

PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI MAHAKAM SEBAGAI DASAR PERENCANAAN PENGELOLAAN LAHAN WILAYAH PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Yuliana Susilowati¹, Bambang Edhi Leksono², dan Eko Harsono³

¹ Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

Kompleks LIPI, Gd 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135

²Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika,

Fakultas Ilmu dan Teknik Kebumihan, ITB.

³Pusat Penelitian Limnologi LIPI, Cibinong.

Email: yuliana@geotek.lipi.go.id dan yuliysl@yahoo.com

Abstrak

Status pencemaran air Sungai Mahakam adalah indikator bahwa pengelolaan lahan di wilayah DAS Mahakam belum memperhatikan kelestarian lingkungan. Pemanfaatan lahan yang baik tidak akan menimbulkan pencemaran. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dan pemodelan kualitas air Sungai Mahakam sebagai dasar perencanaan pengelolaan lahan di wilayah Provinsi Kalimantan Timur. Dikembangkan model kualitas air berdasarkan model eutrofikasi untuk melakukan analisis pencemaran organik pada sistem perairan. Validasi model dilakukan menggunakan data pengukuran lapangan dan analisis laboratorium dari conto air Sungai Mahakam pada tujuh titik pantau sepanjang 340 km dari Muara Pahu hingga Samarinda. Selanjutnya dilakukan analisis korelasi antara data kualitas air dengan pemanfaatan lahan di wilayah yang bersangkutan. Dilakukan pula analisis skenario perubahan tutupan lahan terhadap peningkatan beban polutan dan kualitas air Sungai Mahakam. Pada segmen sungai dari Muara Kaman hingga Muara Belayan terjadi pencemaran organik yang berbanding lurus dengan banyaknya bukaan lahan oleh aktivitas pertambangan dan perkebunan di wilayah tersebut. Beban polutan yang ditimbulkan Daerah Aliran Sungai (DAS) Kaman, Siran, Belayan, terbawa masuk ke Sungai Mahakam dan telah melebihi ambang batas daya tampung atau kapasitas asimilasi sistem perairan Sungai Mahakam. Diperlukan tindakan nyata untuk melakukan pengendalian pencemaran yang dapat menekan beban polutan yang ditimbulkan oleh DAS Kaman, Siran, Belayan agar tidak terjadi pencemaran dan kerusakan lingkungan lebih lanjut. Pengendalian pencemaran dapat dilakukan melalui penatagunaan lahan ataupun pengolahan limbah tambang dan perkebunan di wilayah tersebut.

Kata kunci: pemodelan kualitas air, indikator, pengelolaan lahan, sumberdaya alam.

Abstract

An optimal land use planning and a good land management would not cause a pollution. The current status of Mahakam River water pollution is an indicator that land management in this area is not environmentally sustainable. The purpose of this research is to measure and develop a model of the Mahakam River water quality as a basis for land management planning in the province of East Kalimantan. Water quality model was developed based on the eutrophication models for analysis of organic pollution in aquatic systems. Model validation is done using field measurement and laboratory analysis data of water samples on the seven monitoring points along the 340 km from Muara Pahu to Samarinda in Mahakam River. The correlation between water quality and land use has been analyzed in term of to develop the scenario analysis for the land use planning in the Mahakam Watershed. The organic pollutant load of watershed of Kaman, Siran, Belayan is directly proportional to the deforestation intensity by mining and plantation activities in this region. The pollutant load has exceeded the assimilation capacity of the Mahakam River system in this segment. The pollution control that can reduce pollutant loads generated by watershed of Kaman, Siran, Belayan is necessary to prevent environmental damage in this area. Pollution control can be done through the land use planning and waste treatment in this region.

Keywords: *water quality modeling, indicators, land management, natural resource.*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk Provinsi Kalimantan Timur dari tahun ke tahun terus meningkat secara signifikan. Pada tahun 2000, jumlah penduduk sebesar 2.436.545 jiwa, tahun 2008 meningkat menjadi 3.044.961 jiwa. Disamping pertumbuhan penduduk, percepatan pembangunan dan pertumbuhan ekonomi di wilayah provinsi Kalimantan Timur telah mengakibatkan perubahan fungsi lahan yang cukup signifikan dan memiliki dampak yang cukup besar terhadap kondisi alam dan kelestarian lingkungan. Kondisi hutan di sebagian besar wilayah Provinsi Kalimantan Timur telah rusak parah, termasuk juga hutan mangrove di Delta Mahakam. Sebagian besar industri pencemar adalah berasal dari aktivitas tambang batubara, perkebunan, perusahaan molding kayu, dan industri lain.

Pengukuran dan pemantauan kualitas air Sungai Mahakam oleh Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI pada tahun 2003 hingga 2007, memperlihatkan adanya penurunan kualitas air yang sangat signifikan (Susilowati dkk., 2005, Susilowati dkk., 2004). Sungai Mahakam adalah sungai terpanjang dan terbesar di wilayah Kalimantan Timur (920 km), memiliki berbagai fungsi; fungsi ekosistem sebagai habitat flora dan fauna perairan, sumber air baku air minum dan air bersih, sarana transportasi serta pengendali banjir. DAS Mahakam meliputi luas 8,2 juta hektar atau sekitar 41% dari luas wilayah Propinsi Kalimantan Timur.

Pencemaran dan penurunan kualitas air pada sistem perairan Sungai Mahakam merupakan indikator bahwa pengelolaan lahan di wilayah DAS Mahakam belum dilakukan dengan memperhatikan kelestarian lingkungan. Pemanfaatan lahan yang baik tidak akan menimbulkan pencemaran. Satus pencemaran pada sistem DAS Mahakam juga merupakan indikator buruknya pengelolaan lahan di wilayah Kalimantan Timur. Pencemaran yang terjadi pada sistem perairan

Sungai Mahakam dapat berlanjut pada kerusakan lingkungan dan kerusakan seluruh ekosistem, serta berdampak pada air, tanah, udara, flora-fauna bahkan pada manusia yang ada di dalamnya. Apabila tidak ada tindakan nyata untuk melakukan pengendalian beban pencemar, maka dapat dipastikan akan terjadi kerusakan lingkungan yang semakin parah bahkan kehilangan seluruh sumberdaya yang ada.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi pencemaran pada sistem perairan DAS Mahakam serta mengetahui korelasinya terhadap pola pemanfaatan lahan di wilayah Kalimantan Timur melalui pemodelan kualitas air. Pemodelan kualitas air Sungai Mahakam digunakan sebagai dasar perencanaan pengelolaan lahan wilayah Kalimantan Timur. Analisis skenario perubahan pemanfaatan lahan terhadap perubahan lingkungan digunakan sebagai dasar untuk merancang pola pemanfaatan lahan yang tidak menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan sehingga semua sumberdaya yang ada dapat dimanfaatkan secara lestari.

LOKASI PENELITIAN

Provinsi Kalimantan Timur memiliki luas wilayah daratan sekitar 198.441 km² dan luas pengelolaan laut sekitar 10.216,57 km², meliputi 10 kabupaten dan empat kota. Dataran Provinsi Kalimantan Timur umumnya terdiri dari pegunungan dan bukit yang terdapat hampir di seluruh kabupaten. Provinsi ini mempunyai ratusan sungai yang tersebar hampir di semua kabupaten/kota dan merupakan sarana angkutan utama disamping angkutan darat.

Sungai Mahakam terletak di Kalimantan Timur, pada garis lintang 0°35'0"S 117°17'0"E, panjang sungai mencapai 920 km dengan luas 149.227 km² serta memiliki lebar antara 300-500 meter. Sungai ini melewati wilayah kabupaten Kutai Barat di bagian hulu hingga kabupaten Kutai Kertanegara dan Samarinda di bagian hilirnya. DAS Mahakam merupakan salah satu kawasan di Kalimantan Timur yang memiliki luas 8,2 juta hektar atau sekitar 41% dari luas wilayah Provinsi Kalimantan Timur, meliputi wilayah kabupaten Kutai Barat, Kutai Timur, Malinau, Kutai Kertanegara dan kota Samarinda.

Sungai Mahakam merupakan urat nadi kehidupan masyarakat Kalimantan Timur, sejak dulu hingga kini memiliki peranan penting dalam kehidupan masyarakat sebagai sumber air, potensi perikanan maupun prasarana transportasi. DAS Mahakam merupakan pusat kegiatan banyak pihak, mulai dari sektor industri, pertanian, kehutanan, pertambangan, hingga pusat kegiatan ekonomi masyarakat. Kekayaan flora fauna DAS Mahakam ditandai oleh ikan pesut Mahakam (lumba-lumba air tawar), burung enggang, bangau, tong-tong, lutung, bekantan, berang-berang, raja udang dan sebagainya.

Saat ini, pencemaran dan dampak kerusakan lingkungan DAS Mahakam telah mengkhawatirkan. Sering terjadi kematian ikan masal terutama pada saat hujan lebat, terjadi kematian ikan Pesut, peledakan pertumbuhan tanaman enceng gondok yang mengganggu transportasi air, bahkan terjadi banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau. Tingkat sedimentasi lumpur di sepanjang Sungai Mahakam juga sangat tinggi, disebabkan tingginya erosi akibat rusaknya hutan pada wilayah tersebut.



Gambar 1. Pembukaan hutan dan aktivitas pertambangan di wilayah DAS Mahakam
(sumber foto: koleksi pribadi)

Di wilayah DAS Mahakam terdapat berbagai aktivitas ekonomi yang tidak memperhatikan kelestarian lingkungan (Gambar 1). Kegiatan tambang emas dan batu bara banyak dijumpai di bagian hulu Sungai Mahakam, kegiatan ini membuat kerusakan pada DAS Mahakam. Sejumlah perusahaan tambang batu bara diketahui tidak melakukan pengolahan limbah dan membuang langsung ke Sungai Mahakam sehingga terjadi pencemaran. Kerusakan hutan dan pembukaan lahan juga terjadi secara intensif khususnya untuk aktifitas pertambangan batu-bara, perkebunan kelapa sawit maupun permukiman.

METODOLOGI

Pencemaran dan kerusakan lingkungan dapat terjadi pada semua komponen alam baik pada tanah, air, udara, flora, fauna bahkan pada manusia. Kualitas air adalah salah satu indikator yang paling mudah dideteksi dan paling efektif digunakan untuk melihat kualitas lingkungan secara keseluruhan. Bila terjadi pencemaran air maka besar kemungkinan terjadi pula pencemaran pada tanah di wilayah tersebut. Lebih lanjut, bahan pencemar yang terbawa oleh air pada akhirnya juga akan mengakibatkan pencemaran pada tanah, flora, fauna maupun manusia yang menerima manfaat dari air tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam penelitian ini pemodelan kualitas air dibatasi pada bahan polutan organik yang dapat terdegradasi secara alami. Salah satu contoh polutan organik adalah berupa limbah cair yaitu aliran air yang berasal dari lahan pertanian dengan pemupukan intensif. Kelebihan pupuk yang tidak terserap tanaman dan tidak tertahan di tanah akan tercuci oleh air hujan dan menjadi air limbah yang masuk kedalam badan air. Air limbah tersebut mengandung senyawa nutrisi (*nutrient*), fosfat dan nitrogen, yang dapat mengakibatkan terjadinya *eutrofikasi* di badan air. Eutrofikasi adalah pencemaran air yang disebabkan oleh adanya senyawa nutrisi yang berlebihan di dalam ekosistem air yang berakibat adanya pertumbuhan tumbuhan air secara tidak terkontrol. Bahan organik dan senyawa nutrisi yang terdapat di badan air, didekomposisi oleh bakteri menggunakan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen /DO*) untuk proses biokimia maupun proses biodegradasi.

Pada badan air yang mengalami eutrofikasi, alga (tumbuhan air berukuran mikro) akan tumbuh berkembang biak dengan pesat akibat ketersediaan fosfat yang berlebihan serta kondisi lain yang mendukungnya, hingga terjadi peledakan populasi ganggang (*blooming*). Setelah alga mati dan tenggelam ke dasar badan air, terjadi pembusukan oleh dekomposer yang akhirnya

terbentuk *detritus* yang berlebihan. Proses pembusukan *detritus* juga menyerap oksigen dan akhirnya akan semakin menurunkan konsentrasi DO di badan air.

Kadar oksigen (DO) adalah parameter paling penting dalam menentukan tingkat pencemaran air, mengingat bahwa semua kehidupan di alam membutuhkan oksigen. Rendahnya kandungan oksigen terlarut dalam air berpengaruh buruk terhadap kehidupan ikan dan kehidupan akuatik lainnya. Bila oksigen terlarut tidak ada sama sekali akan terjadi kondisi anaerobik dengan bau busuk dan menimbulkan permasalahan estetika. Rendahnya kadar DO di badan air dapat membahayakan seluruh ekosistem perairan.

Dalam penelitian ini, pemodelan kualitas air Sungai Mahakam meliputi beberapa tahap (Gambar 2) yaitu perancangan model, penyusunan model awal, kalibrasi dan validasi model dan penerapan model untuk analisis skenario perubahan pemanfaatan lahan terhadap beban polutan dan kualitas air Sungai Mahakam.

Perancangan model meliputi pembatasan dan pendefinisian sistem dan sub-sistem yang saling berinteraksi. Ditentukan parameter serta variabel masukan (*input*) dan luaran (*output*) serta proses-proses yang terjadi untuk merepresentasikan sistem tersebut. Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap parameter yang dapat dikendalikan (*forcing function*), yaitu parameter yang dapat dikontrol dan diskenariokan untuk mendapatkan sistem yang optimal. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data awal untuk menyusun model konseptual. Berdasarkan model konseptual selanjutnya disusun model matematis dan model awal. Kalibrasi dan validasi model awal dilakukan menggunakan data pengukuran di lapangan. Pada tahap ini dilakukan optimasi antara tujuan pemodelan dan ketersediaan data serta biaya yang harus dikeluarkan untuk penyediaan data.

Model awal disusun menggunakan data hidrodinamika dan kualitas air hasil pengukuran lapangan. Nilai-nilai koefisien diambil dari data literatur dan hasil penelitian laboratorium maupun hasil penelitian terdahulu. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi model dengan cara mengubah-ubah (*tuning*) nilai koefisien model, meliputi, koefisien hidrodinamika dan koefisien reaksi kinetik, hingga diperoleh model yang mendekati (*fit*) data pengukuran lapangan. Validasi model dilakukan melalui pengujian model terhadap data pengukuran lapangan yang belum digunakan dalam penyusunan model awal. Model dapat dinyatakan valid bila nilai penyimpangan (*error*) model terhadap data validasi tidak melebihi nilai toleransi yang ditetapkan.

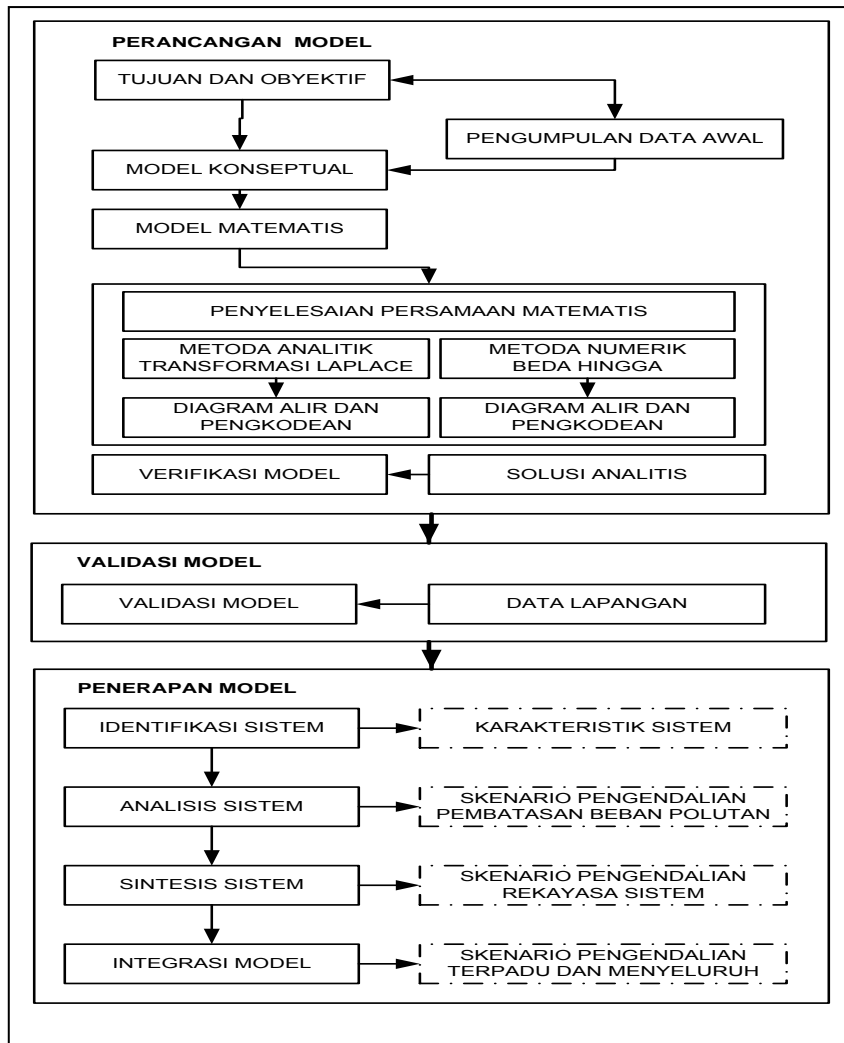
Model yang dikembangkan ditujukan untuk melakukan identifikasi sistem yaitu untuk mengetahui karakteristik sistem perairan Sungai Mahakam. Selain itu pemodelan ditujukan untuk analisis skenario (*what if analysis*) dan sebagai simulator terhadap beberapa alternatif skenario perubahan pemanfaatan lahan terhadap beban polutan dan kualitas air Sungai Mahakam. Analisis skenario ditujukan sebagai data pendukung dan dasar perencanaan pengelolaan lahan di wilayah DAS Mahakam.

Dalam penelitian ini, pemodelan pencemaran organik pada sistem perairan menggunakan model matematis deterministik berdasarkan model eutrofikasi, meliputi proses fisik, biologi, kimia pada sistem perairan. Proses angkutan polutan pada sistem sungai atau saluran terbuka dimodelkan sebagai proses aliran air satu dimensi, meliputi debit dan kecepatan aliran. Proses reaksi kinetik polutan meliputi proses-proses yang berkaitan dengan kesetimbangan oksigen terlarut dalam sistem

perairan. Pemodelan dilakukan menggunakan algoritma dan perangkat lunak Qual2e (Brown dan Barnwell, 1987).

Konsentrasi oksigen terlarut dalam air dipengaruhi oleh temperatur, proses reaerasi atmosfer, proses fotosintesa, proses respirasi tanaman dan hewan serta salinitas perairan. Proses reaksi kinetik polutan dibatasi pada proses-proses yang berpengaruh langsung terhadap kesetimbangan oksigen dalam sistem perairan meliputi:

- 1) Proses rearasi oksigen oleh atmosfer.
- 2) Proses penguraian bahan organik (C-BOD), berdasarkan kebutuhan oksigen dalam kesetimbangan BOD-DO.
- 3) Proses nitrifikasi dalam siklus N, berdasarkan kebutuhan oksigen dalam siklus nitrogen untuk mengubah bahan ammonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2) dan mengubah nitrit (NO_2) menjadi nitrat (NO_3).
- 4) Proses eutrofikasi, berdasarkan kesetimbangan oksigen pada proses fotosintesis dan respirasi pada pertumbuhan alga.



Gambar 2. Tahapan pemodelan

Proses angkutan polutan pada sungai atau saluran terbuka pada reaksi kinetik orde satu dituliskan sebagai persamaan berikut (Chapra, 1997; Schnoor, 1996; Brown dan Barnwell, 1987; Rinaldi et al, 1979).

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -v \frac{\partial \phi}{\partial l} + D \frac{\partial^2 \phi}{\partial l^2} - k\phi + \frac{L}{V}$$

dimana, ϕ konsentrasi polutan, v kecepatan rata-rata aliran air, D koefisien dispersi arah memanjang, $k\phi$ laju perubahan polutan akibat proses kimia, fisika, biologi, L adalah flux polutan yang masuk/keluar sistem perairan, V adalah volume kontrol (ruang tilik).

Proses reaksi kinetik polutan organik pada sistem perairan sungai adalah merupakan reaksi biokimiafisik sebagai transformasi (alih bentuk) zat dari bentuk satu ke bentuk yang lain, seperti nitrat organik menjadi nitrat, proses Nitrifikasi dari Amoniak menjadi nitrit kemudian nitrat dan sebaliknya, proses peluruhan BOD, proses peluruhan Phospor Organik, interaksi alga terhadap fospor dan Nitrit serta proses biologi yang terjadi diperairan baik deoksigenasi maupun aerasi (Gambar 3) (Chapra, 1997; Schnoor, 1996).

Persamaan perubahan BOD/DO dituliskan sebagai berikut (Chapra, 1997; Schnoor 1996):

$$\frac{\partial \text{BOD}}{\partial t} = (-K_1 \text{BOD} - K_3 \text{BOD})$$

dimana : BOD = Biological Oxygen Demand (mg BOD/L)
 K_1 = Koefisien Deoksigenasi (hari-1)
 K_3 = Koefisien Peluruhan BOD (hari-1)
 t = waktu

dimana; α_1 = Fraksi dari biomassa alga dalam bentuk Nitrogen, mg-N/mg-A
 α_2 = Kandungan algae dalam bentuk fosfor, mg-P/mg-A
 α_3 = Laju produksi oksigen tiap unit proses fotosintesa alga, mg-O/mg-A
 α_4 = Laju produksi oksigen tiap unit proses respirasi alga, mg-O/mg-A
 α_5 = Laju pengambilan oksigen tiap proses oksidasi dari amoniak, mg-O/mg-N
 α_6 = Laju pengambilan oksigen dari proses oksidasi dari nitrit, mg-O/mg-N
 σ_1 = Laju pengendapan untuk Algae, ft/hari
 σ_2 = Laju sumber benthos untuk fosfor yang terlarut, mg-P/ft²-hari
 σ_3 = Laju sumber benthos pada amoniak dalam bentuk Nitrogen, mg-N/ft²-hr
 σ_4 = Koefisien laju untuk pengendapan nitrogen, hari -1
 σ_5 = Laju pengendapan fosfor, hari-1
 μ = Laju pertumbuhan alga, bergantung terhadap temperatur, hari-1
 ρ = Laju respirasi alga, bergantung terhadap temperatur, hari -1
 K_1 = Laju deoksigenasi BOD, pengaruh temperatur, hari-1
 K_2 = Laju rearsi berdasarkan dengan analogi difusi, pengaruh temperatur, hari-1
 K_3 = Laju kehilangan BOD cara mengendap, faktor temperatur, hari-1
 K_4 = Laju ketergantungan oksigen yang mengendap, faktor temperatur, g/ft²-hari
 β_1 = Koefisien laju oksidasi amonia, faktor temperatur, hari-1
 β_2 = Koefisien laju oksidasi nitrit, faktor temperatur, hari-1
 β_3 = Laju hydrolysis dari nitrogen, hari-1
 β_4 = Laju fosfor yang hilang, hari-1

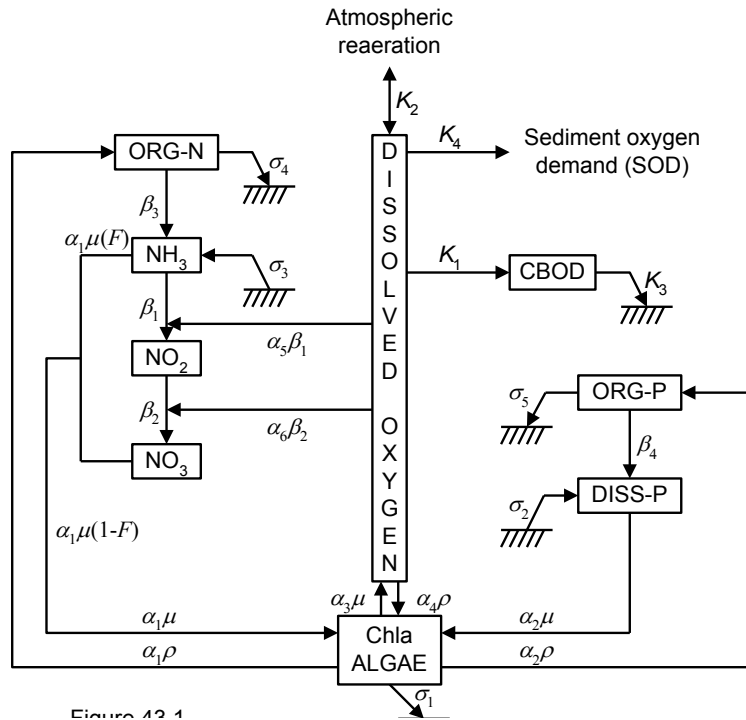
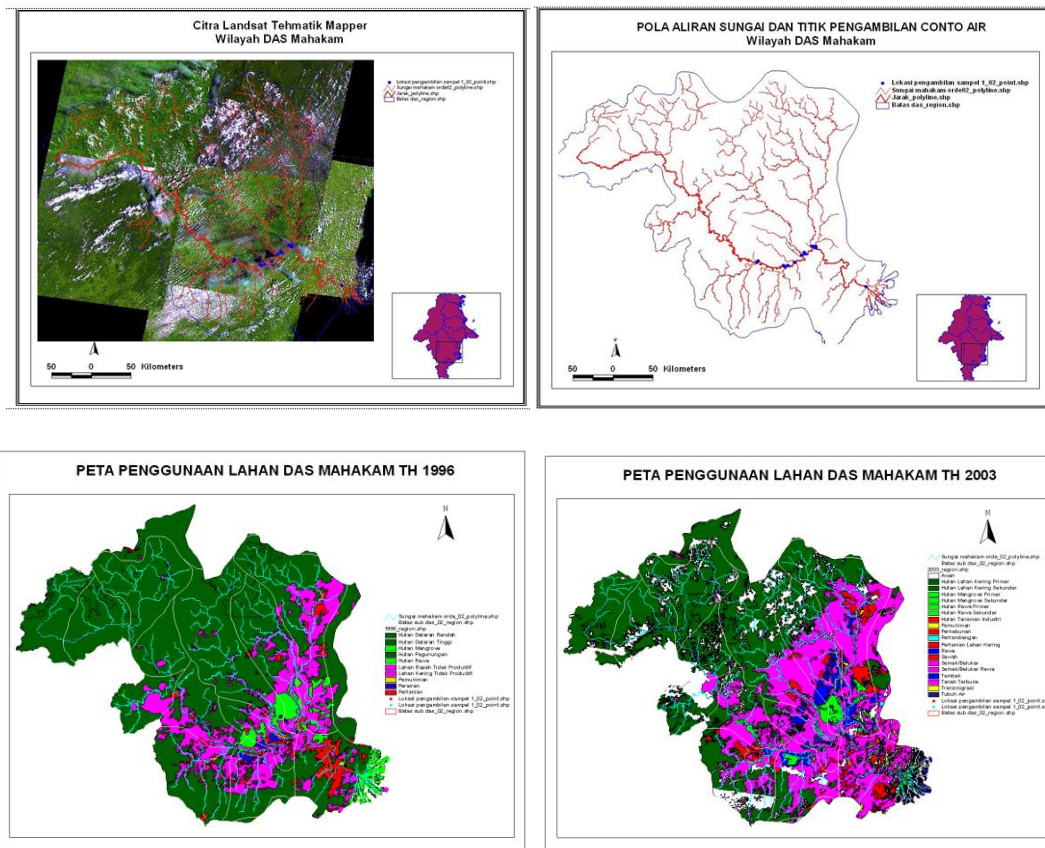


Figure 43.1

Gambar 3. Interaksi Nutrient Model Eutrofikasi (Chapra, 1997, Brown dan Barnwell, 1987)

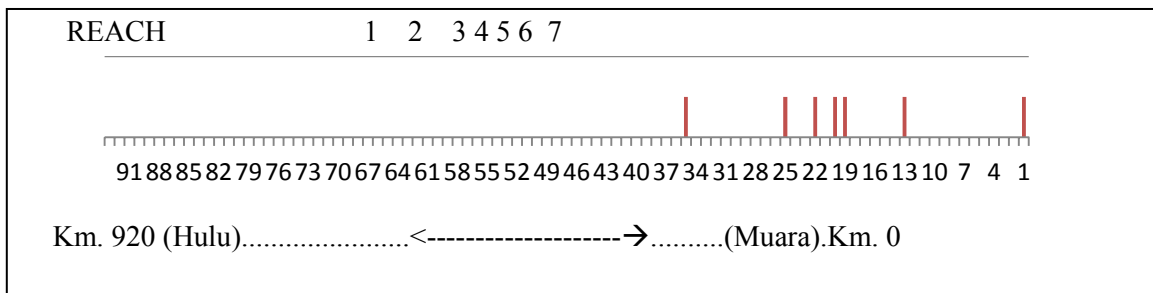


Gambar 4. Citra Landsat TM7, pola aliran sungai dan titik pantau, peta penggunaan lahan tahun 1996 dan peta penggunaan lahan tahun 2003

HASIL PENELITIAN/DISKUSI

Suatu model dapat diterapkan untuk melakukan identifikasi, analisis dan sintesis sistem. Analisis sistem untuk mengetahui karakteristik *input-output*, perubahan *output* akibat adanya perubahan *input* atau sebaliknya. Sedangkan sintesis digunakan untuk merencanakan sistem dengan mengatur nilai-nilai koefisien sistem agar sistem memenuhi kondisi tertentu sesuai dengan nilai *input-output* yang ditetapkan.

Sungai Mahakam mengalir dari barat ke timur, hulu di bagian barat Provinsi Kalimantan Timur hingga ke hilir di Samarinda (Ibu Kota Provinsi Kalimantan Timur), sepanjang 920 km (Gambar 4). Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran lapangan dan analisis conto air Sungai Mahakam pada 6 titik pantau (Gambar 5, tabel 1); yaitu pada km120 (Samarinda), km180 (Muara kaman), km190 (M. Siran), km210 (M. Belayan), km240 (M. Muntai) dan km340 (M. Pahu). Sungai Mahakam dibagi ke dalam tujuh segmen (Gambar 5). Terdapat beban polutan Non Point Source (NPS) yang masuk ke sistem S. Mahakam secara langsung sebagai *incremental flow* (Tabel 2). Selain beban polutan NPS juga terdapat tujuh anak sungai utama yang bermuara di aliran utama Mahakam, (Sungai Pahu, S. Muntai, S. Wis, M. Semayang, S. Belayan, S. Siran, S. Kaman), dan berkontribusi sebagai beban polutan Point source (PS) (Tabel 3).



Gambar 5. Skematisasi Sungai Mahakam

Tabel 1. Segmentasi Sungai Mahakam

REACH	NAME	SEGMEN (km)	COEF-DSPN	SS1	SS2	WIDTH	SLOPE	CMANN
1	10 km M. Pahu – M Pahu	350 - 340	60.00	0.600	0.600	200.000	0.020	0.040
2	M Pahu – M Muntai	340 – 240	60.00	0.600	0.600	200.000	0.018	0.040
3	M. Muntai – M. Belayan	240 – 210	60.00	0.500	0.500	250.000	0.012	0.040
4	M. Belayan – M. Siran	210 – 190	60.00	0.400	0.400	250.000	0.010	0.040
5	M. Siran – M. Kaman	190 – 180	60.00	0.400	0.400	250.000	0.008	0.040
6	M. Kaman - Samarinda	180 – 120	60.00	0.300	0.300	300.000	0.005	0.040
7	Samarinda - Muara	120 - 0	60.00	0.200	0.200	350.000	0.003	0.040

Tabel 2. Data beban polutan *incremental flow* Sungai Mahakam

REACH	FLOW	TEMP	D.O.	BOD	CM-1	CM-2	CHL-A	ORG-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	ORG-P	DIS-P
1	0	27,1	5,85	2,3	98	24	0	0,14	0,05	0	0,02	0,19	0,16
2	-134	27,1	5,85	2,3	98	24	0	0,14	0,05	0	0,02	0,19	0,16
3	-464	27,8	5,64	5,64	50	18	0	0,18	0,05	0	0	0,14	0,05
4	-157	28,3	5,64	5,43	82	28	0	0,24	0,03	0	0	0,09	0,04
5	-81	28,4	5,43	6,06	142	60	0	0,21	0,07	0	0	0,06	0,04
6	-112	28,6	6,06	1,8	114	44	0	0,09	0,05	0	0	0,08	0,08
7	200	27,6	6,06	1,8	112	18	0	0,34	0,12	0	0,21	0,17	0,17

Tabel 3. Data beban polutan *Point Load* Sungai Mahakam

POINT	FLOW	TEMP	D.O.	BOD	CM-1	CM-2	CHL_A	ORG-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	ORG-P	DIS-P
1	271	26,7	5,01	3,54	330,00	46	0,13	0,05	0	0	0,02	0,01	0
2	357	29,7	4,39	2,51	86,00	30	0,24	0,07	0	0	0,05	0,01	0
3	150	26	4,39	3,97	156,00	28	0,27	0,04	0	0	0,18	0,03	0
4	250	29,3	5,85	2,93	74,00	44	0,74	0,07	0	0	0,17	0,08	0
5	693	28,5	5,85	3,76	62,00	22	0,17	0,06	0	0	0,09	0,01	0
6	702	28,9	5,64	1,88	80,00	24	0,32	0,05	0	0,23	0,09	0,05	0
7	830	28,8	5,43	2,92	100,00	34	1,04	0,08	0	0	0,06	0,06	0

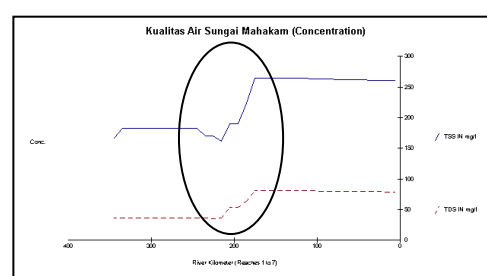
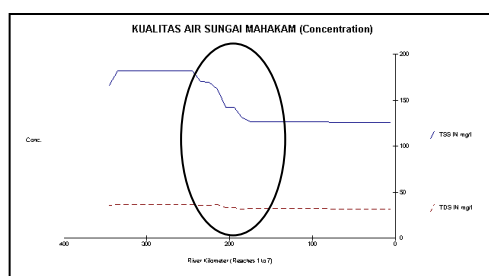
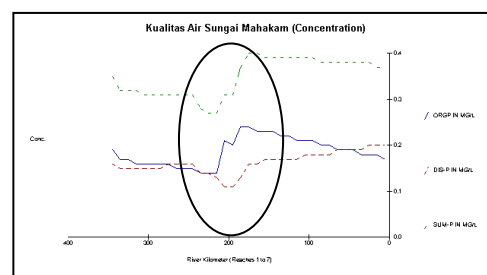
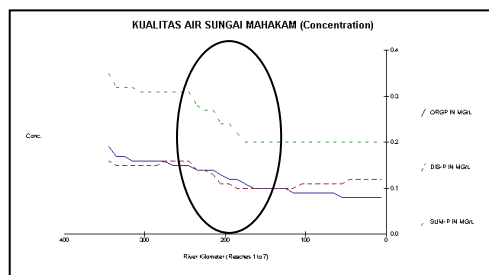
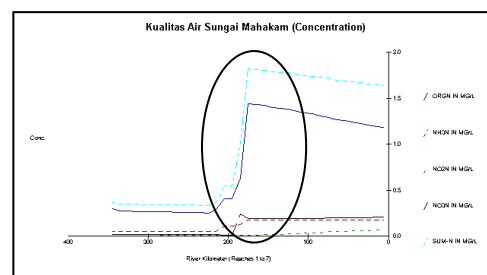
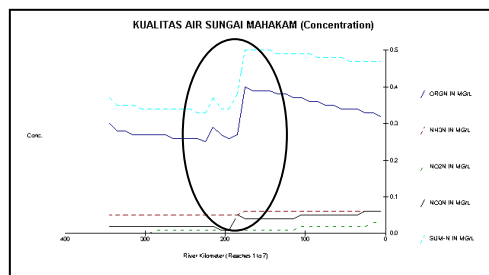
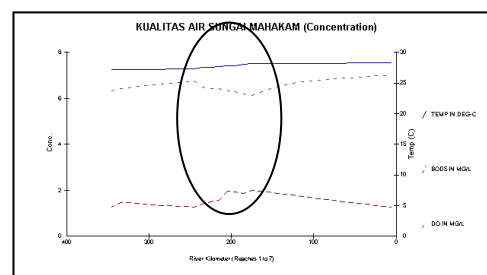
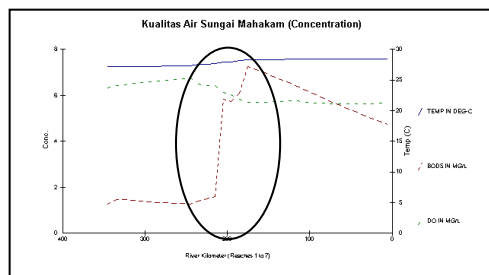
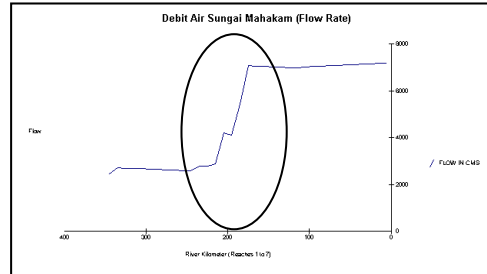
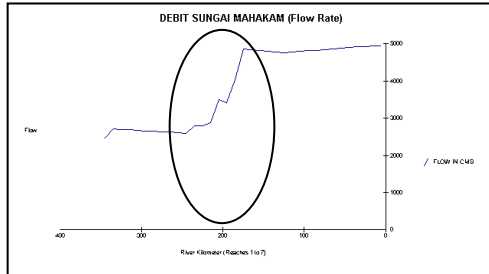
Pengukuran data hidrodinamika dan kualitas air Sungai Mahakam, dilakukan pada bulan Agustus 2005. Parameter kualitas air meliputi konsentrasi DO, BOD, N, P dan TSS, TDS. Tabel 1, 2, dan 3 masing-masing adalah data pengukuran profil sungai dan kecepatan aliran sungai, data pengukuran beban polutan NPS (*incremental flow*), serta data pengukuran beban polutan PS (Point Load).

Hasil pemodelan kualitas air Sungai Mahakam (Gambar 6), memperlihatkan debit aliran di Muara Pahu 2500 m³/s, di Muara Mahakam mencapai 5000 m³/s, terjadi kenaikan debit aliran yang signifikan di km210 (M. Belayan) hingga km180 (M.Kaman). Konsentrasi BOD mulai dari Muara Pahu hingga Muara Mahakam umumnya tidak lebih dari 2 mg/l. Sedangkan konsentrasi DO mulai dari Muara Pahu hingga Muara Mahakam umumnya tidak kurang dari 6 mg/l. Konsentrasi polutan N dibawah 0,5 mg/l, terjadi kenaikan konsentrasi polutan namun tidak signifikan di km210 (M. Belayan) hingga km180 (M.Kaman). Konsentrasi polutan P di bawah 0,4 mg/l dan terjadi penurunan hingga 0,2 mg/l, dan terjadi penurunan konsentrasi polutan yang signifikan di km210 (M. Belayan) hingga km180 (M.Kaman). Sedangkan konsentrasi TSS sekitar 175 mg/l dan terjadi pengendapan hingga sekitar 125 mg/l di muara, serta terjadi penurunan konsentrasi polutan yang signifikan di km210 (M. Belayan) hingga km180 (M.Kaman).

Berdasarkan hasil pemodelan kualitas air, pada kondisi normal, konsentrasi polutan organik di Sungai Mahakam masih di bawah ambang batas yang ditetapkan dan tidak terjadi pencemaran serta masih memiliki daya tampung dan kapasitas asimilasi yang cukup baik. Pada segmen sungai Reach 4 (M. Belayan – M. Siran) dan Reach 5 (M. Siran – M. Kaman) terjadi kenaikan konsentrasi polutan BOD dan N, tetapi justru terjadi penurunan Konsentrasi P maupun TSS dan TDS. Pada kondisi normal, segmen sungai Reach 4 (M. Belayan – M. Siran) dan Reach 5 (M. Siran – M. Kaman) dapat berfungsi untuk mendegradasi limbah secara alami atau melakukan pencucian sendiri (*self purification*).

Kenaikan konsentrasi polutan BOD dan N pada segmen sungai Reach 4 (M. Belayan – M. Siran) dan Reach 5 (M. Siran – M. Kaman) dikarenakan DAS Belayan, Siran dan Kaman berkontribusi membawa beban polutan yang tinggi karena meliputi wilayah yang cukup luas dan

kondisi tutupan lahan yang didominasi oleh aktivitas pertambangan dan perkebunan yang intensif. Selain itu DAS Belayan, Siran dan Kaman memasuki Sungai Mahakam pada segmen sungai yang sangat pendek, sehingga sistem perairan Sungai Mahakam tidak memiliki waktu yang cukup untuk melakukan degradasi polutan secara baik, dan berakibat pada terjadinya akumulasi polutan yang tinggi. Beban polutan yang ditimbulkan oleh DAS Kaman, Siran dan Belayan perlu diwaspadai, karena berpotensi menimbulkan pencemaran.



Gambar 6. Hasil pemodelan sistem perairan S. Mahakam

Gambar 7. Hasil analisis skenario sistem perairan S. Mahakam

Analisis skenario (*what if analysis*) pada sistem Sungai Mahakam (Gambar 7) dilakukan dengan mengubah nilai-nilai parameter beban polutan input. Misalnya diskenariokan debit aliran sungai yang mengalir di wilayah ini menjadi dua kali lipat dan konsentrasi polutan menjadi empat kali lipat dari kondisi semula. Hasil analisis skenario menunjukkan terjadinya kenaikan konsentrasi polutan BOD, N, P maupun TSS dan penurunan konsentrasi DO yang sangat signifikan hingga melampaui ambang batas pencemaran pada segmen sungai Reach 4 (M. Belayan – M. Siran) dan Reach 5 (M. Siran- M. Kaman). Konsentrasi BOD naik hingga mencapai sekitar 7 mg/l, DO turun hingga 4 mg/l. Konsentrasi polutan N naik hingga sekitar 17 mg/l. Konsentrasi polutan P dibawah 0, mg/l dan terjadi kenaikan hingga 04 mg/l. Konsentrasi TSS sekitar 175 mg/l dan terjadi kenaikan hingga 225 mg/l di muara.

Berdasarkan hasil analisis skenario, terlihat bahwa pencemaran air Sungai Mahakam akan terjadi pada saat ada kenaikan debit air sebanyak dua kali lipat dan kenaikan konsentrasi polutan sebanyak empat kali lipat. Kondisi ini antara lain dapat terjadi akibat peristiwa alam berupa hujan lebat ataupun akibat ulah manusia berupa aktivitas pembukaan hutan, pertambangan dan perkebunan yang tidak disertai pengelolaan limbah dengan baik.

Kejadian kematian ikan masal di segmen sungai M. Belayan hingga M. Kaman yang telah sering dijumpai masyarakat dan selalu bersamaan dengan peristiwa hujan lebat, dimungkinkan karena adanya pencemaran organik yang mengakibatkan terjadinya defisit konsentrasi DO. Kejadian ini dimungkinkan oleh adanya proses eutrofikasi dan tingginya kandungan material tersuspensi (total suspended solid/TDS) yang mengakibatkan kenaikan konsentrasi polutan organik serta penurunan konsentrasi DO dalam waktu yang singkat secara signifikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis skenario, terlihat bahwa pada kondisi normal Sistem perairan DAS Mahakam masih memiliki konsentrasi DO dan konsentrasi bahan polutan organik yang tidak membahayakan ekosistem perairan, serta masih memiliki daya tampung dan kapasitas asimilasi yang baik serta dapat melakukan pencucian sendiri.

Namun demikian, pada kondisi debit aliran menjadi dua kali lipat dan konsentrasi polutan empat kali lipat, akan terjadi pencemaran pada sistem perairan DAS Mahakam. Kondisi debit aliran dua kali lipat dan konsentrasi polutan empat kali lipat dapat terjadi karena adanya peristiwa alam berupa hujan lebat ataupun akibat ulah manusia dari berbagai aktivitas pembukaan hutan, pertambangan dan perkebunan yang tidak disertai pengelolaan limbah secara baik. Pencemaran yang terjadi pada sistem perairan Sungai Mahakam, baik yang diakibatkan oleh peristiwa alam berupa hujan lebat ataupun akibat ulah manusia berupa berbagai aktivitas sosial ekonomi di wilayah yang bersangkutan perlu diwaspadai. Apabila tidak ada tindakan nyata untuk pengendalian pencemaran maka dapat dipastikan akan berakibat pada kerusakan lingkungan dan hilangnya seluruh sumberdaya yang ada. Khususnya di wilayah DAS Belayan, Siran dan Kaman diperlukan penataan dan penghutanan kembali agar tidak terjadi pencemaran pada kondisi hujan lebat. Pengendalian pencemaran dapat dilakukan melalui penatagunaan lahan ataupun pengolahan limbah. Dalam hal ini, hasil pemodelan kualitas air dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan lahan suatu wilayah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Kepala Pusat Geoteknologi LIPI, Dr. Ir. Haryadi Permana dan Kepala Pusat Pengelolaan Ekoregion Kalimantan Ir. Tuti Hendrawati Mintarsih, MPPPM., atas dukungan untuk kegiatan penelitian ini. Terimakasih untuk Prof. Sumaryono, Universitas Mulawarman atas diskusi dan referensi yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, L. C. and Barnwell, T.O., 1987. The Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS, Documentation and User Manual, EPA-600/3-87/007, US EPA, Athens, GA.
- Chapra, S.C., 1997. Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill Series in Water Resource and Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York.
- Rinaldi, S., Soncini-Sessa, R., Stehfest, H., Tamura, H., 1979. Modeling and Control of River Water Quality, McGraw Hill, New York, N.Y., USA.
- Schnoor, J. L., 1996. Environmental Modeling Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Susilowati, Y., Rais, J., Mengko, T. R., Suksmono, A. B., Danudirdjo, D., 2005. Laplace Transform Method for River Water Quality Modeling, Proceeding of the International Conference on Instrumentation, Communications and Information Technology, Bandung, Indonesia.
- Susilowati, Y., Mengko, T. R., Rais, J., Leksono, B. E., 2004. Water Quality Modelling for Environmental Information System, Proceeding of the 2004 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and System (APCCAS 2004), Tainan, Taiwan.