1 dan (b) Pemantauan 3

Perhitungan daya tampung beban pencemaran sungai untuk tujuan perencanaan pengelolaan kualitas air jangka panjang membutuhkan rata-rata seri data yang cukup panjang pula dengan mengakomodasi variasi musim agar lebih mewakili kondisi kualitas air sepanjang waktu.

Walaupun hasil kajian ini menunjukkan bahwa model dapat diterima penggunaannya dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran sungai di daerah penelitian, namun kelengkapan data yang akurat dan konsisten menjadi kunci baik atau buruknya kualitas hasil pemodelan. Model dikembangkan untuk kajian kualitas air sungai yang memiliki seri data real time yang kondisinya sangat berbeda dengan kelengkapan data sungai-sungai di Indonesia pada umumnya. Oleh karena itu, penerapan model ini untuk

sungai-sungai di Indonesia perlu didukung dengan ketersediaan infrastruktur eksplorasi data sungai dan daerah aliran sungai serta mekanisme dan struktur organisasi yang mapan. Infrastruktur, mekanisme dan struktur organisasi yang diperlukan dalam kaitannya dengan pengelolaan kualitas air sungai dan pengelolaan daerah aliran sungai antara lain:

1. Stasiun Pemantauan Air Sungai Otomatis (Automatic Water Level Recorder Station/AWLR) dalam jumlah dan sebaran yang cukup dan beroperasi secara konsisten untuk memperoleh data debit dengan kualitas yang baik.
2. Stasiun Meteorologi dengan sebaran geografis yang mewakili karakteristik fisik DAS untuk memperoleh data iklim dan cuaca dengan kualitas yang baik.
3. Stasiun pemantauan kualitas air yang berada pada lokasi yang tetap dengan jumlah dan sebaran yang cukup mewakili karakteristik DAS serta accessible.
4. Laboratorium kualitas air terakreditasi yang berada pada jarak yang terjangkau sesuai tenggat waktu kadaluarsa sampel air.
5. Sistem Inventarisasi Sumber Pencemar baik sumber pencemar titik maupun sumber pencemar non titik (diffuse). Struktur dan mekanisme aliran data dapat mengikuti struktur organisasi pemerintahan atau organisasi lain yang dibentuk secara khusus. Format dan waktu pengumpulan data disusun seragam, dalam hal ini, Kementerian Lingkungan Hidup dapat menyusun format standard.
6. Mendorong dilakukannya kajian-kajian ilmiah yang berkaitan dengan penentuan koefisien faktor emisi dari berbagai jenis kegiatan yang ada di DAS. Ketersediaan informasi koefisien faktor emisi pada akhirnya akan mempermudah pekerjaan pengelolaan berbagai jenis sumber pencemar karena proporsi kontribusi masing-masing jenis sumber pencemar terhadap beban pencemaran sungai dapat diperkirakan.

KESIMPULAN

Sumber pencemar BOD yang penting di daerah penelitian berasal dari Sungai Batang Pangian yang masuk ke Sungai Batanghari pada kilometer ke 73. Sumber pencemar COD berasal dari sumber pencemar non titik yang belum diketahui secara pasti jenisnya, namun lokasinya diidentifikasi di sekitar kilometer 140 hingga kilometer 139. Sementara itu penyebab tingginya konsentrasi TSS terutama berasal dari aktivitas penambangan emas tanpa izin (PETI) yang terdapat di hampir sepanjang sungai Batanghari.

Total beban pencemaran BOD di sungai utama di daerah penelitian sebesar 14,5 Ton/jam dan total daya tampung beban pencemaran COD sebesar 22,96 Ton/jam. Itu berarti sungai utama masih bisa menerima tambahan beban BOD sebesar 8,5 Ton/jam. Total beban pencemaran COD sebesar 43,4 Ton/jam sementara total daya tampung beban pencemaran COD sebesar 108,6 Ton/jam. Sungai utama masih dapat menerima tambahan beban COD sebesar 65,2 Ton/jam. Total beban pencemaran TSS sebesar 14,7 Ton/jam sementara itu daya tampung beban pencemaran TSS sebesar 33,2 Ton/jam. Sungai utama masih dapat menerima total beban TSS sebesar 18,6 Ton/jam.

Walaupun semua parameter kualitas air yang diuji pada penelitian ini masih dimungkinkan adanya penambahan beban, namun penambahan beban harus dilakukan secara selektif pada penggal-penggal sungai yang daya tampungnya masih tinggi. Beban BOD pada Batang Pangian di kilometer 73,12 pada penggal Sungai Dareh hingga Siguntur justru harus dikurangi sampai 20,9%, beban pencemaran COD dari sumber pencemar non titik pada kilometer 140 – 139 harus dikurangi hingga 900% dan beban pencemaran TSS dari sumber pencemar non titik pada kilometer 156 – 141 harus dikurangi hingga 100%. Pengurangan beban hingga di atas 100% mengandung arti bahwa selain harus dilakukan pengurangan beban pada sumber pencemar, diperlukan juga kegiatan pemulihan kualitas lingkungan.

Uji reliabilitas yang dilakukan menunjukkan bahwa pemodelan dengan metode QUAL2Kw dapat diterima penggunaannya di daerah penelitian, namun demikian model hanya berlaku pada satu set data pemantauan saja. Oleh karena pemodelan pada penelitian ini didasarkan pada data satu kali pemantauan kualitas air, maka hasil pemodelan pada penelitian ini hanya merupakan gambaran daya tampung beban pencemaran sesaat. Penerapan metode ini di lokasi lain akan menghasilkan model yang berbeda yang memerlukan uji reliabilitas tersendiri.

Penerapan model ini untuk sungai-sungai di Indonesia perlu didukung dengan ketersediaan infrastruktur eksplorasi data sungai dan daerah aliran sungai serta mekanisme dan struktur organisasi yang mapan yang antara lain meliputi: (a) ketersediaan AWLR); (b) Stasiun Meteorologi; (c) Laboratorium Kualitas Air Terakreditasi; (d) Sistem Inventarisasi Sumber Pencemar.

DAFTAR PUSTAKA

Azzellino, A., R. Salvetti, and R. Vismara. 2008. Combined Use of Watershed Models to Assess The Apportionment of Point and Non Point Load

Sources to Surface Waters. In Gönenç, et al. (eds), 2008. Proceedings of the NATO SPS (NFA) 5th Workshop on Sustainable Use and Development of Watersheds for Human Security and Peace Kumburgaz, Turkey 22-26 October 2007, pp.369–383. Istanbul.

Bartell, S.M., R.H. Gardner, and R.V. O'Neill. 1992. Ecological Risk Estimation.: Lewis Publishers, 252 pp. Boca Raton, Florida.

Brown, L.C. and T.O. Barnwell. 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and User Manual. US-EPA, Environmental Research Laboratory. pp. 189, EPA/600/3-87/007. Athens.

Ginting, S., Fery, A., Brahmana, N.I., Silva, Darmiati, Abdi, Z. 2009. Perhitungan Daya Dukung Wilayah dan Daya Tampung Sungai Kampar. Laporan Kegiatan. Pusat Pengelolaan Lingkungan Hidup Regional Sumatera Kementerian Lingkungan Hidup. Pekanbaru.

Kurniawan, 2010; James, A. 1984. An Introduction to Water Quality Modelling. John Willey & Sons Ltd. New York.

Kannel P. R., Lee S., Kanel S. R., Lee Y. S., and Ahn K. H. 2006. Application of QUAL2Kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. Water Environmet & Remediation Reserch Center, Korea Institute of Science and Technology. Cheongryang, Seoul.

Kannel P. R., Lee S., Lee Y.S., Kanel S.R., Pelletier G.J. 2007. Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Management in the Bagmati River, Nepal. Ecological Modelling 202 (2007), Elsevier. pp.503–517. Kementerian Kehutanan, USAID, Environmental Services Program, dan Institut Pertanian Bogor. 2009. Konferensi Pers dan Rumusan Hasil Workshop “Menyelamatkan Daerah Aliran Sungai (DAS): Saatnya Bertindak Sekarang”. Bogor.

KLH, 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.

- KLH, 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- KLH, 2009. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- KLH, 2010. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Lin C., Huang T., Shaw D., 2009. Applying Water Quality Modeling to Regulating Land Development in a Watershed (a case study on the Kao-Ping Watershed, Taiwan). *Water Resour Manage* (2010) 24:629–640. DOI 10.1007/s11269-009-9462-x. Taipeh.
- Turner et al., 2009; Meeker, W. Q. and Escobar, L. A. 1998. *Statistical Methods for Reliability Data*. Wiley. ISBN 0471143286. Hoboken, New Jersey. Montgomery, D.C. 1984. *Design and Analysis of Experiments*. John Willey and Sons Inc. Toronto.
- Nugraha, W.D. dan L. Cahyorini. 2007. Identifikasi Daya Tampung Beban Cemar BOD Sungai dengan Model QUAL2E (Studi Kasus Sungai Gung, Tegal – Jawa Tengah). *Jurnal PRESIPITASI* Vol. 3 No.2 September 2007, ISSN 1907-187X. Semarang.
- Sudjana, 2001. *Metoda Statistika*. Tarsito. Bandung.