

IDENTIFIKASI DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN SUNGAI CITARUM HILIR DI KARAWANG DENGAN WASP

IDENTIFICATION OF TOTAL MAXIMUM DAILY LOAD (TMDL) OF DOWNSTREAM CITARUM RIVER IN KARAWANG USING WASP

*¹Fanti Nur Laili dan ²Asep Sofyan

Program Studi Magister Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

Email: ¹ fanti_its@student.itb.ac.id dan asepsofyan@gmail.com

Abstrak: Sungai Citarum merupakan sungai terbesar di wilayah Provinsi Jawa Barat yang memiliki luas DAS 6.614 km² dengan panjang 300 km. Bagian hulu Sungai Citarum berada di Kabupaten Cianjur dan bagian hilirnya di Kabupaten Karawang. Sungai Citarum hilir memiliki peranan penting bagi Kabupaten Karawang untuk aktivitas domestik, pertanian dan industri. Saat ini Sungai Citarum telah menjadi isu nasional sebagai sungai yang mengalami pencemaran berat. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat pencemaran dan kondisi eksisting sungai Citarum hilir berdasarkan parameter kimia secara umum. Mengidentifikasi beban pencemaran organik berupa BOD dari Non Point Source dan Point Source di sungai Citarum hilir sepanjang 17,7 km. Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP) sungai dihitung dengan bantuan WASP (Water Analysis Simulation Program). Indeks pencemaran menunjukkan sungai Citarum hilir (Bendungan Walahar - Jl. Rumah Sakit) sudah tercemar dengan status cemar ringan sampai berat. Hasil kalibrasi BOD memperlihatkan hasil RSME adalah 1,47 mg/L dan RE 21,8%. Hasil modeling WASP pada variasi debit andalan (Q_{70%}) menunjukkan bahwa peningkatan debit di sungai sangat berpengaruh terhadap nilai BOD, penurunan nilai BOD pada musim hujan (maksimum) mencapai 91,8 % dari musim kemarau (minimum). Pada kondisi debit andalan minimum (1,6 m³/s) sungai Citarum Hilir tidak dapat memenuhi kualitas sungai I, II, III dan IV di sepanjang 17,7 km. Pada debit maksimum (42,5 m³/detik) lokasi sungai Citarum hilir yang memenuhi sungai kelas III meningkat 32,39 % dengan DTBP sebesar 2.816,06 Kg/hari dan 2799,90 kg/hari sepanjang 5,734 km.

Kata kunci: Sungai Citarum, pencemaran, DO, BOD, WASP, DTBP

Abstract: The Citarum River is the largest river in the region of West Java province which has an area of 6,614 km² watershed with a length of 300 Km. The upstream Citarum located in Cianjur and the downstream in Karawang. The downstream of Citarum river has an important role for the Karawang regency for domestic activities, agriculture and industry. Currently, the Citarum River into a national issue as the river is heavily polluted. This study aims to determine the level of pollution and the existing condition of Citarum river downstream based chemical parameters. Identified organic pollution load of BOD from Non Point Source (NPS) and Point Source (PS) in the Citarum river downstream Along the 17.7 km. Total Maximum Daily Load of BOD is determined by WASP (Water Analysis Simulation Program). Pollution Index shows the downstream of Citarum river (Walahar Dam –Jl. Rumah Sakit) polluted, from slightly to heavily polluted. BOD calibration results show the results RSME is 1.47 mg /L and RE 21.8%. WASP modeling results in the variation of dependable flow (Q_{70%}) indicate that the increase in river discharge influence on the value of BOD, impairment of BOD in the rainy season (maximum) reaches 91.8% of the dry season (minimum). The downstream Citarum river at minimum flow (1,6 m³/s) can not meet 1th, 2th, 3th and 4th of quality standards along 17,7 Km. At the maximum flow (42,5m³/s) location of Citarum river meet 4th of class of quality standard increased 32.39% with TDML 2816,06 kg/ day and 2799,90 kg /day along 5,734 km.

Keywords: Citarum River, polluted, DO, BOD, WASP, TDML

PENDAHULUAN

Sungai Citarum adalah sungai terpanjang dan terbesar di Provinsi Jawa Barat. Panjang aliran sungai Citarum sekitar 300 km. Hulu Citarum berawal dari lereng Gunung Wayang, di tenggara Kota Bandung dan berakhir sungai ini bermuara di ujung Karawang. Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu 6.614 km². Populasi yang dilayani sebesar 25 Juta (15 Juta Jawa Barat, 10 Juta DKI). Populasi Penduduk di sepanjang sungai (Data BPS 2009) 15.303.758. Tiga waduk buatan yaitu Saguling (1986) berkapasitas 982 juta m³, Cirata (1988) berkapasitas 2.165 juta m³ dan Jatiluhur (1963) berkapasitas 3.000 juta m³. Pembangkit listrik tenaga air di ketiga waduk tersebut menghasilkan daya listrik sebesar 1.400 MW.

Sumber pencemar potensial di Sungai Citarum adalah: rumah tangga, pertanian, jasa (Rumah Sakit/Puskesmas, restoran, hotel, laundry) dan industri. Permasalahan limbah Sungai Citarum sudah dimulai dari daerah hulu. Kegiatan peternakan sapi yang berkembang di daerah dataran tinggi sebelah Utara dan Selatan Kota Bandung seperti Lembang dan Pengalengan menyumbang limbah kotoran setidaknya 400 ton per hari. Limbah ini dihasilkan dari sekitar 29.000 ekor sapi yang dimiliki oleh 7.000 orang peternak dimana pengelolaan limbah kotoran sapi (rata-rata 15 kg/ekor/hari) belum ditangani dengan optimal dan langsung digelontorkan ke Sungai Citarum melalui saluran-saluran pembuangan.

Hasil pemantauan kualitas air menunjukkan bahwa sampai saat ini kondisi kualitas air Sungai Citarum belum dapat memenuhi baku mutu air yang telah ditetapkan di sepanjang tahun, terutama pada musim kemarau (SK. Gubernur Jabar No. 39/2000). Berdasarkan hasil penelitian Pusat Litbang Sumber Daya Air (PUSAIR) dan Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Prov. Jawa Barat Th. 2001, terjadinya penurunan kualitas air tersebut yang disebabkan oleh peningkatan beban pencemaran dari berbagai sumber pencemar yang berasal dari populasi penduduk, perkembangan industri, ekstensifikasi dan intensifikasi lahan pertanian, pengembangan perikanan, populasi ternak serta eksplorasi bahan tambang /galian C.

Saat ini penelitian sungai Citarum banyak berfokus pada wilayah hulu, sedangkan dalam pengelolaan sungai diperlukan penelitian yang terpadu, baik wilayah hulu dan hilir. Sungai Citarum hilir berada di Kabupaten Karawang yang merupakan kota Industri. Berdasar data Karawang Dalam Angka (KDA) 2014 tercatat jumlah Industri mencapai 9.963 unit usaha di tahun 2013 meningkat 0,43% dibandingkan tahun 2012 yang mencapai 9.707 unit usaha. Pengelompokan industri didasarkan pada jenis produksi, yaitu logam mesin & rekayasa, aneka elektronika, tekstil, alat angkut, kimia, agro, pulp & kertas dan hasil hutan. Limbah BOD yang dihasilkan dari kegiatan industri 13.590,45 Kg/hari dari total 77.329,70 kg/hari (SLH Karawang, 2013).

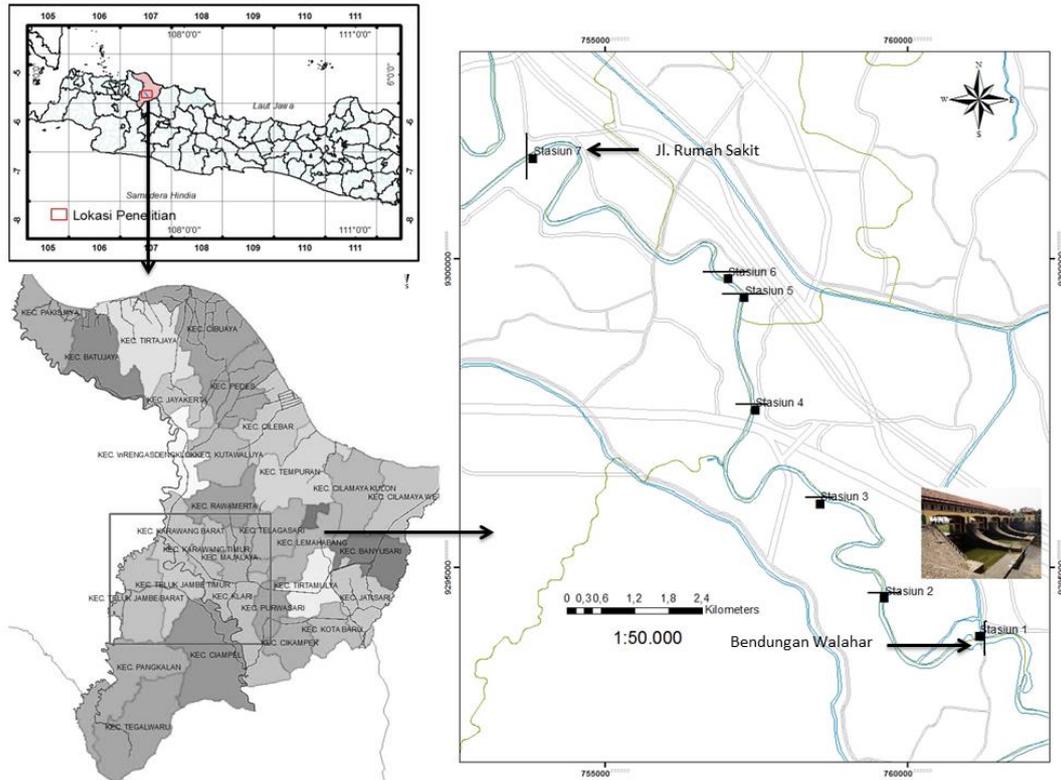
Berdasarkan data di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi eksisting perairan Sungai Citarum hilir berdasarkan parameter kimia secara umum, mengidentifikasi beban pencemaran organik berupa BOD dari *Non Point Source* dan *Point Source*. Menghitung daya tampung/kemampuan badan air sungai Citarum Hilir dalam menerima beban pencemar pada saat debit minimum dan maksimum dengan software WASP.

Ruang lingkup studi penelitian ini adalah sungai Citarum hilir yang melewati kota Karawang. Kondisi eksisting Sungai Citarum Hilir diketahui dengan membandingkan hasil analisa kualitas air dengan PP No. 82/2001 tentang pengelolaan kualitas Air. Status mutu air Sungai menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) yang mengacu kepada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (KLH 2003). Daya tampung beban cemar di sungai Citarum Hilir dihitung berdasarkan cemar BOD menggunakan software WASP. Pedoman penetapan daya tampung beban pencemaran pada sumber air menggunakan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang tata laksana pengendalian pencemaran air

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Pengambilan Sampel

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kualitas sungai Citarum hilir melalui parameter fisik dan kimia. Lokasi Penelitian berada di wilayah Citarum hilir (Bendungan Walahar – Jl. Rumah Sakit) dengan 7 titik stasiun sampling dan total panjang 17,7 km. Titik pengambilan sampel dipilih dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti faktor geografi seperti topografi dan pertimbangan historis seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Metode Pengumpulan Sampel Air Sungai

Sebanyak 7 sampel air pada sungai Citarum hilir (01-April 2016) diambil pada waktu satu hari. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sample* (contoh sesaat) yaitu sampel air satu kali pengambilan dari satu lokasi. Alat yang digunakan untuk pengambilan sampel air adalah botol plastik dengan pemberat.

Analisis Sample Air Sungai

Analisis konsentrasi masing-masing parameter fisika (Suhu, TDS, Kekeruhan) dan kimia (pH, DO, KBOD, NH₃, NO₂, dan NO₃) dilakukan di Laboratorium Perum Jasa Tirta II.

Pengukuran Hidrologi dan Geometri Sungai

Karakteristik hidrogeometri sungai yang diukur antara lain kedalaman sungai (H) yang diukur dengan menggunakan meteran yang diberi pemberat, lebar sungai (B) diukur dari jembatan dengan menggunakan meteran sedangkan kecepatan sungai (V) diukur dengan menggunakan metode apung. Untuk memperoleh nilai luas penampang sungai, kemiringan dilakukan dengan perhitungan, sedangkan debit diperoleh dari laporan debit Perum Tarum Perum Jasa Tirta II tahun 2000-2015.

Analisis Kondisi Eksisting Air Sungai

Analisa kondisi eksisting sungai Citarum hilir dilakukan dengan membandingkan hasil analisa laboratorium dengan Baku Mutu Air (BMA) pada PP No. 82/2001 tentang pengelolaan kualitas Air. Penentuan status mutu air menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) yang mengacu kepada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (KLH 2003). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai Indeks Pencemaran (IP).

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}} \quad (1)$$

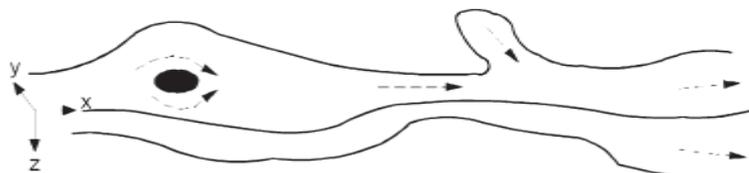
Dimana L_{ij} = konsentrasi parameter kualitas air yang tercantum dalam baku mutu peruntukan air (j); C_i = konsentrasi parameter air hasil pengukuran; IP_j = Indeks pencemaran bagi peruntukan (j); $(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai C_i/L_{ij} maksimum; $(C_i/L_{ij})_R$ = Nilai C_i/L_{ij} rata-rata. Hubungan antara nilai Indeks Pencemaran dengan mutu perairan adalah 0-1,0 untuk kondisi baik; 1,1-5,0 untuk kondisi tercemar ringan; 5,0-10,0 untuk kondisi tercemar sedang dan nilai IP diatas 10,0 untu tercemar berat.

Analisis Potensi Sumber Pencemar

Identifikasi dan analisis potensi sumber pencemar dilakukan dengan pendekatan *Rapid Assesment* (WHO, 1993 dalam Heny, 2013) dan metode identifikasi dan inventarisasi Permen LH No.01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Pencemaran yang dianalisis adalah yang berasal dari *Non Point Source* (NPS) berupa limbah domestik, pertanian dan peternakan dan *Point Source* (PS) berupa air limbah Industri. Data industri diperoleh dari daftar perusahaan yang berhubungan dengan pencemaran air (BLH Karawang, 2014) dan komposisi limbah diperoleh dari laporan mutu limbah industri di Karawang (Kementrian Lingkungan Hidup, 2016).

PemodelanWASP

Model matematika adalah formulasi ideal yang mampu mewakili response dari sistem fisik untuk stimulasi eksternal (Chapra,1997). Pemodelan kualitas air dilakukan dengan perangkat lunak *Water Analysis Simulation Program* (WASP) 7.5. WASP memberikan fleksibility dan kemudahan bagi pengguna (Chen dkk, 2012). Penggunaan sistem koordinat seperti yang ditunjukkan dalam persamaan umum keseimbangan massa, di mana koordinat x dan y berada di bidang horizontal, dan koordinat z adalah dalam bidang vertikal seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Sistem koordinat persamaan neraca massa

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

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_z + S_B + S_k \quad (2)$$

Di mana: C = konsentrasi bagian kualitas air (mg/L atau g/m³), T = waktu (hari), U_x, U_y, U_z = kecepatan adveksi longitudinal, lateral, dan vertikal (m/hari), E_x, E_y, E_z = kecepatan dispersi longitudinal, lateral, dan vertikal (m/hari), S_z = 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) (Hidriani, 2013).

Kalibrasi dan Verifikasi

Evaluasi dari *goodness-of-fit* atau uji kecocokan model antara data lapangan dengan data model menggunakan *Root Mean Square of Error* (RMSE) dan *Relative Error* (RE) (Chuersuwan, 2013). Persamaan RSME dan RE adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RMSE} &= \left\{ \frac{\sum (C_o - C_s)^2}{N} \right\}^{0,5} \\ \text{RE} &= \left\{ \frac{\sum \left(\frac{C_o - C_s}{C_o} \right)^2}{N} \right\}^{0,5} \end{aligned} \quad (3)$$

Dimana C_s adalah nilai model, C_o adalah nilai observasi dan N adalah banyaknya data penelitian.

Analisis Debit Andalan

Analisis debit andalan sungai Citarum hilir dilakukan menggunakan SNI 6738-2014: *Perhitungan debit andalan dengan metode kurva durasi debit data*. Data yang digunakan adalah data pemantauan debit harian pada Perum Tarum II Jasa Tirta pada sektor bendungan Walahar selama 16 tahun (2000-2015).

Simulasi Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBD)

Simulasi Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBD) dilakukan dengan mensimulasi model dengan variasi debit andalan pada debit minimum dan maksimum, serta modifikasi penambahan dan pengurangan beban pencemaran. Daya tampung Beban Pencemaran (DTBP) dapat dihitung dengan cara sederhana yaitu dengan persamaan neraca massa (Wiwoho, 2005) sebagai berikut :

$$\text{DTBP} = \text{Beban Pencemaran Sesuai BMA} - \text{Beban Cemaran Terukur} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting Sungai Karawang

Evaluasi kondisi eksisting sungai Citarum hilir di Karawang dilakukan dengan membandingkan hasil analisa laboratorium pada 7 stasiun titik sampling dengan kualitas air pada PP No. 82/2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Baku Mutu Air (BMA). Hal ini ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kondisi Eksisting dan Standar Baku Mutu Air (PP No.82/2001, dan SK Gubernur Jabar No.39/2000)

No.	Lokasi	Parameter								
		Suhu	TDS	Kekeruhan	pH	NH ₃	NO ₂	NO ₃	DO	BOD ₅
1	Stasiun 1	33	235	52	7	0,004	0,02	0,1	6	3
2	Stasiun 2	33	195	39	7	0,01	0,02	0,1	5	3
3	Stasiun 3	33	110	48	7,1	0,01	0,03	0,1	5	4
4	Stasiun 4	33	578	106	7,8	16	0,03	0,1	4	9
5	Stasiun 5	33	1160	68	8,0	39	0,04	0,2	3,2	14
6	Stasiun 6	33	200	79	7,1	0,03	0,05	0,1	4	6,4
7	Stasiun 7	32	205	157	7,1	0,01	0,05	0,1	4	4
Kriteria Mutu Air	Kelas I	1000			6-9	0,02	0,06	10	6	2
	Kelas II				6-9	-	0,06	10	4	3
	Kelas III				6-9	-	0,06	20	3	6
	Kelas IV				5-9	-	0,06	20	0	12

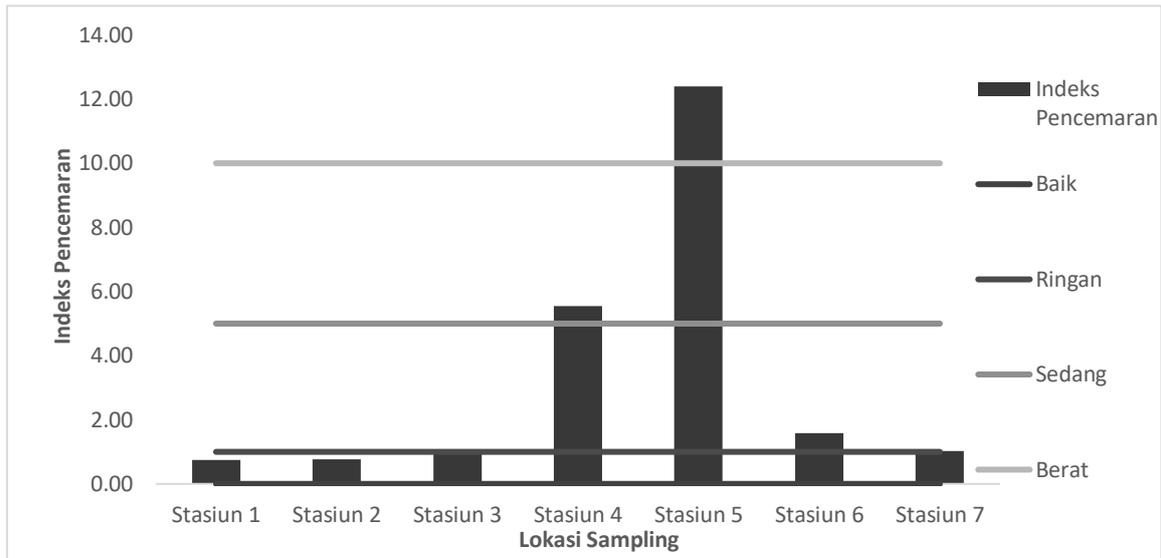
Suhu merupakan salah satu parameter air yang sering diukur, karena kegunaannya dalam mempelajari proses fisika, kimia dan biologi. Suhu air pada aliran sungai dapat berubah-ubah terhadap keadaan ruang dan waktu. Hasil pengukuran suhu pada 7 stasiun sampling berkisar antara 32-33oC. Suhu pada 7 stasiun sampling menunjukkan 1 sampai 2 derajat lebih tinggi dibandingkan standar suhu optimal untuk kehidupan perairan. Hal ini dapat disebabkan kisaran waktu pengukuran pada waktu siang hari yang cerah pada lapisan permukaan air.

Hasil pengukuran pH pada 7 stasiun sampling berada pada kisaran 7-8 cenderung basa dan berada pada kisaran baku mutu air kelas II (6-9) PP No.82 Tahun 2001. Air dengan nilai pH sekitar 6,5 – 7,5 merupakan air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan. Menurut Mahyudin (2015), peningkatan nilai derajat keasaman atau pH dipengaruhi oleh limbah organik maupun anorganik yang di buang ke sungai. Pengukuran amonia bebas pada stasiun 5 mencapai 39 mg/l. Menurut Effendi (2003), kadar ammonia pada perairan alami biasanya kurang dari 0,1 mg/l. Kadar ammonia bebas yang tidak terionisasi (NH₃) pada perairan tawar sebaiknya tidak melebihi 0,02 mg/l. Kadar ammonia yang tinggi dapat diindikasikan pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, limbah industri, maupun limpasan pupuk pertanian.

Nilai DO pada hasil penelitian pada 7 stasiun sampling berkisar antara 3,2 mg/l-6mg/l dengan nilai DO rata-rata 4,6 mg/l. DO tertinggi berada pada stasiun 1 yang merupakan bendungan walahar, sedangkan DO terendah ada pada stasiun 5 dengan nilai DO 3,2 mg/l. Nilai DO rata-rata tersebut masih memenuhi kriteria mutu air kelas II yang mempersyaratkan nilai DO minimum 4 mg/l. Nilai BOD antar titik pengamatan sangat beragam. Nilai BOD berkisar antara 3 mg/l - 14 mg/l dengan rata-rata 4,85 mg/l. Nilai BOD yang berada pada 10-20 mg/l dapat mengindikasikan suatu pencemaran air tingkat sedang (Salmin, 2005).

Status Mutu Sungai Citarum Hilir di Kota Karawang

Status mutu air pada tiap-tiap stasiun sampling dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP).



Gambar 3. Sebaran indeks pencemaran Sungai Citarum hilir

Perhitungan Indeks pencemaran menunjukkan bahwa rata-rata nilai IP pada stasiun 1 sampai dengan stasiun 7 adalah 3,29 dalam kategori tercemar ringan. Nilai IP terendah terdapat pada stasiun 1 (bendungan walaha) kategori bersih dan tertinggi pada stasiun 5 kategori tercemar berat. Indeks pencemaran sungai citarum hilir pada 7 lokasi sampling cenderung mengalami fluktuasi. Hal ini berkaitan dengan penggunaan lahan, aktivitas masyarakat serta jarak pengambilan dari tiap lokasi (Hasibuan, 2013).

Estimasi Beban Pencemaran Sungai Citarum Hilir

Berdasarkan sumbernya, sumber limbah terbagi menjadi sumber tertentu (*Point Sources*) yang merupakan aliran limbah domestik yang sudah terpadu, atau aliran limbah industri dan sumber tak tentu (*Non Point Sources*) yang berasal dari aliran limbah pemukiman di Indonesia pada umumnya, aliran limbah pertanian, peternakan dan kegiatan kecil menengah.

Tabel 2. Limbah BOD dari *non point source* dan *point source*

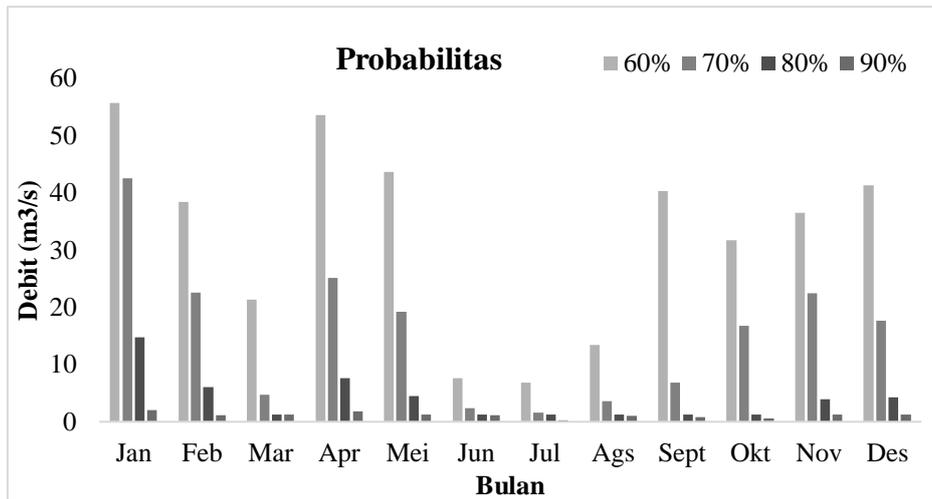
Lokasi	Jarak (Km)	Limbah BOD (Kg/hari)			
		Domestik	Pertanian	Peternakan	Industri
Segmen 1	2,490	126,55	0,01	0,71	8200,00
Segmen 2	3,244	87,46	0,00	2,76	16,34
Segmen 3	3,594	182,91	0,10	1,98	3232,51
Segmen 4	1,84	192,53	0,10	4,74	4835,72
Segmen 5	6,532	835,92	2,19	7,43	1175,00
Jumlah	17,7	1425,38	2,40	17,63	17459,57
Prosentase (%)		7,54	0,01	0,09	92,35

Berdasarkan pada **Tabel 2** dapat diketahui bahwa hasil limbah BOD berdasar dari aktivitas domestik, pertanian, peternakan dan industri. Dimana limbah industri menempati prosentase tertinggi sebesar 92,35% dalam menyumbang limbah BOD ke sungai Citarum hilir, sedangkan aktivitas penduduk/domestik menempati peringkat ke-2 setelah industri dengan prosentase sebesar 7,54%. Tingginya limbah industri dikarenakan berdasar data dari daftar perusahaan yang berhubungan dengan pencemaran air (BLH Karawang, 2014) sebanyak 42

perusahaan membuang limbah ke sungai Citarum dan 26 diantaranya berada pada segmen penelitian.

**Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP) Sungai
Kondisi Hidrolika dan Debit Air Sungai**

Debit andalan merupakan debit yang diharapkan dengan probabilitas tertentu. Penghitungan data debit andalan sungai dengan mengambil data debit harian dari Perum Tarum yang berada di Bendungan Walahar selama 16 tahun dengan probabilitas 60%, 70%, 80% dan 90%.

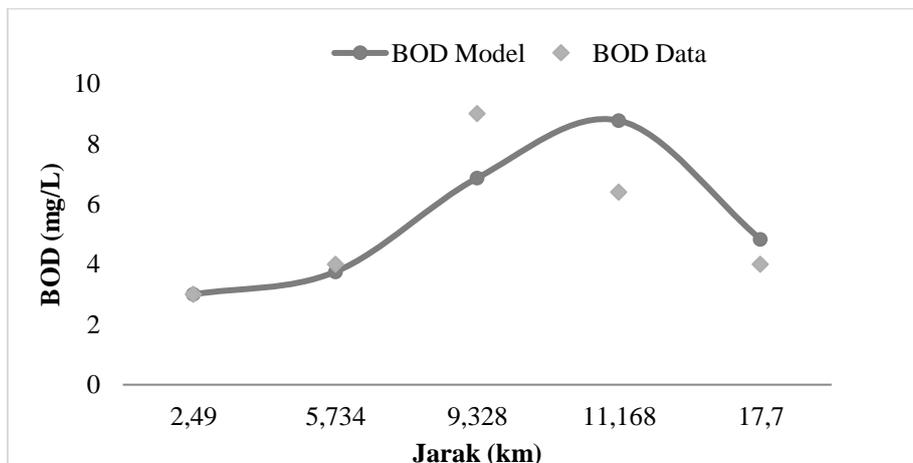


Gambar 4. Debit Andalan Sungai Citarum Hilir Tahun 2000-2015

Debit andalan pada probabilitas 70% terendah terdapat pada bulan juli sebesar 1,6 m³/detik dan 80% terendah terdapat pada beberapa bulan Maret, Juni, Juli, Agustus, September, dan Oktober 1.2 m³/detik, sedangkan untuk probabilitas 90% ada pada Bulan Juli, yaitu 0,2 m³/detik.

Model dan Kalibrasi

Uji kecocokan model antara data lapangan dengan data model (kalibrasi) menggunakan Root Mean Square of Error (RMSE) dan Relative Error (RE).

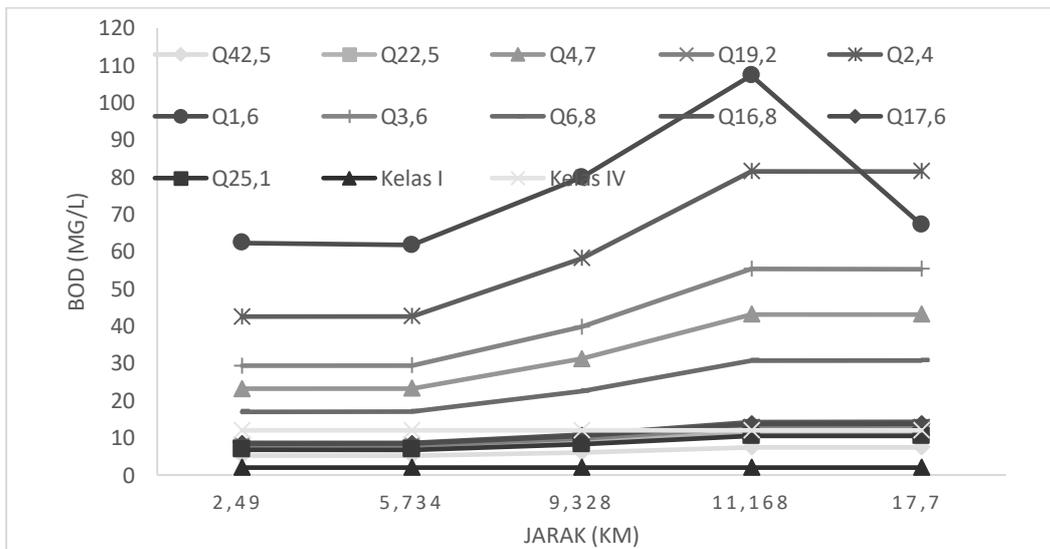


Gambar 5. Grafik kalibrasi BOD

Hasil kalibrasi BOD pada **Gambar 5** memperlihatkan hasil RSME adalah 1,47 mg/l dan RE adalah 21,8% artinya model memiliki eror yang cukup baik. Tingginya nilai RE dapat disebabkan adanya pembagian segmen yang tidak merata dan estimasi perhitungan limbah yang masuk ke segmen. Hal senada terjadi pada penelitian sungai di Lamtakkong Thailand menggunakan WASP menunjukkan nilai RSME 1,5 mg/l dengan nilai RE sebesar 35%, tingginya nilai RE akibat dari ketidakunikkan segmen dan perhitungan dalam mengestimasi limbah (Chuersuwan, 2013).

Simulasi BOD pada berbagai Debit Andalan

Konsentrasi BOD eksisting disimulasikan pada berbagai debit andalan dan dibandingkan dengan kriteria mutu air sungai kelas I sampai IV. Simulasi BOD dilakukan pada variasi debit andalan Q70%.

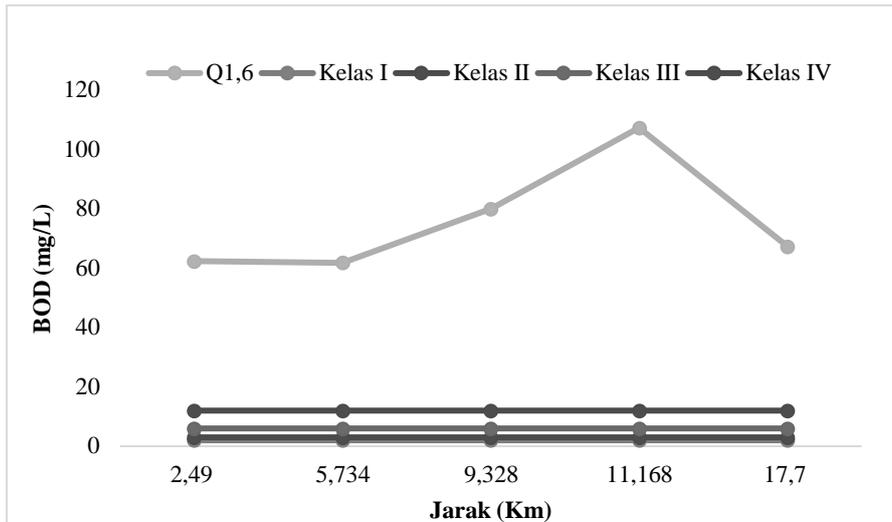


Gambar 6. Simulasi BOD pada Berbagai Debit Andalan

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa semakin besar debit sungai, maka nilai BOD semakin menurun. Nilai rata-rata BOD sungai Citarum hilir pada debit andalan minimum ($1,6\text{m}^3/\text{detik}$) 75,7 mg/L dan pada debit andalan maksimum ($42,5\text{m}^3/\text{detik}$) 6,29 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit di sungai sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai BOD, penurunan nilai BOD pada musim hujan (maksimum) mencapai 91,8 % dari musim kemarau (minimum).

Simulasi BOD pada Debit Andalan Minimum

Sungai Citarum hilir mengalami debit andalan minimum pada bulan Juli sebesar $1,6\text{m}^3/\text{detik}$. Debit ini selanjutnya disebut sebagai debit minimum dan digunakan dalam simulasi untuk mendapatkan nilai BOD.

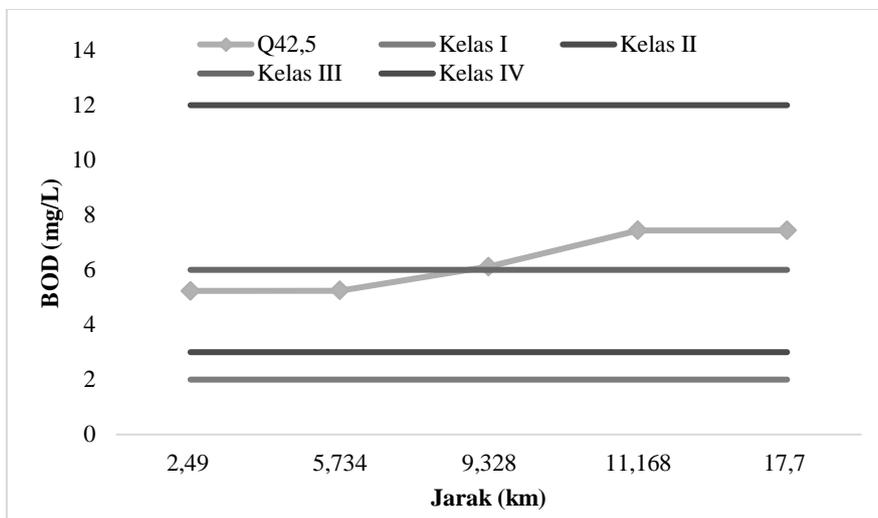


Gambar 7. Nilai BOD pada debit minimum

Hasil simulasi pada debit minimum nampak bahwa nilai BOD tidak memenuhi kriteria mutu air sungai kelas I, II, III dan IV sepanjang 17,7 km (Bendungan Walahar-Jl.Rumah Sakit). Hal ini menunjukkan bahwa pada musim kemarau sungai mengalami debit kritis, sehingga sudah tidak mampu menerima beban pencemaran BOD baik dari *point source* maupun *non point source*.

Simulasi BOD pada Debit Andalan Maksimum

Sungai Citarum hilir mengalami debit andalan maksimum pada bulan Januari sebesar 42,5 m³/detik.



Gambar 8. Nilai BOD pada debit maksimum

Hasil simulasi pada debit maksimum pada **Gambar 8** menunjukkan bahwa nilai BOD yang memenuhi kriteria mutu air sungai kelas III adalah sepanjang 9,328 km. Nilai BOD dari hasil simulasi ini selanjutnya digunakan untuk menetapkan beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran pada **Tabel 2**.

Beban Pencemaran (BP) BOD Sungai Citarum hilir pada debit maksimum berkisar antara 19.215,94 kg/hari – 27.298,75 kg/hari, sedangkan BP yang diijinkan untuk sungai kelas I, II, III dan IV berturut-turut adalah 7.344 kg/hari, 11.016 kg/hari, 22.032 kg/hari dan 44.064 kg/hari.

Tabel 2. Daya tampung beban pencemaran BOD pada debit maksimum

Lokasi	Jarak (km)	Beban Pencemaran BOD (Kg/hari)	Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP)			
			Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
Segmen 1	2,490	19.215,94	-11.871,94	-8.199,94	2.816,06	24.848,06
Segmen 2	3,244	19.232,10	-11.888,10	-8.216,10	2.799,90	24.831,90
Segmen 3	3,594	22.463,83	-15.119,83	-11.447,83	-431,83	21.600,17
Segmen 4	1,84	27.298,75	-19.954,75	-16.282,75	-5.266,75	16.765,25
Segmen 5	6,532	27.298,75	-19.954,75	-16.282,75	-5.266,75	16.765,25

Jika dibandingkan dengan BP yang diijinkan untuk sungai kelas I dan II, maka seluruh segmen Sungai Citarum hilir tidak memiliki DTBP baik kelas I dan kelas II. Sedangkan jika dibandingkan dengan BP yang diijinkan untuk kelas III dan IV, lokasi yang memiliki DTBP adalah segmen 1 (Bendungan Walahar) sebesar 2.816,06 Kg/hari (2,49 Km) dan segmen 2 sebesar 2.799,90 Kg/ hari (3,244 km). Peningkatan debit berdampak pada peningkatan kualitas Sungai Citarum. Pada saat debit minimum (1,9m³/detik) dinaikan menjadi debit maksimum (42,5m³/detik), lokasi sungai yang memenuhi sungai kelas III meningkat 32,39 % dari 0 km menjadi 5,734 km, dan yang memenuhi sungai kelas IV meningkat 100% dari 0 km menjadi 17,7 km.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, parameter BOD, COD, senyawa Amonia, Nitrit, Nitrat, pH, TDS dan kekeruhan tidak memenuhi kriteria mutu air kelas II. Nilai Indeks Pencemaran sungai Citarum hilir (Bendungan Walahar-Jl. Rumah Sakit) berstatus cemar ringan sampai berat. Terendah terdapat pada stasiun 1 (bendungan walahar) katagori bersih dan tertinggi pada stasiun 5 katagori tercemar berat. Hasil analisa pada beban pencemaran menunjukkan bahwa limbah Industri menempati prosentase tertinggi sebesar 92,35%, ktivitas penduduk/domestik sebesar 7,54%, peternakan 0,09% dan pertanian 0,01%. Berdasarkan hasil pemodelan WASP, menunjukkan bahwa Sungai Citarum hilir pada kondisi debit minimum (1,6 m³/s) di musim kemarau tidak memiliki daya tampung beban pencemaran (DTBP) untuk parameter BOD. Pada saat debit minimum (1,6 m³/detik) dinaikan menjadi debit maksimum (42,5 m³/detik), lokasi sungai yang memenuhi sungai kelas III meningkat 32,39 % dari 0 km menjadi 5,734 km, yang memenuhi sungai kelas IV meningkat 100% dari 0 km menjadi 17,7 Km.

Daftar Pustaka

- Chapra, S. C. (1997): *Surface Water-Quality Modelling*. McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- Chuersuwan, N., Nimrat, S., & Chuersuwan, S. (2013): *Empowering Water Quality Management in Lamktakhong River Basin, Thailand Using WASP Model*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 6 (23): 4485-4491.
- Chen, C., Lung, W., Li, S., & Lin, C. (2012): *Technical Challenges with BOD/DO Modelling of Rivers in Taiwan*, Journal of Hydro-environment Research, Vol 6 (2012), 3-8.
- Effendi, H. (2003): *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Cetakan Kelima, Yogyakarta, Kanisius.
- Hasibuan, H., N. (2013): *Kajian Kualitas Air dan Simulasi Transpor Kromium (Cr) di Perairan Terbuka (Studi Kasus Air Sungai Deli Serdang, Medan)*. Tesis, Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Hindriani, H. (2013): *Kajian Peningkatan Kualitas Air Sungai Citarum Berdasarkan Parameter Senyawa Aox (Adsorbable Organic Halides) Dengan Model WASP (Water Quality Analysis Simulation*

- Program) Dan Model Dinamis*, Disertasi, Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.
- Hindriani, H., Sapei, A., Suprihatin, & Machfud. (2013): *Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Citarum dengan Model WASP dan Strategi Pengendaliannya*. Jurnal Bumi Lestari, Vol 13 (2), 275-287.
- Mahyudin, dkk (2015). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. J PAL, Vol. 6, No.2, ISSN: 2087-3522
- Wiwoho (2005): *Model Identifikasi Daya Tampung Beban Cemar Sungai Dengan Qual2e (Study Kasus Sungai Babon)*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Republik Indonesia. (2001): *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2003): *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2003): *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air*. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2010): *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air Menteri Negara Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2014): *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Salmin. (2005): Oksigen Terlarut (DO) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. Oseana. Vol 30 (3), 21 – 26p