



BUMI LESTARI

JURNAL LINGKUNGAN HIDUP
(JOURNAL OF ENVIRONMENT)

Jurnal Terakreditasi Dirjen Dikti Depdiknas
Nomor: 64a/DIKTI/Kep./2010



Diterbitkan oleh :

PUSAT PENELITIAN LINGKUNGAN HIDUP
LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS UDAYANA

DENPASAR 2013

Bulest

Vol. 13

No. 2

Halaman
214 - 455

Denpasar,
Agustus 2013

ISSN
1411-9668

BUMI LESTARI
Jurnal Lingkungan Hidup
(Journal of Environment)

Volume 13

ISSN 1411 – 9668
Nomor 2

Agustus 2013

Susunan Organisasi Pengelola

Ketua Penyunting

M.S. Mahendra

Wakil Ketua Penyunting

I Nyoman Wardi

Penyunting Pelaksana

A.A. G. Raka Dalem

I G. Alit Gunadi

I Made Sara, W.

I Made Adhika

Cok Putri Kusuma K.

Abd. Rahman As. Syakur

Petugas Administrasi

Ni Luh Putu Widnyani

Ketut Sriwinartini

Alamat Redaksi

Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Udayana

Jl. P.B. Sudirman, Denpasar

Telp.: (0361) 236221. Fax (0361) 236180

E-mail: pplhunud@yahoo.com dan Jurnal_bulest@yahoo.com

Website : <http://pplh.unud.ac.id>

Gambar Cover : Monumen Atomium di Kota Belgia (Koleksi Wardi/2012)

Bumi Lestari merupakan jurnal lingkungan hidup yang diterbitkan dua kali setahun (Februari dan Agustus) yang memuat informasi tentang berbagai aspek lingkungan dari: (1) hasil penelitian, (2) naskah konseptual/opini (3) resensi buku, dan info lingkungan aktual lainnya

DAFTAR ISI

	Hlm
Pengantar Redaksi	i
Daftar Isi	iii
Pola Pencemaran Hg Dan Pb Pada <i>Fishing Ground</i> dan Ikan yang Tertangkap Nelayan : Studi Kasus Di Teluk Jakarta (<i>Mercury And Lead Contamination Pattern On Fish And Fishing Ground : A Case Study In Jakarta Bay</i>) <i>Mustaruddin</i>	214
Pengaruh Total Fenol Teripang Pasir (<i>Holothuria Scabra</i>) Terhadap Respon Imun Non Spesifik Ikan Mas (<i>Cyprinus Carpio</i>) <i>Achmad Suhermanto, Sri Andayani, Maftuch</i>	225
Hubungan Antara Distribusi Fitoplankton dengan Kualitas Perairan Di Selat Alas, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat <i>I Nyoman Radiarta</i>	234
Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Rob Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim dan Dampaknya di Pesisir Pekalongan <i>Muh Aris Marfai, Djati Mardiatno, Ahmad Cahyadi, Fitria Nucifera dan Hari Prihatno</i>	244
Reduksi Logam Berat <i>Chromium</i> (Vi) dengan Fotokatalis Komposit <i>Tio2-sio2</i> <i>Candra Purnawan, Patiha, A.k. Ayuningtyas</i>	254
Kajian Kualitas Air Dan Status Mutu Air Sungai Metro di Kecamatan Sukun Kota Malang <i>Azwar Ali, Soemarno dan Mangku Purnomo</i>	264
Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Ciujung Dengan Model Wasp Dan Strategi Pengendaliannya <i>Heny Hindriani, Asep Sapei, Suprihatin, Machfud</i>	274
Degradasi Limbah Tekstil Menggunakan Jamur Lapuk Putih <i>Daedaleopsis Eff. Confragosa</i> <i>Ngurah Mahendra Dinatha, James Sibarani, I G. Mahardika</i>	284
Strategi Pengembangan Muara Sungai Yeh Matan Sebagai Objek Wisata Air di Desa Tegal Mengkeb Kecamatan Selemadeg Timur Kabupaten Tabanan <i>Anak Agung Putu Agung</i>	294
Penilaian Daur Hidup Botol Pet (Polyethylena Terephtalate) Pada Produk Minuman Life Cycle Assessment (Lca) Of Pet (Polyethylena Terephtalate) Bottles For Drinking Product <i>Mohamad Yani, Endang Warsiki, dan Noviana Wulandari</i>	304
Analisa Temporal Perubahan Luas Hutan Mangrove di Kabupaten Sidoarjo dengan Memanfaatkan Data Citra Satelit <i>Zainul Hidayah dan Dwi Budi Wiyanto</i>	314

Simulasi Spasial Berbasis Sistem Informasi Geografi Dan <i>Cellular Automata</i> Untuk Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan di Daerah Pinggiran Kota Yogyakarta <i>Bowo Susilo</i>	327
Valuasi Ekonomi Tingkat Kerusakan Bangunan Permukiman Akibat Banjir Lahar Di Kali Putih Kabupaten Magelang <i>Rosalina Kumalawati, R.rijanta, Junun Sartohadi, Rimawan Pradipto, Seftiawan Samsu Rijal</i>	341
Estimasi Nilai Ekonomi Total (<i>Total Economic Value</i>) Sumberdaya Alam dan Lingkungan Danau Singkarak <i>Idris</i>	355
Implementasi Konsep “Zero Waste Production Management” Bidang Pertanian: Pengomposan Jerami Padi Organik Dan Pemanfaatannya <i>Arief Sabdo Yuwono, Nazif Ichwan, Dan Satyanto Krido Saptomo</i>	366
Memotivasi Perilaku Hemat Energi dan Ramah Lingkungan Di Sebuah Hotel <i>Wayan G. Santika, D. M. Suria Antara, And A.A. Ayu N. Harmini</i>	374
Faktor Eksploitasi Dan Kuantifikasi Limbah Kayu Dalam Rangka Peningkatan Efisiensi Pemanenan Hutan Alam <i>Juang Rata Matangaran, Tian Partiani dan Dwi Ratna Purnamasari</i>	384
Kesiapsiagaan Masyarakat Terhadap Bahaya Lahar Dingin Gunung Merapi <i>Ramanditya Wimbardana dan Saut A H Sagala</i>	394
Pengaruh Kenaikan Temperatur Lingkungan Terhadap Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Tata Udara <i>Kamin Sumardi</i>	407
Perbandingan Keanekaragaman Dan Predominansi Fauna Tanah Dalam Proses Pengomposan Sampah Organik <i>Fitrahtunnisa dan M. Liwa Ilhamdi</i>	413
Kolaborasi Masyarakat Sipil, Politik dan Ekonomi dalam Pemanfaatan Modal Sosial (Kasus Pelestarian Lingkungan Pesisir Pada Masyarakat Bali Aga- Desa Les Bali Utara) <i>I Wayan Mudana</i>	422
Kearifan Lokal Di Balik Mitos Lembu Putih Di Desa Taro, Gianyar <i>I.B.G. Pujaastawa, I Wayan Suwena</i>	430
Pemberdayaan <i>Tour Guide</i> Ekoturisme Di Kawasan Cagar Budaya Danau Tamblingan-Batukaru Bali <i>I Nyoman Wardi, I Gusti Alit Gunadi, I Nyoman Sedeng, Abd.Rahman As.syakur</i>	441
Indeks	455
Ucapan Terima Kasih kepada Mitra Bestari	457
Petunjuk Penulisan	458
Formulir Langganan	

IDENTIFIKASI DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN SUNGAI CIUJUNG DENGAN MODEL WASP DAN STRATEGI PENGENDALIANNYA

Heny Hindriani¹⁾, Asep Sapei²⁾, Suprihatin²⁾, Machfud²⁾

¹⁾Sekolah Tinggi Analisis Kimia Cilegon

²⁾Institut Pertanian Bogor

henyhindriani@yahoo.com, asepsapei@ipb.ac.id, suprihatin@indo.net.id, machfud@ipb.ac.id

Abstract

Crucial Issues at the downstream Ciujung river is the increasing load of water pollution. BOD is one of the water pollution indicator in the stream. This study aimed to determine the amount of Total Maximum Daily Load (TMDL) in Ciujung River as a basis for determining river pollution control strategies. TMDL of BOD determined by modeling WASP (Water quality Analysis-Simulation Program) and the results were compared with the standar streams due to PP No.82/2001. Water pollution control strategies of Ciujung River determined by analysis of the results of an expert survey method with AHP (Analytical Hierarchy Process). The results showed that the water quality of Ciujung rivers at minimum reliable discharge meets the river standard of 4th class along the 13.5 km. Simulation results at maximum reliable discharge and reduction of point source pollution load by 90% indicates that the water quality in the segment Nagara to Tirtayasa (27.5km) can meet the 4th class of river quality standard with average TMDL 21,241.74 kg/day. whereas downstream areas, which do not meet 4th class of quality standards along 4.5 km. Alternative strategies of Ciujung rivers water pollution control with the aim of reducing the pollution load is tightening licensing waste disposal (eigen value 0.260).

Keywords : Ciujung River, TMDL, WASP, AHP

1. Pendahuluan

Sungai Ciujung merupakan sungai utama yang berada di provinsi Banten dimana bagian hilirnya berada di Kabupaten Serang yang memegang peranan penting sebagai pemasok air berbagai kegiatan industri, perikanan, pertanian maupun domestik (KLH 2004). Sungai Ciujung saat ini telah menjadi isu nasional sebagai sungai yang mengalami masalah pencemaran, penurunan kualitas air sungai, penurunan debit air terutama pada musim kemarau dan pendangkalan sungai. Apabila tidak ada usaha-usaha pencegahan dan pengendalian dikhawatirkan pencemaran dan sedimentasi akan terus berlangsung yang akan berpengaruh pada kelangsungan fungsi sungai.

Pencemaran suatu sungai dapat diidentifikasi berdasarkan kadar BOD dalam air, dimana semakin tinggi BOD maka air sungai semakin tercemar. Akumulasi BOD dari sumber pencemar akan menimbulkan beban pencemaran terhadap kemampuan sungai untuk pulih kembali, sehingga

akan menurunkan daya tampung beban pencemaran (Nugraha, 2008). Beban pencemaran adalah jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah (KLH, 2003), sedangkan daya tampung beban pencemaran air adalah batas kemampuan sumber daya air untuk menerima masukan beban pencemaran yang tidak melebihi batas syarat kualitas air untuk berbagai pemanfaatannya dan memenuhi baku mutu airnya (Machbub, 2010). Pencemaran air sungai seringkali diakibatkan oleh kelalaian industri dalam pengelolaan limbah ataupun terlepasnya bahan baku proses produksi dalam jumlah yang besar ke badan air. Pencemaran yang diakibatkan limbah industri tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air serta sangat berdampak pada faktor sosial, ekonomi dan lingkungan yang merugikan masyarakat sekitar (Sutisna, 2002; Suwa 2010).

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka perlu dilakukan analisis beban pencemaran untuk menetapkan daya tampung beban pencemaran

sebagai salah satu upaya pengendalian pencemaran air sungai. Penetapan daya tampung beban pencemaran perlu dilakukan apabila kontrol teknologi tidak memadai untuk mencapai standar kualitas air yang dipersyaratkan (USEPA, 2008).

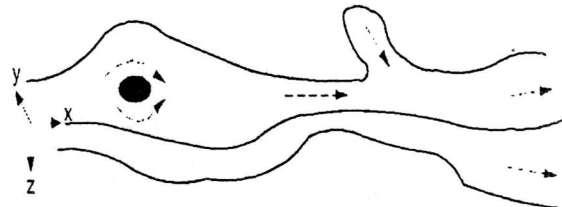
Daya tampung beban pencemaran dapat ditentukan dengan metoda neraca massa, Streeter-Phelps, atau metoda lain berdasarkan kaidah ilmu pengetahuan dan teknologi (KLH 2003). Metoda neraca massa hanya mempertimbangkan kebutuhan oksigen pada kehidupan air (BOD) untuk mengukur terjadinya pencemaran di badan air dan diasumsikan dimensi 1 dalam kondisi tunak, sementara model kualitas air Streeter – Phelps hanya dapat digunakan untuk meramal pengaruh sumber polusi yang berasal dari sumber polusi tunggal dan hanya terbatas kepada 2 fenomena yakni deoksigenasi dan reaerasi. Namun pada kenyataannya dilapangan terdapat banyak sumber polusi yang bersifat *point source* maupun *non point source* sehingga metode tersebut sulit diaplikasikan dan sering tidak mencerminkan kondisi pencemaran di beberapa badan air. Sehingga diperlukan suatu model kualitas air yang lebih komprehensif.

Pemodelan kualitas air yang digunakan untuk penetapan daya tampung beban pencemaran dalam penelitian ini adalah WASP (*water quality analysis simulation program*). WASP adalah model dinamis yang fleksibel dan dapat digunakan untuk menganalisis berbagai masalah kualitas air pada beragam badan air seperti pada kolam, sungai, danau, waduk, muara, dan perairan pesisir berdasarkan prinsip utama konservasi massa. Prinsip ini mensyaratkan bahwa massa dari masing-masing bagian kualitas air yang diteliti harus diperhitungkan dalam satu bagian. Model WASP mengkaji setiap bagian kualitas air berdasarkan input spasial dan temporal dari titik awal hingga ke titik akhir perpindahan, berdasarkan prinsip konservasi massa dalam ruang dan waktu (Ambrose, 2009).

Dalam melakukan perhitungan keseimbangan massa dengan pemodelan WASP, input data yang dibutuhkan memiliki karakteristik penting, yaitu: Simulasi dan pengendalian output, segmentasi model, Perpindahan secara adveksi dan dispersi, konsentrasi batas, sumber beban *point* dan *non-point*, parameter kinetika, konstanta, dan fungsi waktu serta konsentrasi awal. Data input ini bersama-sama dengan persamaan umum neraca massa model WASP

dan persamaan kinetika kimia spesifik, didefinisikan secara unik menjadi sekumpulan persamaan khusus kualitas air. Hal ini terintegrasi secara numerik dalam model WASP sebagai proses simulasi terhadap waktu.

Persamaan keseimbangan massa untuk zat yang terlarut dalam badan air harus memperhitungkan semua materi yang masuk dan keluar melalui pembebanan langsung dan menyebar; perpindahan secara adveksi dan dispersi, dan transformasi fisik, kimia, dan biologis. Penggunaan sistem koordinat seperti yang ditunjukkan dalam persamaan umum keseimbangan massa, di mana koordinat x dan y berada di bidang horisontal, dan koordinat z adalah dalam bidang vertical (Gambar 1).



Gambar 1. Sistem Koordinat Persamaan Neraca Massa

Persamaan umum keseimbangan massa pada sekitar volume cairan yang terbatas ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \left(\frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \right) + S_x + S_B + S_k \quad (1)$$

Di mana: C = konsentrasi bagian kualitas air (mg/L atau g/m³), T = waktu (hari), U_xU_yU_z = kecepatan adveksi longitudinal, lateral, dan vertikal (m/hari), S = laju beban langsung dan menyebar (g/m³-hari), S_B = laju batas pembebanan (termasuk hulu, hilir, bentik, dan atmosfer) (g/m³-hari), S_k = laju transformasi kinetik total, tanda positif adalah sumber, negatif adalah *sink* (g/m³-hari)

Model WASP ini telah diaplikasikan untuk berbagai kajian, seperti untuk mengevaluasi pengaruh BOD, nutrient, alga dan kebutuhan oksigen lainnya terhadap proses DO dan mengevaluasi nitrogen terlarut di muara sungai Altamaha, (USEPA 2004; USEPA 2008 dan Kaufman 2011). Model ini juga telah digunakan untuk menyelidiki eutrofikasi di Teluk Bay, pembebanan fosfor ke Danau

Okeechobee, eutrofikasi Sungai Neuse, eutrofikasi dan polusi PCB dari Danau Great, eutrofikasi Muara Potomac, polusi di Muara Sungai James, polusi senyawa organik yang mudah menguap dari Muara Delaware, pencemaran logam berat dari Sungai Deep, menetapkan daya tampung beban pencemaran polutan yang menyebabkan DO rendah di anak Sungai Williamson untuk mencapai target kualitas air baku kelas III (Ambrose 2009, Zheng et al, 2004, wool et al 2003, U.S. EPA. 2006)). Florida Department of Environmental Protection (FDEP) juga telah menggunakan model WASP sebagai mekanisme untuk mengembangkan strategi reduksi beban emisi yang diperlukan yang diimplementasikan dalam *Basin Management Action Plan* (FDEP 2003).

Daya tampung beban pencemaran merkuri di Sungai Canoochee telah berhasil ditetapkan melalui pemodelan WASP, sehingga dapat diketahui beban total maksimum merkuri yang harus diturunkan untuk mencapai kualitas air yang ditargetkan. Hasilnya dikembangkan untuk mengetahui total kandungan merkuri dalam jaringan ikan (EPA 2004). Selain itu, WASP telah mampu mengatasi kelemahan daya komputasi pemodelan kualitas air di muara dan pantai dan berhasil diterapkan untuk menetapkan daya tampung beban pencemaran Muara Pocomoke yang terletak di pantai timur Teluk Chesapeake di Maryland (Lung, 2003).

Strategi pengendalian pencemaran air sungai Ciujung ditetapkan berdasarkan analisis hasil survey pakar dengan metoda AHP (*analytical Hierarchy process*). AHP merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk membuat keputusan yang efektif melalui strukturisasi kriteria majemuk ke dalam struktur hirarki, menilai kepentingan relatif setiap kriteria, membandingkan alternatif untuk tiap kriteria dan menentukan seluruh rangking dari alternatif-alternatif (Marimin, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan daya tampung beban pencemaran Sungai Ciujung pada debit andalan minimum dan maksimum dengan berbagai reduksi beban pencemaran, serta menentukan strategi pengendaliannya.

2. Metodologi

2.1. Penentuan segmentasi

Sungai Ciujung sepanjang 31.75 km dibagi menjadi 16 segmen berdasarkan sumber pencemar dan karakteristik hidrolika sungai.

2.2. Penetapan Lokasi Sampling, pengambilan dan analisis sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 16 titik yang dapat mewakili kualitas air sungai dari hulu sampai hilir (Gambar 2). Pengambilan sampel air mengacu pada standar SNI 06-2421-1991, dan Kadar BOD dianalisis dengan mengacu pada SNI 06-2503-1991.

2.3. Pengumpulan Data Sekunder

Data yang diperlukan dalam pemodelan ini adalah peta topografi, debit sungai harian, data hidrolika, penampang melintang sungai, penampang memanjang sungai, lokasi sumber pencemar, debit limbah cair, kualitas limbah cair, kualitas air sungai, data penduduk, luas lahan pertanian dan data klimatologi

2.4. Pemodelan dengan Program WASP7.3

Pemodelan kualitas air menggunakan program WASP7.3 dengan metoda *finite segment*.

2.5. Debit Andalan Sungai Ciujung

Data debit harian selama 15 tahun terakhir diambil dari data stasiun PDA (Pos Duga Automatik) yang berada di Desa Undar Andir. Debit andalan ditentukan dengan menghitung debit rata-rata bulanan menggunakan data debit harian dari bulan Januari sampai bulan Desember, mengurutkan data debit bulanan dari besar ke kecil dengan mengabaikan tahun, melakukan perhitungan probabilitas 80% dari data yang telah diurutkan dengan persamaan :

$$80/100 = n/(m+1) \quad (2)$$

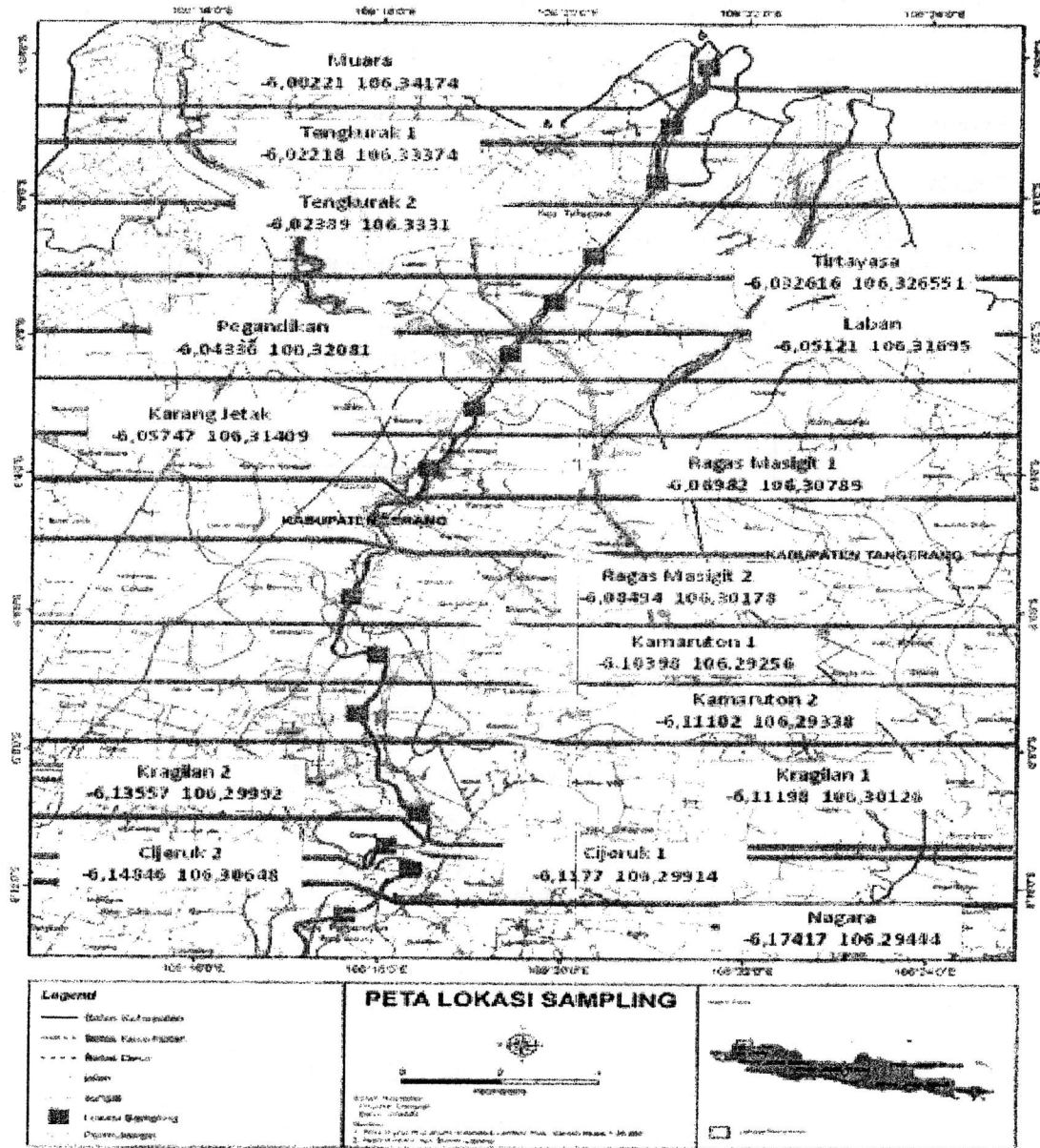
Dimana n adalah urutan ranking dan m adalah jumlah sampel

2.6. Kalibrasi Model

Kalibrasi model ditentukan dengan metoda *least square* menggunakan analisis regresi.

2.7. Simulasi Model Untuk Menetapkan Daya Tampung Beban Pencemaran

Setelah model dikalibrasi, selanjutnya dilakukan simulasi pada debit minimum



Gambar 2 . Lokasi pengambilan sampel

Tabel 1. Beban pencemaran yang diijinkan

Kriteria Mutu Sungai	Konsentrasi BOD (mg/L)	Beban Pencemaran Yang Diijinkan (kg/hari)	
		$Q_{\text{and_min}}$ (1.9 m ³ /dtk)	$Q_{\text{and_maks}}$ (29.9 m ³ /dtk)
Kelas I	2	328.32	5,166.72
Kelas II	3	492.48	7,750.08
Kelas III	6	984.96	15,500.16
Kelas IV	12	1,969.92	31,000.32

Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam Gambar 3.

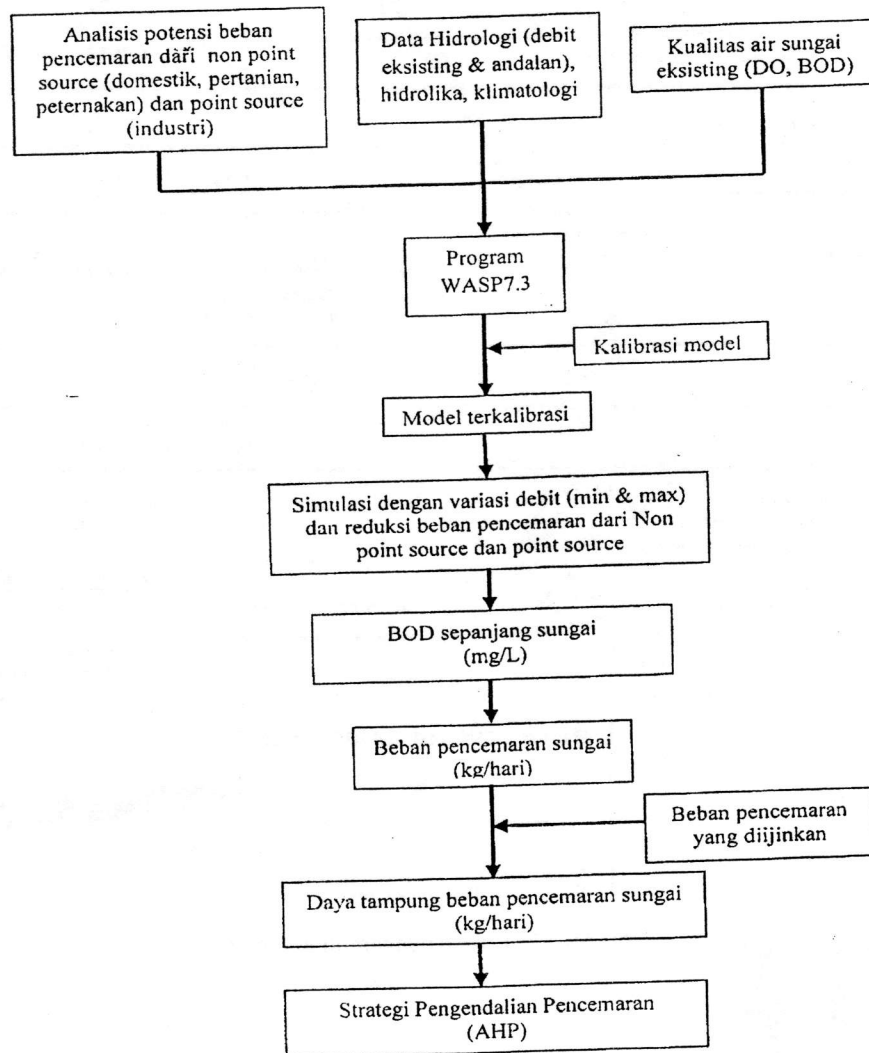
2.8. Penentuan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Ciujung

Strategi pengendalian pencemaran air sungai Ciujung ditetapkan berdasarkan analisis hasil survey pakar dengan metoda AHP (*analytical Hierarchy process*) menggunakan aplikasi program *Criterion Decision Plus (CDP)*.

3. Hasil dan Pembahasan

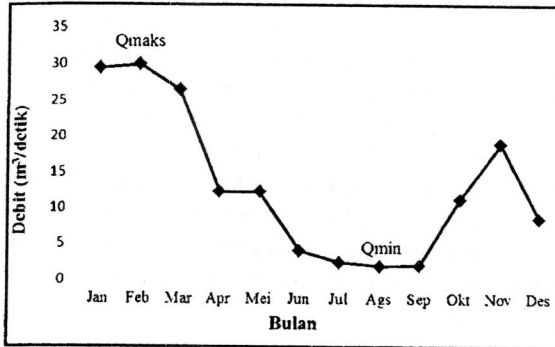
3.1. Debit Andalan

Debit andalan minimum Sungai Ciujung yang ditetapkan dari data debit selama 15 tahun dengan probabilitas 80% terjadi pada Bulan Agustus (1.9



Gambar 3. Tahapan Penelitian

m³/detik) dan debit maksimum pada Bulan Februari (29.9 m³/detik), hasilnya disajikan dalam Gambar 4. Debit ini selanjutnya digunakan untuk simulasi pemodelan kualitas air Sungai Ciujung

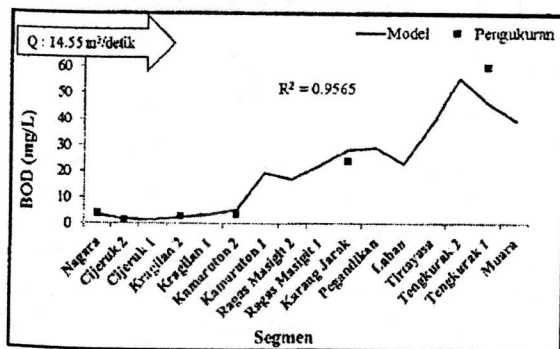


Gambar 4. Debit andalan Sungai Ciujung

3.2. Kalibrasi Model Kualitas Air Sungai Ciujung

Kalibrasi bertujuan untuk mencocokkan hasil pemodelan dengan hasil pengukuran kualitas air di badan sungai atau mempunyai kecenderungan yang sama dengan kondisi di lapangan.

Gambar 5, memperlihatkan bahwa terdapat kesesuaian trend yang cukup baik antara data hasil pengukuran di lapangan dengan hasil perhitungan model pada *constituent* BOD di Sungai Ciujung baik di hulu maupun hilir dengan, dengan tingkat kehandalan di atas 90% ($R^2 = 0.9565$; $p < 0,01$), artinya model terkalibrasi bermakna tinggi. Hasil kalibrasi ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk melakukan pengembangan berbagai variasi skenario simulasi.

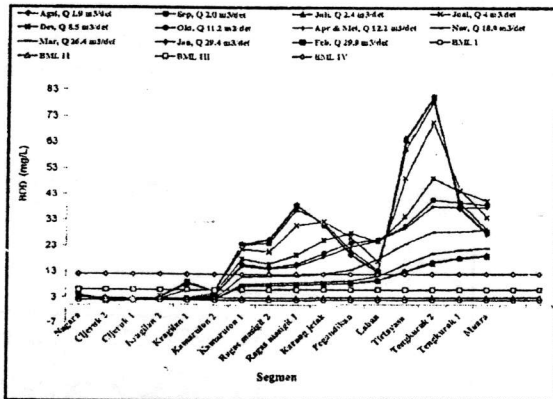


Gambar 5. Perbandingan BOD model dengan hasil pengukuran di lapangan

3.3. Simulasi BOD di Sungai Ciujung Pada Berbagai Debit Andalan

Simulasi BOD di sungai Ciujung ditetapkan pada berbagai debit andalan dalam satu tahun dengan asumsi debit limbah dan kadar BOD dari *point source* maupun *non point source* yang masuk ke sungai Ciujung adalah tetap.

Hasil simulasi pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin besar debit sungai, maka konsentrasi BOD semakin menurun. Kandungan rata-rata BOD di Sungai Ciujung pada debit andalan minimum (1.9 m³/detik) adalah 24.14 mg/L dan pada debit andalan maksimum (29.9 m³/detik) adalah 8.23 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit di sungai sangat berpengaruh terhadap penurunan kandungan BOD, yang mana penurunan BOD pada musim hujan mencapai 193.2% dari musim kemarau.

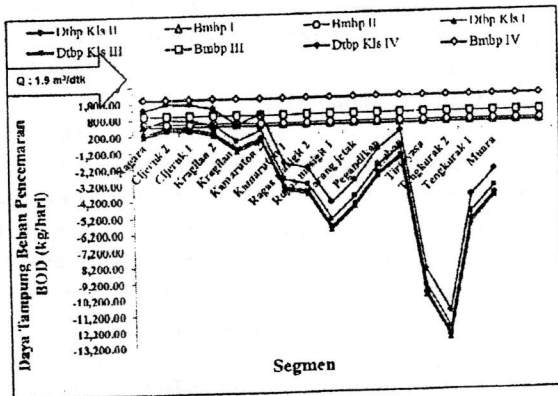


Gambar 6. simulasi BOD berdasarkan debit andalan

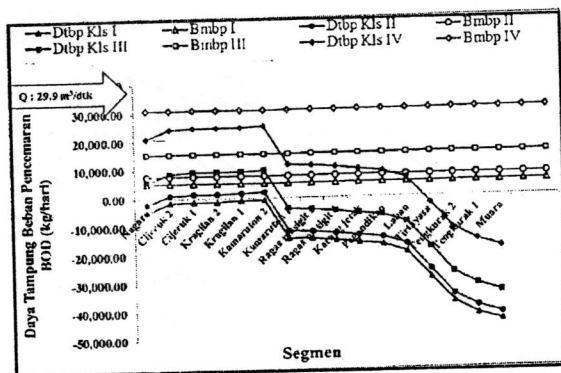
3.4. Simulasi Daya Tampung Beban Cemar BOD Sungai Ciujung pada Debit Andalan Minimum dan Maksimum

Hasil simulasi pada debit andalan minimum (Gambar 7) menunjukkan bahwa Segmen Nagara sampai Kamaruton 2 (13.75 km) memenuhi baku mutu sungai kelas III dan IV dengan daya tampung yang masih dimiliki berkisar 449.63 kg/hari sampai 1,749.99 kg/hari, sedangkan segmen Kamaruton 1 sampai Muara (18 km) sudah tidak memiliki daya tampung beban pencemaran. Menurunnya daya tampung beban pencemaran diakibatkan adanya beban

pencemaran yang masuk dari limbah cair industri yang cukup tinggi di segmen Kragilan 2, Kragilan 1 dan Kamaruton 1 (13,971.92 kg/hari).



Gambar 7 Daya tampung beban pencemaran BOD pada debit minimum
(Keterangan : DTBP : Daya tampung beban pencemaran, BMBP: Baku mutu beban pencemaran)



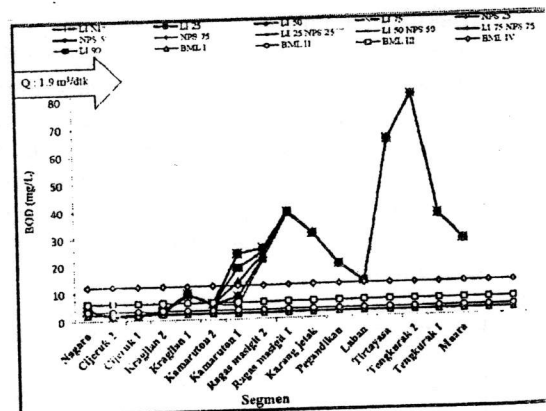
Gambar 8 Daya tampung beban pencemaran BOD pada debit maksimum
(Keterangan : DTBP : Daya tampung beban pencemaran, BMBP: Baku mutu beban pencemaran)

Pada saat debit maksimum (Gambar 8), segmen Nagara sampai Kamaruton 2 (13.75 km) masih memiliki daya tampung jika dibandingkan dengan baku mutu kelas III yaitu 8,624.25 kg/hari, dan segmen Nagara sampai Laban (25 km) memenuhi baku mutu sungai kelas IV dengan daya tampung rata-rata 1,6947.06 kg/hari.

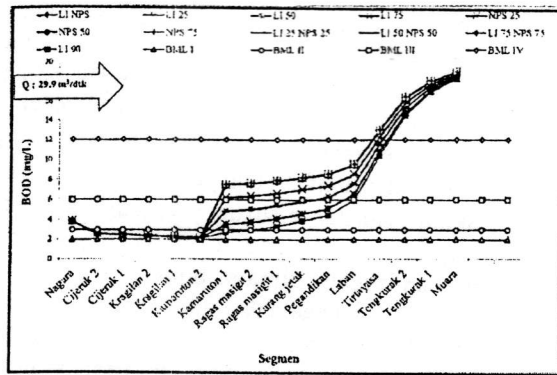
Peningkatan debit berdampak pada peningkatan kualitas air Sungai Ciujung. Pada saat debit andalan minimum (1.9 m³/detik) dinaikan menjadi debit andalan maksimum (29. m³/detik), lokasi sungai yang memenuhi baku mutu sungai kelas IV meningkat 81.82 % dari 13.75 Km menjadi 25 Km. Meskipun peningkatan debit air sungai mempengaruhi peningkatan daya tampung air Sungai Ciujung namun masih ada lokasi yang daya tampungnya sudah terlewati yaitu segmen Tirtayasa sampai Muara sepanjang 6.75 km, sehingga perlu dilakukan simulasi lebih lanjut menggunakan debit minimum dan maksimum dengan mereduksi beban pencemaran baik dari *point source* (PS) maupun *non point source* (NPS).

3.5. Simulasi Daya Tampung Beban Pencemaran BOD Sungai Ciujung dengan Mereduksi Beban Pencemaran

Beban pencemaran BOD baik dari PS maupun NPS direduksi berturut-turut sebesar 25%, 50%, 75% dan 90%, selanjutnya disimulasikan pada debit minimum dan maksimum (Gambar 9 dan 10).



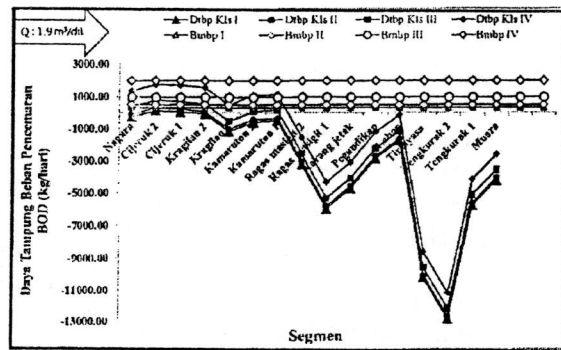
Gambar 9. Kadar BOD ketika beban pencemaran direduksi pada debit minimum
(Keterangan : LI : beban pencemaran PS tanpa reduksi, NPS : beban pencemaran NPS tanpa reduksi, LI25 : Reduksi LI 25 %, LI50 : Reduksi 50 %, LI 75 : Reduksi LI 75 %, LI 90 : Reduksi 90 %, NPS 25 : Reduksi NPS 25 %, NPS 50 : Reduksi NPS 50 %, NPS 75 : Reduksi NPS 75 %)



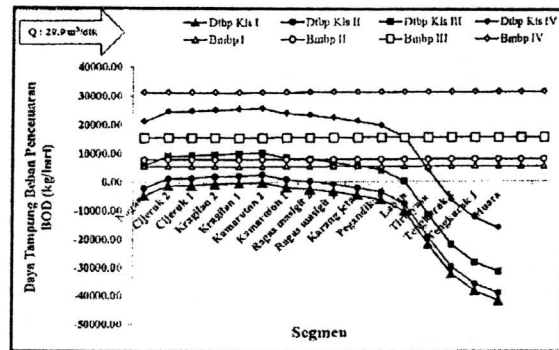
Gambar 10. Kadar BOD ketika beban pencemaran direduksi pada debit maksimum
(Keterangan : LI : beban pencemaran PS tanpa reduksi, NPS : beban pencemaran NPS tanpa reduksi, LI25 : Reduksi LI 25 %, LI50 : Reduksi LI 50 %, LI 75 : Reduksi LI 75 %, LI 90 : Reduksi LI 90 %, NPS 25 : Reduksi NPS 25 %, NPS 50 : Reduksi NPS 50 %, NPS 75 : Reduksi NPS 75 %)

Secara keseluruhan simulasi yang memberikan perubahan perbaikan kualitas air sungai secara nyata pada debit minimum maupun maksimum adalah dengan cara mereduksi beban limbah industri sebesar 90% (PS). Simulasi dengan mereduksi beban pencemaran dari PS dan NPS yang dilakukan secara bersamaan juga menunjukkan bahwa yang memberikan pengaruh terhadap perbaikan kualitas air sungai adalah reduksi terhadap beban pencemaran dari PS. Sehingga kadar BOD dari hasil simulasi reduksi beban pencemaran dari PS sebesar 90% digunakan untuk menetapkan beban pencemaran dan daya tampungnya.

Beban pencemaran BOD Sungai Ciujung ketika limbah industri direduksi 90% pada debit minimumnya (Gambar 11) berkisar antara 218.61 kg/hari – 13,184.15 kg/hari dengan beban pencemaran rata-rata 3,706.31 kg/hari, sedangkan beban pencemaran yang diijinkan untuk sungai kelas I, II, III dan IV perhari dalam satuan kg berturut-turut adalah 328.32; 492.48; 984.96 dan 1,969.92. Segmen Cijeruk 1 dan Cijeruk 2 (4.25 Km) memenuhi baku mutu kelas I dengan daya tampung rata-rata 80.97 kg/hari, segmen Cijeruk 2 sampai Kragilan 2 (7.25 km) memenuhi baku mutu kelas II dengan daya tampung rata-rata 191.45 kg/hari, Nagara sampai Kamaruton 1 kecuali Kragilan 1 (14.25 km) memenuhi



Gambar 11. Daya tampung beban pencemaran BOD setelah beban pencemaran PS direduksi 90% pada saat debit minimum
(Keterangan : Dtbp : Daya tampung beban pencemaran, Bmbp: Baku mutu beban pencemaran)



Gambar 12. Daya tampung beban pencemaran BOD setelah beban pencemaran PS direduksi 90% pada saat debit maksimum
(Keterangan : Dtbp : Daya tampung beban pencemaran, Bmbp : Baku mutu beban pencemaran)

baku mutu kelas III dengan daya tampung rata-rata 288.031 kg/hari dan yang memenuhi baku mutu kelas IV adalah segmen Nagara sampai Kamaruton 1 (16.25 km) dengan daya tampung rata-rata 1,321.66 kg/hari. Segmen Ragas masigit 2 sampai muara sepanjang 15.5 km masih melebihi baku mutu kelas IV sehingga sudah tidak memiliki daya tampung beban pencemaran.

Ketika beban pencemaran dari PS di Sungai Ciujung direduksi 90% pada debit maksimumnya (Gambar 12) maka lokasi segmen Cijeruk 2 dan ragas masigit 2 (16.5 km) memenuhi baku mutu kelas II dengan daya tampung rata-rata adalah 1,373.61 kg/

hari, Segmen Nagara sampai Laban (25 km) memenuhi baku mutu kelas III dengan daya tampung rata-rata adalah 7,171.75 kg/hari dan segmen Nagara sampai Tirtayasa (27.25 km) memenuhi baku mutu kelas IV dengan daya tampung rata-rata adalah 21,241.74 kg/hari. Segmen Tengkurak 2 sampai Muara (4.5 km) sudah tidak memiliki daya tampung.

Peningkatan kualitas air sungai terjadi ketika debit dinaikan dari 1.9 m³/detik menjadi 29.9 m³/detik dengan mereduksi limbah industri sebesar 90%. Lokasi yang memenuhi kriteria mutu air kelas II meningkat 153.85% dari 6.5 km menjadi 16.5 km, yang memenuhi kelas III meningkat 81.82% dari 13.75 km menjadi 25 km dan yang memenuhi kelas IV meningkat 67.69% dari 16.25 Km menjadi 27.25 Km. Sehingga lokasi yang masih melebihi kriteria mutu air kelas IV dan tidak memiliki daya tampung menurun sebesar 70.97%, dari 15.5 km menjadi 4.5 km.

3.6. Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Ciujung

Penentuan strategi pengendalian pencemaran dalam rangka meningkatkan kualitas air Sungai Ciujung dilakukan dengan cara melakukan wawancara mendalam dengan pakar (*expert judgement*) dan pengisian kuesioner untuk menjangkau berbagai informasi tentang alternatif dan tujuan terkait strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung.

Wawancara dilakukan terhadap beberapa narasumber yang berasal dari Perguruan Tinggi, Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kabupaten Serang, Dinas Pemukiman dan Sumber Daya Air Propinsi Banten, LSM Lingkungan dan Masyarakat Forum Komunikasi DAS Ciujung. Berdasarkan hasil wawancara, alternatif strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung yang berhasil diidentifikasi adalah: Penerapan pajak limbah industri, Pemantauan kualitas air limbah dan air sungai, pengetatan perijinan dan kuota pembuangan limbah, penetapan kelas sungai dan daya tampung beban pencemaran dan relokasi industri. Tujuan dalam pengendalian dan pencemaran Sungai Ciujung adalah mereduksi beban pencemaran, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, dan menjaga kualitas air sungai.

Analisis AHP dalam strategi pengendalian beban pencemaran Sungai Ciujung ditetapkan menjadi 5 (lima) level. Level pertama adalah *goal* atau

fokus kegiatan, yaitu pengendalian pencemaran Sungai Ciujung. Level kedua adalah faktor, level ketiga adalah aktor atau pelaku yang berperan dalam pengendalian pencemaran, level keempat adalah tujuan pengendalian pencemaran dan level kelima adalah alternatif strategi pengendalian pencemaran. Skala prioritas disusun berdasarkan pada bobot (*eigen value*) yang dihasilkan pada matriks perbandingan, dimana bobot yang lebih tinggi diletakkan sebagai faktor utama, sedangkan semakin kecil bobot akan semakin rendah dalam prioritas penentuan strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung.

Hasil analisis AHP menggunakan aplikasi program *Criterion Decision Plus (CDP)*, menunjukkan bahwa faktor yang paling penting dalam strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung adalah keberlanjutan (*eigen value* 0.336) dan aktor yang paling berperan adalah industri (*eigen value* 0.354), sedangkan mereduksi beban pencemaran (*eigen value* 0.483) menjadi tujuan paling penting untuk diimplementasikan dalam strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung, kemudian diikuti dengan menjaga kualitas air sungai (0.316) dan terakhir adalah meningkatkan kesejahteraan masyarakat (0.202).

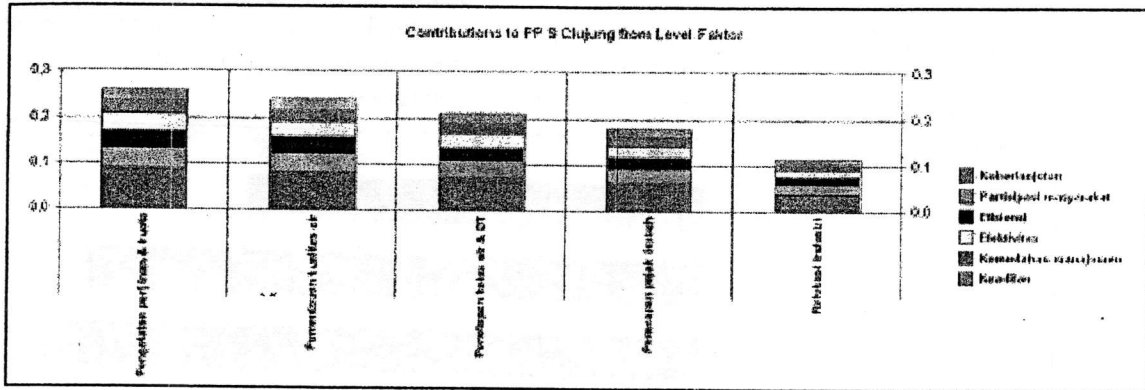
Menurut Arifin (2007), berkelanjutan secara ekologi mengandung arti bahwa kegiatan pembangunan harus dapat mempertahankan integritas ekosistem, memelihara daya dukung lingkungan dan konservasi SDA termasuk keanekaragaman hayati (*biodiversity*) serta penggunaan teknologi ramah lingkungan. Pembangunan berkelanjutan mensyaratkan keserasian antara laju kegiatan pembangunan dengan daya dukung (*carrying capacity*) lingkungan alam untuk menjamin tersedianya aset SDA dan jasa-jasa lingkungan (*environmental services*) yang minimal sama untuk generasi mendatang (Bengen, 2003).

Industri mengambil peran yang cukup besar dalam menambah tumpukan persoalan akibat pencemaran lingkungan. Banyak pabrik yang menjalankan usahanya tanpa memiliki sarana instalasi pengolahan limbah (IPAL), sehingga menimbulkan pencemaran. Saat ini jumlah industri di Kabupaten Serang sebanyak 483 industri, dimana terdapat industri yang membuang limbahnya melalui air sungai (Sungai Cikambuy), dan yang membuang langsung limbahnya ke Sungai Ciujung ada

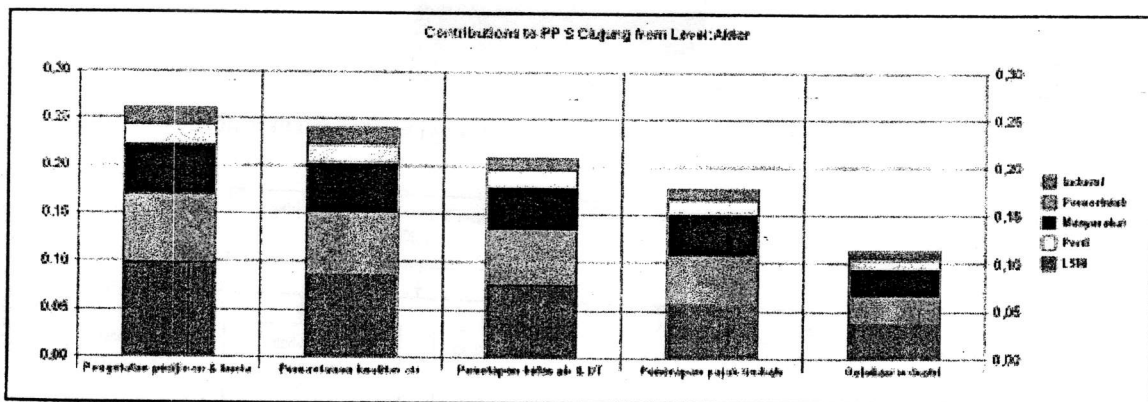
industri, yaitu 2 industri kertas dan 1 industri bahan kimia (BLH, 2011).

Dari hasil penelitian, pada kondisi eksisting, nilai beban pencemaran di Sungai Ciujung telah melampaui baku mutu sungai kelas IV. Beban pencemaran Sungai Ciujung berasal dari aktivitas

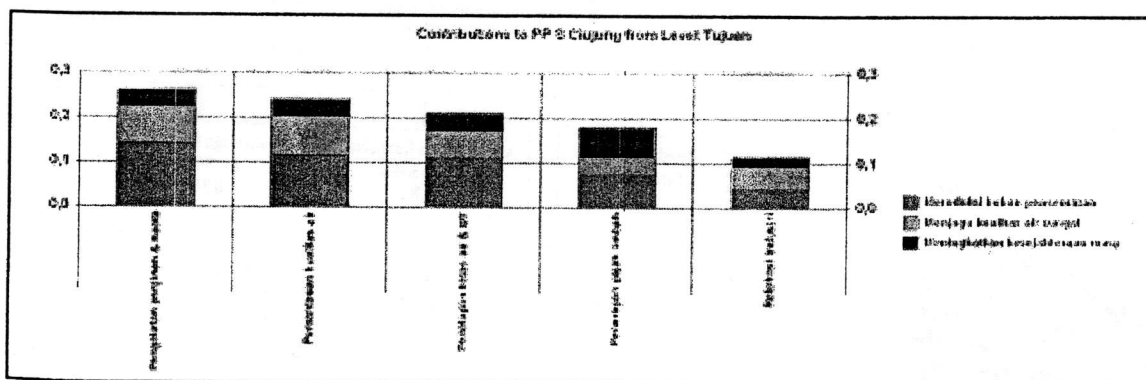
pertanian, domestik dan peternakan (*Non Point Source*) dan buangan limbah industri (*Point Source*). Beban pencemaran domestik sebesar 462.06 kg/hari, peternakan 383.996 kg/hari, pertanian 3,030.589 kg/hari, dan industri 13,971.92 kg/hari. Hasil analisis WASP menunjukkan bahwa dengan mereduksi



Gambar 13. Kontribusi faktor/kriteria terhadap pengendalian pencemaran



Gambar 14. Kontribusi aktor terhadap pengendalian pencemaran



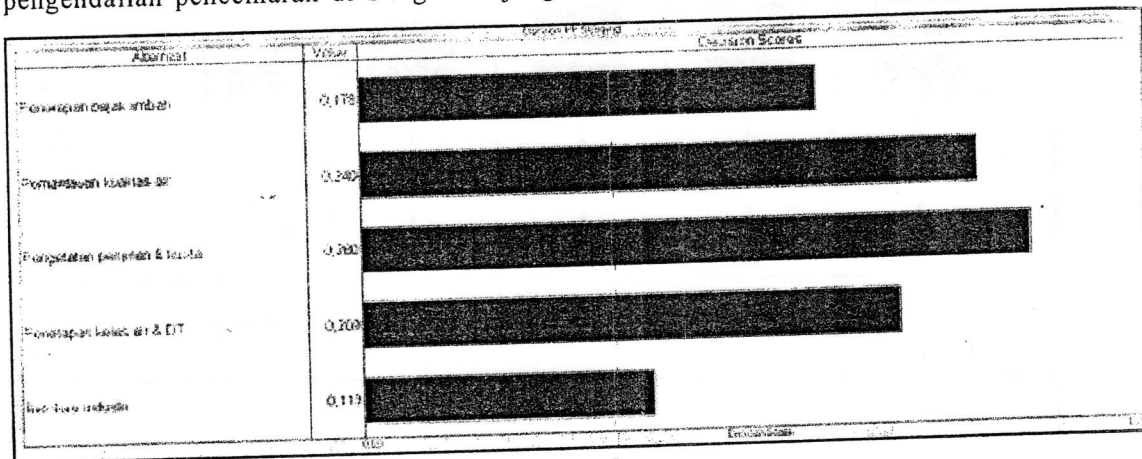
Gambar 15. Kontribusi tujuan terhadap pengendalian pencemaran

beban industri sebesar 90% pada kondisi debit minimum, nilai beban pencemaran Sungai Ciujung masih memenuhi baku mutu kelas IV. Hal ini mengindikasikan bahwa prioritas tujuan pengendalian saat ini adalah mereduksi beban pencemaran untuk memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

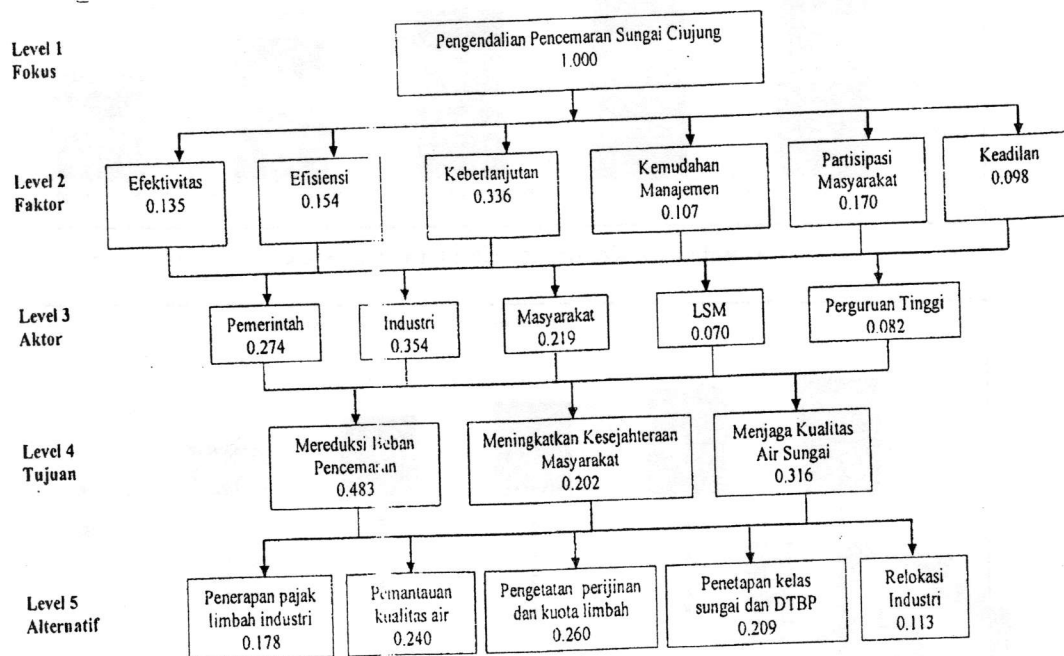
Dari hasil AHP juga memperlihatkan bahwa prioritas strategi yang perlu dilakukan untuk pengendalian pencemaran di Sungai Ciujung

berdasarkan bobot yang dihasilkan berturut-turut adalah pengetatan perijinan dan kuota limbah (*eigen value* 0.260), pemantauan kualitas air limbah dan air sungai (*eigen value* 0.240), penetapan kelas air sungai dan DTBP (*eigen value* 0.209), penerapan pajak limbah industri (*eigen value* 0.178) dan terakhir adalah relokasi industri (*eigen value* 0.113).

Struktur AHP pemilihan strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung ditunjukkan pada Gambar 17t.



Gambar 16. Prioritas alternatif strategi pengendalian pencemaran



Gambar 17. Struktur AHP pemilihan strategi pengendalian pencemaran Sungai Ciujung.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. Hasil simulasi yang dilakukan tanpa mereduksi beban pencemaran pada debit minimum ($1.9 \text{ m}^3/\text{detik}$) menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Ciujung dapat memenuhi kelas IV sepanjang 13.5 km dengan daya tampung beban pencemaran rata-rata 1,291.67 kg/hari. Ketika simulasi dilakukan pada debit maksimum ($29.9 \text{ m}^3/\text{detik}$), yang memenuhi kelas IV meningkat 85.19 % menjadi 25 km dengan daya tampung beban pencemaran rata-rata 16,947.06 kg/hari. Sehingga yang sudah tidak memiliki daya tampung beban pencemaran adalah di bagian hilir Sungai Ciujung sepanjang 6.75 km.
2. Hasil simulasi yang dilakukan dengan mereduksi beban pencemaran dari *point source* sebesar 90% pada debit minimum ($1.9 \text{ m}^3/\text{detik}$) menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Ciujung dapat memenuhi kelas IV sepanjang 16 km dengan daya tampung beban pencemaran rata-rata 1,297.53 kg/hari. Ketika simulasi dilakukan pada debit maksimum ($29.9 \text{ m}^3/\text{detik}$), yang memenuhi kelas IV meningkat 70.11 % menjadi 27.25 km dengan daya tampung beban pencemaran rata-rata 21,241.74 kg/hari. Sehingga yang sudah tidak memiliki daya tampung beban pencemaran adalah di bagian hilir Sungai Ciujung sepanjang 4.5 km.
3. Alternatif prioritas yang perlu dilakukan untuk pengendalian pencemaran di Sungai Ciujung dalam kasus ini adalah Pengetatan perijinan pembuangan limbah dan kuota limbah ke sungai (*eigen value* 0.260).

Daftar Pustaka

- Ambrose R B. 2006. "Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.0". U.S. EPA, Georgia.
- Ambrose R B. 2009. "WASP7 Stream Transport - Model Theory and User's Guide". U.S. EPA, Georgia.
- Ambrose R B. 2009. "WASP7 Multiple Algae - Model Theory and User's Guide". U.S. EPA, Georgia.
- Ambrose R B. 2009. "Introduction to the WASP Model". U.S. EPA, Georgia.
- Arifin T. 2007. *Indeks keberlanjutan ekologi teknologi-teknologi ekosistem terumbu karang di Selat Lembeh Kota Bitung*. Jurnal Oseanologi dan Limnologi, 33. 307-323.
- Bengen DG. 2003. *Menjaga keanekaragaman hayati pesisir dan laut melalui debt nature swapt*. Warta Pesisir dan Lautan, 03. 10-15.
- Cole, T. M dan S. A. Wells. 2000. CE-QUAL-W2: "A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model". US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg, MS.
- BLH Kabupaten Serang. 2011. *Profil Lingkungan Hidup Kabupaten Serang*. Kementerian Lingkungan Hidup RI, Jakarta.
- EPA. 2004. "Total Maximum Daily Load (TMDL) Development For Total Mercury Fish Tissue In The Canoochee River". U.S. EPA, Georgia.
- Florida Department of Environmental Protection (FDEP). 2003. "Basin Status Report, Lower St. Johns, DEP Division of Water Resource Management", Northeast District, Group 2 Basin.
- Kaufman G B. 2011. "Application Of The Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) To Evaluate Dissolved Nitrogen Concentrations In The Altamaha River Estuary". Thesis. The University of Georgia, Georgia.
- KLH. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Machbub, B. 2010. *Model perhitungan daya tampung beban pencemaran air danau dan waduk*. Jurnal Sumber Daya Air, 6 (2). 103-204

- Marimin. 2005. *Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk*. Grasindo, Jakarta.
- Nugraha W D. 2008. *Identifikasi Kelas Air dan Penentuan Daya Tampung Beban Cemaran BOD Sungai dengan Model Qual2E (Studi Kasus Sungai Serayu, Jawa Tengah)*. Jurnal Presipitasi, 5(2). 31-4
- Nurmala. 2010. *Status Mutu Air Dan Estimasi Daya Tampung Beban Pencemaran Organik Di Sungai Ciujung Provinsi Banten*. Tesis. Sekolah Tinggi Manajemen IMNI, Jakarta.
- Pemerintah RI . 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Pemerintah Republik Indonesia Jakarta.
- SNI. 1991. *Standar Nasional Indonesia No 06-2421-1991 tentang Metode Pengambilan Contoh U. Kualitas Air*. Badan Standar Nasional, Jakarta.
- SNI. 1991. *Standar Nasional Indonesia No 06-2503-1991 tentang Metode Pengujian Kebutuhan Oksigen Kimia Dalam Air*. Badan Standar Nasional, Jakarta.
- Sutisna A. 2002. *Laporan Status Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2002*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta.
- Suwari. 2010. *Model Pengendalian Pencemaran Air Pada Wilayah Kali Surabaya*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor
- USEPA. 2004. "Total Maximum Daily Load (TMDL) For Total Mercury Fish Tissue in the Canoochee River U.S. Environmental Protection Agency, Georgia.
- USEPA. 2006. Total Maximum Daily Load (TMDL) For Dissolved Oxygen In Williamson Creek. U.S. Environmental Protection Agency, Georgia.
- USEPA. 2008. "Total Maximum Daily Load (TMDL) for Organic Enrichment & Dissolved Oxygen". U.S. Environmental Protection Agency, Georgia.
- USEPA. WASP: Water Quality Analysis Simulation Program. U.S. Environmental Protection Agency, Georgia
- Lung W.S. 2003. "Eutrophication Modeling For Estuarine Water Quality Management". Makalah disajikan dalam *International Conference on Estuaries and Coasts*. China.
- Lung, W.S. and Bai, S., 2003. "A Water Quality Model for the Patuxent Estuary: Current Conditions and Predictions Under Changing Land-Use Scenarios". *Estuaries*, 26 (2A), 267-279.
- Wool, T.A, R.B. Ambrose, J.L. Martin, dan E.A. Comer. "Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.0 Draft: User's Manual". U.S. Environmental Protection Agency, Georgia.
- Zheng, L., C. Chen dan F.Y. Zhang. 2004. "Development of water quality model in the Satilla River Estuary Georgia". *Ecological Modelling*, 178. 457-482.