

PEMULIHAN KUALITAS AIR SUNGAI CILIWUNG MENGUNAKAN MODEL KUALITAS AIR

Iskandar A. Yusuf

Peneliti, Puslitbang Sumber Daya Air

Jl. Ir. H. Juanda No. 193, Bandung

E-mail : iayusuf@yahoo.com

Diterima : 23 Juni 2009; Disetujui : 30 Juli 2009

Abstract

In Ciliwung River, pollutant sources coming from domestic waste, breeding, and industry with total waste load of about 212 ton BOD/day and estimated in the year 2020 will reach 280 ton BOD/day. Whereas, discharge in Katulampa weir of 10.24 m³/s and 195 m³/s as minimum and maximum discharge respectively, indicate that Ciliwung water quality is very heavily polluted especially in the dry season after passing Bogor Municipality until Jakarta Bay. The water quality modeling applied a finite segment method calibrated with spatial variation at one time by using real time sampling water quality data in order to obtain accurate results of model calibration. Recovery strategies for the existing very heavily polluted water quality shall apply a water quality target program that has to be completed by the end of the year 2020. Study results recommend a recovery applying a short-term program up to the year 2012 as preparation stage for restructuring water quality and reviewing the waste load permit. Whereas, the mid-term program shall put into effect the waste water permit for domestic and industry activities, and wastewater treatment plant performance auditing. The long-term program shall concentrate on hazardous waste disposal and application of clean industrial technology.

Keywords: *Water quality modeling, Water quality target program, Ciliwung River.*

PENDAHULUAN

1 Latar Belakang

Sungai Ciliwung merupakan sungai lintas provinsi yang secara administratif berada dalam wilayah Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta. Sungai ini bersumber dari Telaga Warna di kaki Gunung Pangrango daerah Puncak Kabupaten Bogor, yang mengalir melalui Kota Bogor, Kota Depok, dan bermuara di Teluk Jakarta. Luas daerah aliran sungai (DAS) ± 425 Km² dengan panjang sungai sekitar 120 Km¹).

Sungai ini merupakan sungai yang sangat vital untuk memenuhi kebutuhan air baku masyarakat Jawa Barat dan DKI Jakarta. Namun sungai beserta anak-anak sungai ini mengalir melalui daerah perdesaan, perkotaan, industri, dan persawahan, sehingga kualitas air sungai ini terutama di wilayah DKI Jakarta sudah tercemar amat sangat berat.

Sehubungan dengan hal tersebut dalam rangka

pemulihan kualitas air S. Ciliwung, maka diperlukan suatu kajian pemodelan kualitas air untuk digunakan sebagai alat dalam mensimulasi berbagai skenario beban pencemaran guna mendapatkan suatu konfigurasi beban pencemaran yang optimal sesuai dengan kemampuan atau karakteristik dari masing-masing ruas/segmen sungainya agar secara proporsional dapat dimanfaatkan seimbang antara daya dukung dengan beban pencemaran yang dipikulnya.

2 Tujuan dan Sasaran

Tujuan dari studi ini adalah untuk melakukan pemodelan kualitas air untuk digunakan sebagai *tool* dalam mensimulasikan beban pencemaran yang masuk ke ruas sungai yang sarasannya untuk merumuskan upaya pemulihan kualitas air S. Ciliwung yang aplikatif.

3 Lokasi

Studi ini dilaksanakan pada DAS Ciliwung

yang berbatasan di sebelah Barat dengan DAS Cisadane, di sebelah Timur dengan DAS Sunter, Bekasi juga Citarum, dan di sebelah Selatan dengan DAS Cimandiri.

TINJAUAN PUSTAKA

Berbagai literatur yang diacu dalam studi ini diantaranya:

- 1) Studi Pengkajian Klasifikasi Air Sungai pada Enam DAS Di Jawa Barat dengan Model Indeks Dampak Pencemaran Air (MIDPA), tahun 2003, tujuh lokasi pemantauan kualitas air menyatakan bahwa indeks dampak pencemaran air untuk berbagai pemanfaatan di S. Ciliwung sudah berada dalam kisaran tercemar berat sampai sangat berat²⁾.
- 2) Studi Parameter Spesifik Dampak Pencemaran Air Sungai, tahun 2004, parameter pencemar spesifik pada umumnya yaitu koli tinja, Nitrit, Fosfat dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), sehingga untuk mengurangi beban pencemaran domestik dari Kota Bogor yang masuk ke S. Ciliwung perlu dibuat instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik komunal atau terpusat atau juga instalasi pengolahan limbah tinja (IPLT)³⁾.
- 3) Pada tahun 2004, telah ditanda-tangani kesepakatan bersama Kepala Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) DKI Jakarta, Kepala BPLHD Jawa Barat, Kepala Dinas Tata Ruang dan Dinas Lingkungan Hidup (LH) Kabupaten Bogor, Kepala Kantor Pengendalian LH Kota Bogor, Kepala Bagian LH Kota Depok tentang kerjasama pengendalian pencemaran air (PPA) dan kerusakan DAS Ciliwung dalam rangka pelaksanaan Program Kali Bersih (Prokasih). Realisasi kesepakatan ini belum mencapai tujuannya yaitu PPA S. Ciliwung. Sebagai tindak lanjut dari kesepakatan ini sedang disusun *Master Plan Pemulihan Kualitas Air* (MPKA) S. Ciliwung⁴⁾ yang berikutnya akan ditetapkan sebagai Peraturan Presiden.
- 4) Pada Status Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI), tahun⁵⁾2007, indeks pencemaran air

(KepMen LH No.115 tahun 2003) untuk S. Ciliwung sejak dari hulu sampai hilirnya sudah tercemar berat.

Semua referensi tersebut menyatakan bahwa S. Ciliwung telah tercemar berat, walaupun telah ada rancangan MPKA S. Ciliwung untuk menurunkan beban pencemaran namun masih bersifat perkiraan kasar, maka perlu dilakukan studi pemodelan kualitas air ini untuk membuat *tool* model yang dapat digunakan dalam mensimulasi besaran beban pencemaran yang dapat dipikul untuk masing-masing segmen sungai secara proporsional dengan daya tampungnya.

METODOLOGI

Berbagai metode yang digunakan dalam pemodelan kualitas air S. Ciliwung ini adalah sebagai berikut:

- 1) Transfer beban pencemar menjadi besaran kadar zat pencemar di masing-masing sel dan ruas sungai dilakukan oleh model kualitas air satu dimensi untuk multi parameter dengan metode beda hingga dari Model Eulerian⁶⁾:

keterangan:

C : Konsentrasi/kadar KA [M.L⁻³]

U : Kecepatan longitudinal [L.T⁻¹]

E : Koef. dispersi longitudinal [L².T⁻¹]

S : Formulasi kinetik parameter [M.L⁻³T⁻¹]

X : Jarak longitudinal sungai [L] dan

t : Waktu [T]

- 2) Pelaksanaan sampling kualitas air dilakukan dengan metode *real time* (tepat waktu) dan waktu pelaksanaan samplingnya yaitu pada kondisi debit di bagian hulu sampai hilirnya masuk pada rentang besaran (80% - 120%) dari besaran debit aliran rendah;

HASIL PENELITIAN

1 Tata Air

Pelaksanaan survei pendahuluan dilakukan

Tabel 1 Lokasi, Waktu Pengambilan - Jenis Sampel dan Debit S. Ciliwung

No.	Lokasi di S. Ciliwung	Km	Waktu	Q	GPS		Debit	KA-1	KA-2	BODx	Lumpur
					LS	BT					
Tgl. 19-Nov-05											
1	Masjid At-Ta'awun	0.00	8:10	0.034	06°41'56"	106°59'14"	√	√	-	√	-
2	Sebelum S. Cisampay	4.0	10:27	0.845	06°41'15"	106°57'29"	√	-	√	-	-
3	*S. Cisampay, Cisampay		10:35	0.247	06°41'08"	106°57'30"	√	√	-	√	-
4	*S. Cikamser		11:03	0.124	06°41'07"	106°57'22"	√	-	√	-	-
5	*S. Cipamubutan		11:45	0.152	06°41'01"	106°56'55"	√	-	√	-	-
6	Jl.Hankam, Jogjogan	9.0	13:14	2.411	06°40'00"	106°55'58"	√	-	√	-	-
7	*S. Cisarua, Kp. Kopo satu		14:52	0.048	06°40'25"	106°55'49"	√	-	√	-	-
8	Jembatan Cisarua	13.0	15:14	3.978	06°39'15"	106°54'36"	√	√	-	√	√
9	Jembatan Cipayang	14.2	15:36	4.552	06°39'28"	106°53'19"	√	-	√	-	-
10	*Cibogo,Jl.Diklat PLNCipayang		16:04	0.995	06°39'17"	106°52'38"	√	-	√	-	-
11	Jembatan Gadag	17.4	17:02	5.490	06°39'12"	106°52'10"	√	√	-	√	-
12	*S. Ciesek, Gadag		17:06	2.530	06°39'05"	106°52'04"	√	-	√	-	-
13	Bd. Katulampa	21.5	19:53	8.460	06°37'59"	106°50'13"	√	√	-	√	√
14	* S. Cibudig, blk. PT.Unitex		20:51	0.030	06°37'55"	106°49'46"	√	-	√	-	-
15	Jembatan Sukasari, Bogor	23.7	21:14	8.741	06°37'02"	106°48'54"	√	-	√	-	-
16	*S. Cibalok, Kp. Empang		22:46	0.207	06°36'24"	106°47'42"	√	-	√	-	-
Tgl. 20-Nov-05											
17	Jembatan Satuduit, Bogor	31.6	00:01	16.915	06°03'02"	106°48'27"	√	-	√	-	-
18	*S. Cipakancian, Satuduit		00:03	4.649	06°34'06"	106°48'23"	√	-	√	√	-
19	Jembatan Kedunghalang	32.2	00:16	21.602	06°33'46"	106°48'32"	√	√	-	√	√
20	*S. Cibuluh, Kedunghalang		00:52	1.099	06°33'16"	106°49'08"	√	-	√	-	-
21	*S. Cipari, Ds.Leuwimalang		1:44	0.110	06°40'19"	106°55'56"	√	-	√	-	-
22	*S. Cipari, Ds.Leuwimalang		1:44	0.110	06°40'19"	106°55'56"	√	-	√	-	-
23	Pasir Jambu	35.2	2:18	16.423	06°31'59"	106°48'17"	√	-	√	-	-
24	*Sal.ParakanKembang,Ps.Jambu		2:40	0.032	06°31'54"	106°48'31"	√	-	√	-	-
25	*Sal. JLR, Kp.Kaumpandak		3:01	0.010	06°31'31"	106°48'32"	√	-	√	-	-
26	Jmb. Gantung Batugede	36.4	3:32	7.215	06°31'27"	106°48'13"	√	-	√	√	√

Tabel 1 Lokasi, Waktu Pengambilan - Jenis Sampel dan Debit S. Ciliwung

No.	Lokasi di S. Ciliwung	Km	Waktu	Q	GPS	Debit	KA-1	KA-2	BODx	Lumpur
27	Jmb. Gantung Bumi Pertiwi	37.8	4:39	9.772	06°30'10"	106°48'02"	✓	✓	-	-
28	*Outlet-1SituCikaret,Jmb.Manisot		8:16	1.192	06°28'00"	106°50'09"	✓	✓	-	-
29	*Outlet-2 Situ Cikaret, Pintu air		8:24	0.100	06°28'08"	106°50'01"	✓	✓	-	-
30	Jmb. CH-Bambu Kuning	43.5	8:37	11.739	06°28'57"	106°48'51"	✓	✓	✓	✓
31	Sukahati	47.5	11:14	11.984	06°28'44"	106°48'51"	✓	✓	-	-
32	*Hulu S.Ciuar, Kp. Neglasari		12:20	0.112	06°33'02"	106°49'10"	✓	✓	-	-
33	*Ciuar-2, Pemda Bogor		12:28	0.249	06°28'31"	106°49'25"	✓	✓	-	-
34	*Ciuar-1, Kp. Cipayang	49.5	13:16	2.860	06°28'29"	106°49'11"	✓	✓	✓	-
35	Pondok Rajeg, Kp. Panjang	53.0	14:17	12.735	06°27'04"	106°49'00"	✓	✓	-	-
36	Pondok Rajeg , Pndok Terong	54.7	15:07	15.802	06°26'12"	106°48'52"	✓	-	✓	✓
37	Pondok Rajeg, Kambang	58.0	16:36	20.912	06°25'41"	106°48'53"	✓	✓	-	-
38	Ratujaya/Kota Kembang	59.8	17:24	22.449	06°24'41"	106°49'07"	✓	✓	-	-
39	*Cikumpa, Kp. Serab		19:01	2.136	06°24'29"	106°50'00"	✓	✓	-	-
40	Jembatan Panus (Depok)	62.3	19:16	25.292	06°24'02"	106°49'55"	✓	-	✓	✓
41	Komp. Pesona Khayangan	65.8	20:47	25.335	06°22'59"	106°49'55"	✓	✓	-	-
42	*S. Cisugutamu, Cimanggis		21:37	0.883	06°22'35"	106°50'32"	✓	✓	-	-
43	Cimanggis	67.9	22:08	26.378	06°22'28"	106°50'28"	✓	✓	-	-
Tgl.	21-Nov-05									
44	Jembatan Kalapa Dua	73.0	00:18	26.462	06°21'19"	106°50'09"	✓	-	✓	✓
45	Cijantung	84.5	5:44	26.751	06°18'05"	106°51'15"	✓	✓	-	-
46	Jembatan Kalibata	100.8	3:58	28.850	06°24'35"	106°48'58"	✓	✓	-	-
47	*Kalimati, Bukit Duri		4:48	0.610	06°12'48"	106°51'30"	✓	✓	-	-
48	Jembatan Bukit Duri	103.6	5:03	32.673	06°13'32"	106°51'48"	✓	✓	✓	-
49	Manggarai (Pintu Air)	108.3	6:57	45.432	06°12'28"	106°50'55"	✓	✓	-	✓
50	ISTIQLAL	112.8	13:54	22.042	06°10'18"	106°48'53"	✓	✓	-	-

Keterangan:

KA-1 : Parameter Kualitas Air sesuai dengan PP No.82/2001 (tanpa pestisida, radiologi) dan beberapa parameter khusus

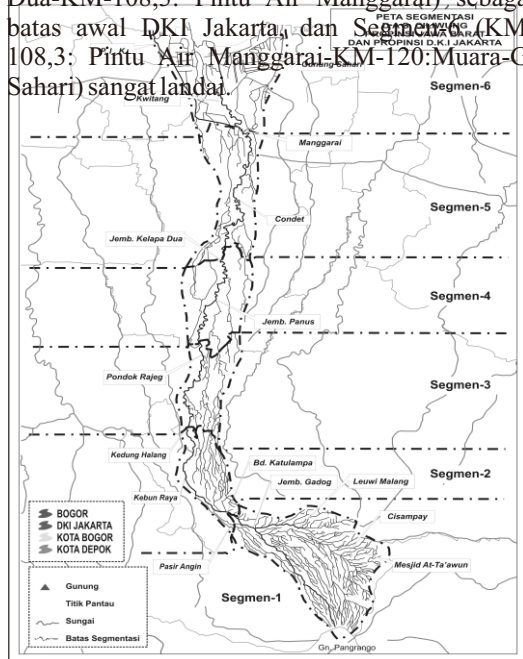
KA-2 : Parameter Kualitas Air sesuai dengan kebutuhan model kualitas air

BODx : Pengukuran DO harian selama 12 hari

* : Anak S.Ciliwung

sambil *ground check* kondisi tata air S. Ciliwung secara langsung dengan *tracing* sungai dari hulu sampai hilirnya. Hulu S. Ciliwung merupakan daerah resapan air yang kemudian baru dapat dilihat sebagai saluran air yaitu pada lokasi Mesjid At-Ta'awun, Puncak.

Kondisi morfologi sungai ini (lihat Gambar 1) yaitu Segmen-1 (KM-0:Hulu – KM-21,5: Bd. Katulampa) merupakan sungai berbatu dengan kemiringan dasar sungainya cukup terjal dan sedikit angkutan sedimen maupun sampah anorganik, kemudian Segmen-2 (KM-21,5: Bd. Katulampa–KM-32,2: Jembatan Kedung Halang) mempunyai trase relatif lurus dengan angkutan sedimen bercampur sampah anorganik juga limbah domestik yang bercampur sedikit limbah industri; Segmen-3 (KM-32,2: Jembatan Kedung Halang–KM-58,0: Pondok Rajeg-Kambangan) mempunyai trase yang mulai berkelok-kelok kecil; Segmen-4 (KM-58,0: Pondok Rajeg-Kambangan-KM-73,0:Jembatan Kelapa Dua) yang berkelok-kelok sedang sampai besar dengan angkutan sedimen yang cukup tinggi serta limbah domestik dan industri yang semakin hilir semakin mencemari berat. Ujung akhir segmen ini merupakan batas akhir dari Provinsi Jawa Barat. Kemudian Segmen-5 (KM-73,0: Jembatan Kelapa Dua-KM-108,3: Pintu Air Manggarai) sebagai batas awal DKI Jakarta, dan Segmen-6 (KM-108,3: Pintu Air Manggarai-KM-120: Muara-G. Sahari) sangat landai.

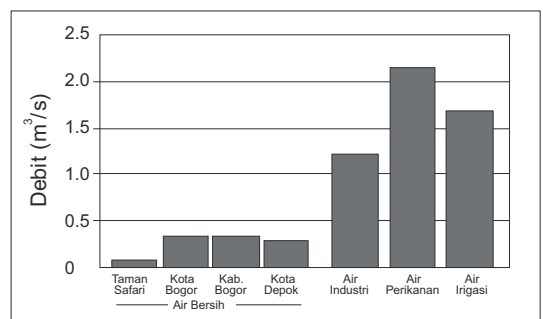


Gambar 1 Peta S. Ciliwung

Berdasarkan hasil pengolahan data debit harian rata-rata dari tahun 1990 s.d 2005 di Bd. Katulampa Bogor, debit rata-rata adalah 10,24 m³/s dan debit maksimum adalah 195,0 m³/s. Beberapa bendung yang ada di S. Ciliwung ini antara lain: Bd. Katulampa, Bd. Citarim, Bd. Cikao, dan Bd. Cikemasan. Sungai ini mempunyai banyak anak sungai yang diantaranya: Cisampay, Ciesek, Ciseusepan, Cipakancilan, Ciluar, dan Cisugutamu. Sarana pemantauan debit otomatis hanya terdapat di dua lokasi yaitu di Bd. Katulampa dan Depok. Namun untuk keperluan pengamatan tinggi muka air ditambah cukup banyak papan duga air untuk melengkapi data debit harian rata-rata guna penghitungan debit aliran rendah dari masing-masing lokasi atau ruas sungainya.

2 Pemanfaatan Sumber Air

S. Ciliwung di Provinsi Jawa Barat yaitu sampai Kelapa Dua berfungsi sebagai sumber air untuk berbagai pemanfaatan diantaranya air minum, irigasi, perikanan, industri, dan di DKI Jakarta sampai Bd. Manggarai sebagian dialirkan ke Saluran Tarum Barat sebagai suplesi untuk air minum dan pengendalian banjir Kota Jakarta, dan juga S. Ciliwung lanjutannya digunakan untuk flushing Kota Jakarta (lebih dari 10 m³/s) mengalir sampai Masjid Istiqlal yang kemudian terbagi menjadi yang menelusuri Jl. Gajah Mada dan yang menelusuri Jl. Gn. Sahari. Pemanfaatan air S. Ciliwung seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemanfaatan Air S. Ciliwung

3 Pengukuran Debit dan Pengujian Kualitas Air

Penentuan lokasi pengukuran debit dan kualitas air berdasarkan kebutuhan pemodelan yaitu perlu diketahui besaran parameter kinetik

dan stohiometrik modelnya, sehingga penentuan lokasinya diperlukan cukup banyak yaitu 60 lokasi pengukuran debit dan kualitas air. Hal ini diperlukan dalam rangka kalibrasi parameter model yang diharapkan hasilnya akan cukup akurat. Secara keseluruhan lokasi untuk berbagai keperluan serta waktu sampling kualitas air guna keperluan pemodelan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan rencana pemodelan kualitas air tersebut, berbagai kondisi dan keperluan pemodelan ditetapkan adalah sebagai berikut:

- a. Pengambilan sampel kualitas air dan pengukuran debit pada sungai utama S. Ciliwung secara tepat waktu sebanyak 35 lokasi. Pengambilan sampel kualitas air dan pengukuran debit pada anak-anak S. Ciliwung untuk beban pencemaran yaitu 25 lokasi;
- b. Pengambilan sampel lumpur dan pengukuran DO lumpur yaitu 10 sampel pada 10 lokasi yaitu pada bagian hulu diambil 1 sampel sebagai kondisi awal pada lokasi Bd. Katulampa, untuk bagian tengah 3 sampel, dan bagian hilir 6 sampel;
- c. Pengambilan sampel untuk pengukuran DO- (3jam, 6jam, 12jam, hari-1, hari-2.....hari-12) untuk penentuan koefisien urai BOD laboratorium pada lokasi *river input* dan lokasi titik pantau sebanyak 15 lokasi.

4 Potensi Beban Pencemaran Air

Pengumpulan data potensi beban pencemaran ini dimaksudkan untuk mempersiapkan input data model kualitas air. Potensi beban pencemaran yang ditinjau pada studi ini meliputi: limbah domestik, industri, peternakan dan pertanian, yang secara umum sebagai berikut:

1) Limbah Penduduk

Jumlah penduduk yang berada di DAS Ciliwung pada tahun 2004 adalah 8,4 juta jiwa dengan fasilitas permukiman tanki septik sekitar 38,4%; maka keseluruhan beban pada sumbernya sekitar 215 ton BOD/hari dan terdeteksi setelah mengurai pada saluran yang menuju ke S. Ciliwung menjadi sebesar 48,2%-nya.

Jumlah tersebut yang terbanyak adalah penduduk yang tinggal pada sub-DAS Ciluar yang melintasi Kab. Bogor di daerah padat Cibinong dan Kota Depok menuju S. Ciliwung yaitu sebanyak 983.908 jiwa, dan sisanya tersebar pada berbagai sub-DAS anak-anak S. Ciliwung dan

ruas-ruas sungai yang membuang limbahnya secara langsung ke badan air sungai. Dalam penelitian ini perhitungan beban limbah penduduk yang masuk ke S. Ciliwung didasarkan kepada data jumlah penduduk tanpa sarana penyaluran limbahnya dalam satuan penduduk ekuivalen (pe). Efluen dari tanki septik diasumsikan sebesar 30%-nya sebagai tambahan beban pencemaran yang dibuang ke badan sungai.

Tingkat emisi pencemaran air sangat erat hubungannya dengan tingkat sosial ekonomi dari masyarakatnya, maka untuk perhitungan beban pencemaran perlu diketahui dan diperkirakan jumlah dan klasifikasinya, untuk ini komposisi klasifikasi emisi beban pencemaran penduduk seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi klasifikasi emisi beban pencemaran penduduk

No	Tahun	Rendah	Sedang	Tinggi
	2005	62 %	29 %	9%
	2010	40%	45%	15%
	2020	35%	50%	15%

2) Limbah Pertanian

Berdasarkan data tahun 2000, di DAS Ciliwung terdapat sawah seluas 26.700 ha irigasi teknis yang ditanami sepanjang tahun yang pada umumnya berpola tanam (*cropping pattern*) padi-palawija-padi. Tanaman padi ini banyak menggunakan pupuk N, P dan K serta pestisida. Penggunaan pupuk pada umumnya dengan komposisi 100 kgN : 50 kgP : 50 kgK dan 1L pestisida untuk perhektar/musimnya. Pupuk tersebut sebagian besar diserap oleh tanah dan tanaman yang diperhitungkan efektif 80%, sehingga yang terbawa air hujan masuk ke perairan sebanyak 20%, akan tetapi pada musim kemarau diperhitungkan hanya sebesar 5% saja yang terbawa oleh aliran air bawah tanah.

Pada akhir musim panen, setiap ton sisa jerami padi yang membusuk menghasilkan 30 kg BOD. Beban pencemaran diperhitungkan sebesar 50% dan 25% untuk musim hujan dan peralihan akan terbawa oleh aliran air menuju S.Ciliwung. Perhitungan potensi beban pencemaran akibat pupuk ini didalam suatu periode waktu musim tanam yang dilakukan sebanyak 2 atau 3 kali,

sehingga beban pencemaran yang diperhitungkan dalam pemodelan diasumsikan pada kondisi terberat yaitu pada hari pertama pemupukan terjadi limpasan yang masuk ke S. Ciliwung pada musim hujan dan peralihan.

3) Limbah Ternak

Pada DAS Ciliwung terdapat peternakan yang umumnya skala rumah tangga untuk ternak Sapi, Kerbau, Kuda, Kambing, Domba, Babi, Ayam dan Itik. Berdasarkan pendataan pada tahun 2004, maka jumlah ternak yang terbanyak adalah ternak ayam yaitu sebanyak 5.001.198 ekor yang kemudian Itik sebanyak 276.122 ekor, kemudian Domba sebanyak 52.121 ekor dan Sapi sebanyak 45.373 ekor, dan yang sisanya berbagai jenis ternak lainnya.

Data ternak tersebut apabila dibandingkan dengan data ternak pada tahun 1990, maka terdapat pertumbuhan sekitar 1% – 2,5% pertahun. Beban pencemaran limbah ternak yang masuk ke perairan S. Ciliwung diperhitungkan sebesar 20% pada tahun 2005 s/d 2010, sebesar 15% pada tahun 2010 s/d 2020 dan sebesar 10% setelah tahun 2020.

4) Limbah Industri

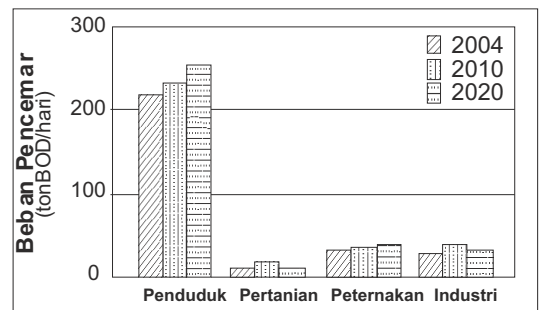
Pada tahun 2004 di DAS Ciliwung terdapat tidak kurang dari 40 buah industri khususnya industri tekstil dalam jumlah kecil tapi bersekala besar dan sisanya berbagai jenis lainnya yang umumnya industri kecil. Di bagian hilir yaitu daerah Cibinong dan Depok industri tekstil tersebut sangat mempengaruhi karakteristik air limbahnya. Apabila jenis pencemaran industri tersebut masih didominasi oleh industri tekstil, maka diperkirakan jenis industri inilah yang akan tetap dominan menjadi sumber pencemaran yang berasal dari Kabupaten/Kota Bogor dan Kota Depok.

Berdasarkan informasi Kabupaten Bogor dan Kota Depok, beban pencemar yang berasal dari bagian hulu hanya sekitar 0,255 ton BOD/hari. Sedangkan pada anak sungai Ciluar besaran beban pencemaran cukup signifikan yaitu sekitar 13,5 ton BOD/hari dan di daerah Cisugutamu sekitar 12,3 ton BOD/hari.

Pertumbuhan industri pada tiga tahun terakhir yaitu tahun 1998-2000, tren pertumbuhannya serta tingkat hunian lahannya meningkat. Sehingga beban pencemaran pada tahun 2004 adalah 28,84

ton BOD/hari dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 2,41% per tahun, maka beban pencemar untuk 2010 diperkirakan akan mencapai 40,5 ton BOD/hari. Namun untuk 2020 diperhitungkan adanya reduksi pertumbuhan baik disebabkan terbatasnya lahan serta ketatnya pengawasan pencemaran, sehingga pertumbuhan diperhitungkan hanya 2% per tahun maka pada tahun 2020 adalah sekitar 32,12 ton BOD/hari.

Berdasarkan berbagai jenis sumber pencemar di atas, beban pencemar secara keseluruhan seperti Gambar 3.



Gambar 3 Beban Pencemaran BOD S. Ciliwung

5 Pemodelan Kualitas Air

Pemodelan adalah suatu prosedur kerja untuk membuat suatu mekanisme proses transfer masuknya beban pencemar ke dalam suatu sel dari ruas sungai menjadi besaran kadar kualitas airnya. Mekanisme proses pemodelan, hasilnya perlu dicocokkan dengan hasil pengukuran lapangannya yang disebut kalibrasi. Proses kalibrasi umumnya dilakukan dengan cara iterasi, yang jika telah mencapai penyimpangan atau perbedaan antara hasil perhitungan model dengan kenyataannya sudah mencapai minimum atau telah mencapai tingkat kepercayaan tertentu yang diizinkan, maka dihasilkan besaran-besaran koefisien reaksi kinetik dari berbagai komponen model atau persamaan matematikanya. Setelah model terkalibrasi masih perlu dilakukan validasi sebagai tahapan lanjutan pengujian apakah model ini sudah handal sesuai dengan kenyataannya.

1) Daerah studi

Daerah studi dari S. Ciliwung dapat dilihat pada Gambar-1 yang menggambarkan potensi sumber daya air, sumber pencemar, dan batas pemodelan. Pemodelan kualitas air hanya

dilakukan pada sungai induknya saja. Batas stationing hulu pemodelan adalah Masjid At-Ta'awun (Km-0) dan batas hilirnya adalah Mesjid Istiqlal (Km-112,8) karena di hilir lokasi ini sudah dipengaruhi pasang surut.

Temperatur dan kadar *Dissolved Oxygen* (DO) jenuh didefinisikan sebagai kondisi batas yang ditentukan dari pengukuran lapangan pada km-0 (batas hulu), Bd. Katulampa (bagian tengah) dan Depok (batas hilir). Kondisi batas untuk pemodelan ini menggunakan harga maksimum dari ketiga lokasi tersebut baik untuk kalibrasi maupun validasi modelnya. Untuk pemantauan di daerah perbatasan, perlu lokasi pemantauan intensif diperbatasan wilayah propinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta yaitu sebelum dan sesudah Kelapa Dua (Km-72,62).

Pada sistem sungai ini sebetulnya sangat banyak terdapat lebih dari 30 efluen yang masuk sungai induk Ciliwung yaitu sekitar 23 anak sungai dan 14 saluran drainase. Namun dalam pemodelan ini hanya *river input* yang potensial saja yaitu 12 anak sungai dan 4 saluran drainase yang menerima limbah domestik, pertanian dan ternak. Sungai ke arah memanjang dibagi-bagi menjadi sel kecil yang didefinisikan sebagai satuan terkecil sungai yang mempunyai kesamaan parameter hidraulik yang berupa lebar basah sungai, kedalaman air, kecepatan aliran, koefisien kekasaran Manning, dan kemiringan dasar sungai. Sedangkan parameter kinetik berupa jenis zat pencemar, koefisien degradasi dan koefisien reaerasi sel sungai. Di dalam penentuan panjang sel akan lebih baik jika semakin pendek asalkan lebih panjang dari lebar sungainya.

James (1993) dalam Iskandar (2002) menyarankan untuk menggunakan sel dengan ukuran kecil untuk mencapai ketelitian tinggi. Anggapan *Steady-State* sering mendapatkan hasil yang tidak realistis untuk penggunaan sel yang besar, sehingga pemodelan ini dibatasi ukuran sel antara 0,1-1 km², maka pada pemodelan S. Ciliwung ini diambil ukuran sel 250 m adalah sangat dimungkinkan jika pelaksanaan pemodelan dilakukan secara bertahap yaitu maksimum 60 km mulai dari hulu kemudian dilanjutkan sampai batas akhir pemodelan yang berarti dilakukan pemodelannya sebanyak 2 kali. Pengelompokan sel yang mempunyai karakteristik kinetik yang sama dengan maksimum 20 sel membentuk satu buah ruas sungai pemodelan, maka dengan kriteria

ini, S. Ciliwung terbagi dalam 36 ruas (*reach*) sungai.

2) Karakteristik Hidraulik Sungai

Hubungan antara kecepatan (V), kedalaman air (H) dengan besar aliran (Q) yang berupa $V = f(Q)$ dan $H = f(Q)$ yang harus ditentukan terlebih dahulu untuk input pemodelan. Hubungan ini mungkin berbeda untuk masing-masing ruas sungai yang dikarenakan tidak samanya karakteristik penampang dan dasar sungai, seperti bentuk potongan melintang basah dan koefisien kekasaran Manningnya. Hubungan ini diformulasikan sbb:

$$V = aQ^b \text{ dan } H = cQ^d \dots\dots\dots(2)$$

keterangan:

V Kecepatan rata-rata [$L \cdot T^{-1}$];

H Kedalaman air rata-rata [L]; dan

a,b,c dan d adalah konstanta hidraulik.

3) Beban Pencemaran

Beban pencemaran yaitu merupakan hasil kali antara debit (m^3/s) dan kadar (mg/L) atau juga massa beban pencemar (ton/hari). Sumber beban pencemar dapat berupa titik (*point*) atau menyebar (*diffuse*). Didalam kenyataannya sumber menyebar itu sangat sulit untuk dianalisis secara tepat, tetapi untuk beban ini digabungkan sebagai beban *incremental* (seperti *seepage* atau *base flow*).

Beban pencemaran untuk pelaksanaan kalibrasi menggunakan beban pencemaran yang berasal dari hasil kali antara debit dengan kadarnya. Namun untuk beban perkiraan di masa yang akan datang yang dihitung berdasarkan potensi beban pencemaran yang berada di sumber-sumbernya, yang dihitung berdasarkan hasil kali antara potensi beban pencemar dengan koefisien transfer beban pencemarannya, sedangkan debit aliran pada sungai utama S. Ciliwung menggunakan debit rencana daya dukung kualitas air yang diambil dari debit aliran rendahnya suatu lokasi/ruas sungai bersangkutan.

ANALISIS DAN EVALUASI

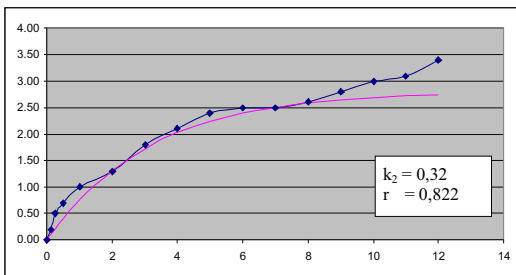
Proses kalibrasi ini dimaksudkan untuk mendapatkan besaran-besaran parameter sistem model dan koefisien kinetik untuk berbagai

parameter. Kalibrasi adalah mencocokkan nilai hasil perhitungan model dan hasil pengukuran dengan mengubah-ubah parameter kinetik modelnya. Hal ini bukan hanya sekedar *curve fitting* secara matematik dari sistem respon yang dimodelkan namun merupakan juga suatu upaya untuk menemukan nilai-nilai parameter model yang sesuai dengan teoritisnya.

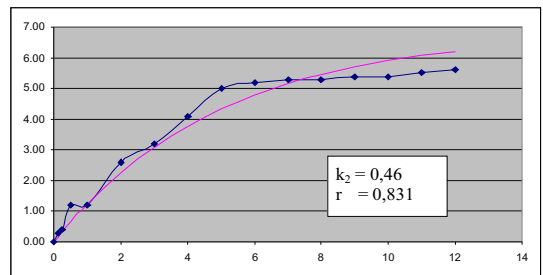
Pada studi ini, proses kalibrasi sesuai dengan anggapan *steady state* menggunakan sistem satu saat dengan variasi tempat (*spatial variation at one time*). Sebelum pelaksanaan kalibrasi berbagai parameter kualitas air, pertama-tama setting awal adalah mengkalibrasi debit yang harus tepat betul atau dengan toleransi kesalahan < 3% untuk menghindari galat pada kalibrasi masing-masing parameter kualitas air berikutnya. Secara umum proses kalibrasi ini adalah mengestimasi parameter-parameter model dengan

membandingkan nilai hasil perhitungan model pada tempat-tempat tertentu yang diketahui kondisinya. Kalibrasi harus dilakukan untuk keseluruhan parameter kualitas air khususnya yang saling ketergantungan, dimulai dari parameter kualitas air yang tidak dipengaruhi oleh parameter lainnya, sehingga dalam studi ini DO dikalibrasi paling akhir setelah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan lainnya.

Berdasarkan studi parameter spesifik kritis untuk S. Ciliwung adalah Koli Tinja atau Koli Total, BOD dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), namun parameter yang dibahas hanya BOD saja yang dianggap dapat mewakili informasi tingkat pencemaran yang terjadi sebenarnya. Pada studi ini diteliti pengukuran DO harian pada 10 lokasi untuk mengetahui koefisien urai BOD baku laboratorium yang diantaranya seperti pada Gambar 4.



a) Masjid At-Ta'awun



b) Bd. Katulampa

Gambar 4 Grafik BOD sebagai fungsi waktu

1 Kalibrasi Debit

Kalibrasi debit merupakan awal yang sangat penting. Kalibrasi sangat memperhatikan keseimbangan masa air yang memperhitungkan debit incremental atau debit aliran yang masuk secara random dari samping-samping sungai baik air permukaan atau juga *groundwater seepage*. Hasil kalibrasi ini dapat dilihat pada Gambar 5 dengan tingkat kehandalan lebih dari 97%.

2 Kalibrasi BOD

Kalibrasi parameter BOD perlu memperhatikan koefisien urai BOD, reaerasi, settling BOD dan kebutuhan oksigen dasar sungai. Penghitungan parameter kinetik model dimulai dari koefisien urai BOD baku laboratoriumnya untuk masing-masing ruas sungainya, namun jika masih belum cocok maka

diubah-ubah sedikit untuk penghalusan. Hasil kalibrasi ini dinilai cukup baik yaitu mencapai tingkat kehandalan lebih dari 95% seperti pada Gambar 6.

3 Validasi Model

Proses validasi ini dimaksudkan untuk meyakinkan bahwa parameter kinetik model yang telah dikalibrasi adalah sudah handal dan dapat digunakan secara tepat untuk berbagai fluktuasi kondisi dari sistem modelnya. Proses ini lebih ke arah membandingkan hasil perhitungan model dengan hasil pengukuran untuk berbagai alternatif fluktuasi kondisi dari sistem model dengan menggunakan set data lain yang berbeda kondisinya. Semakin kecil variansi penyimpangan antara perhitungan model dengan hasil pengukuran berarti semakin tinggi tingkat

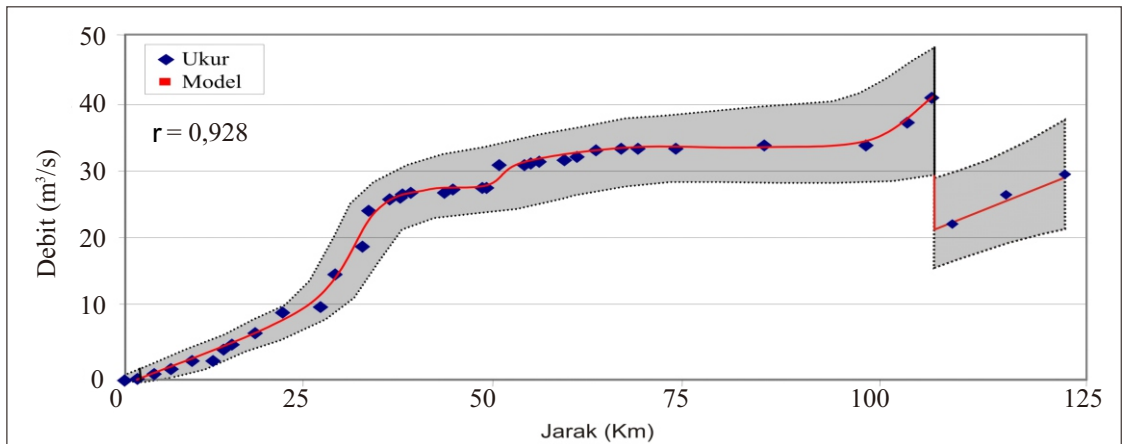
kehandalan modelnya. Untuk pelaksanaan kalibrasi dengan menggunakan kondisi kering atau kemarau yaitu dengan kondisi debit air kecil, temperatur tinggi, maka untuk data validasi harus menggunakan kondisi dengan debit air besar serta temperatur rendah yaitu data pada musim hujan.

Untuk beberapa parameter spesifik yang kritis ini telah dicoba dengan set data yang lain yaitu musim kemarau tahun 2002 dan musim hujan tahun 2003. Sayangnya data set ini tidak mempunyai pola pengukuran secara tepat waktu, maka diperoleh tingkat kehandalan untuk organik

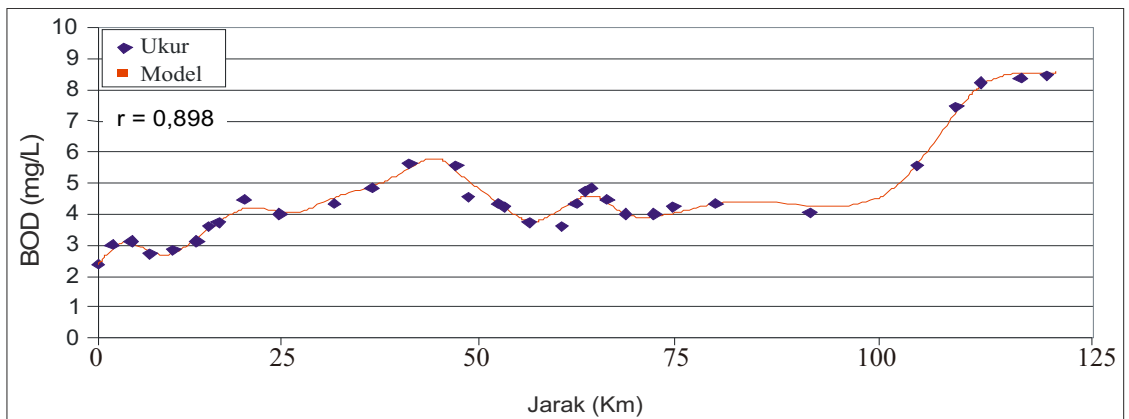
sekitar 80% dan apalagi untuk koli dan senyawa nitrogen dan fosfor sekitar 70% tetapi masih dinilai cukup layak.

4 Evaluasi Status Mutu Air

Status mutu air S. Ciliwung saat ini telah tercemar amat sangat berat terutama oleh bakteri koli untuk kriteria mutu air sebesar 2000 jml/100 mL dengan data aktual berada antara 8 s.d. 50 kalinya, dan juga telah tercemar organik yang mengindikasikan sudah terlampauinya daya tampung beban pencemaran (DTBP) S.Ciliwung.



Gambar 5 Kalibrasi Debit S.Ciliwung



Gambar 6 Kalibrasi BOD S. Ciliwung

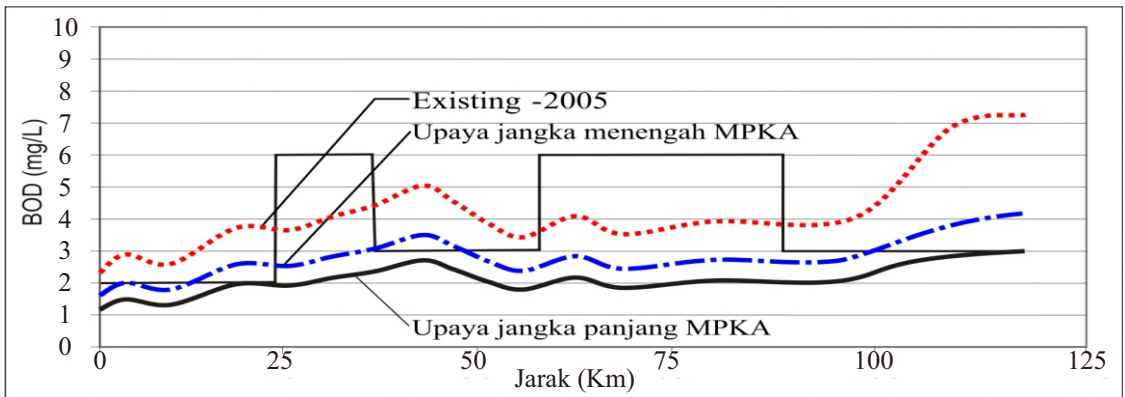
Strategi pengendalian untuk program jangka pendek yang merupakan tahap persiapan sampai dengan tahun 2012 yaitu restrukturisasi program pemulihan serta kaji ulang sistem perizinan pembuangan limbah yang ada. Sedangkan untuk program jangka menengah yaitu sampai dengan

tahun 2020, dengan menggunakan model kualitas air yang telah terkalibrasi, direncanakan semua limbah industri diolah pada tingkat sekunder yaitu efisiensi sekitar 80%-86% dan sekitar 60%-70% limbah penduduk diolah dengan tanki septik dan rencana IPAL Gabungan di Kota Depok, maka

terlihat ada penurunan beban pencemaran yang cukup signifikan sehingga status mutu air terutama bakteri koli turun pada kisaran < 2.000 jml/100mL dan pencemaran organik BOD ≤ 5 mg/L.

Untuk penyiapan program jangka panjangnya yaitu tahun 2020-2024 perlu diberlakukan peraturan lingkungan yang lebih ketat lagi agar semua limbah penduduk dan limbah ternak diolah

seluruhnya tanpa kecuali, diharapkan koli tinja dapat memenuhi < 1.000 jml/100mL termasuk bakteri yang berasal dari binatang liar walaupun pengendaliannya agak cukup menyulitkan. Selanjutnya pada tahun 2025 merupakan penerapan program pengelolaan kualitas air secara penuh yang berkesinambungan. Kondisi BOD dari fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Simulasi Program Jangka Menengah dan Jangka Panjang dari *Master Plan* Pemulihan Kualitas Air S. Ciliwung

PEMBAHASAN

Sesuai dengan PP No. 82/2001, jika status mutu air eksisting sudah sedemikian tidak dapat memenuhi kriteria mutu air, maka perlu dibuatkan perencanaan bertahap yaitu menerapkan program mutu air sasaran yang merupakan kondisi satu tingkat di atasnya dari kondisi eksisting. Hal ini bersesuaian pula dengan MPKA yang berupa Kesepakatan Bersama antara Pemerintah Propinsi Jawa Barat dengan DKI-Jakarta yaitu:

Dalam upaya pencapaian yang direncanakan secara bertahap ditetapkan mutu air sasaran untuk tahun 2008 yaitu ruas sungai :

- Kabupaten Bogor bagian hulu sebelum memasuki Kota Bogor adalah Kelas I
- Kota Bogor adalah kelas III
- Kabupaten Bogor setelah Kota Bogor sebelum Kota Depok adalah Kelas II
- Kota Depok adalah kelas III
- Jakarta bagian selatan sebelum Condet adalah kelas III
- Jakarta daerah perkotaan dibagian hilir mulai Condet adalah kelas II

Simulasi model ini menggunakan berbagai asumsi baik target pencapaian peningkatan kondisi

eksisting yang dibatasi oleh keterbatasan teknologi misalnya untuk mengolah air limbah industri dan domestik menggunakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang efisiensinya maksimum 80-86%.

Sehubungan dengan MPKA jangka menengah dan jangka panjang, masing-masing program harus menurunkan beban pencemaran sebesar ± 100 ton BOD/hari atau hanya berkurang sekitar 30% saja, hasil simulasinya seperti terlihat pada Gambar 7 serta disajikan pula hasil simulasi program jangka panjang.

Berdasarkan program tersebut maka diperlukan berbagai upaya PPA antara lain:

- 1) Program jangka menengah dan panjang yang masing-masing mengurangi beban pencemaran sebesar 100 ton BOD/hari perlu membuat program yang realistis.
- 2) Industri di DAS Ciliwung hanya 43%-nya saja yang mempunyai IPAL, untuk itu perlu peningkatan upaya pengawasan PPA dengan penegakan hukum yang lebih tegas bagi yang melanggar peraturan atau perundangannya.
- 3) Peningkatan partisipasi dan kesadaran masyarakat untuk memelihara sungai. Pola sosialisasi ditekankan betapa pentingnya sungai bagi kehidupan manusia. Masyarakat

- dapat menjadi alat kontrol pelaksanaan PPA yang cukup efektif apabila mereka sudah sadar.
- 4) Pembatasan pembangunan dan pengetatan izin industri baru, perluasan dan penambahan unit mesin produksi yang berpotensi air limbah, pengetatan kadar limbah cair, dan juga pemanfaatan teknologi bersih pada daerah ruas sungai yang tercemar berat.
 - 5) Peningkatan upaya Konservasi DAS untuk meningkatkan debit minimum dengan membangun embung ataupun penghijauan.
 - 6) Pemantauan kualitas air perlu dilaksanakan berkesinambungan untuk keperluan pengawasan dan evaluasi keberhasilan pelaksanaan MPKA.

KESIMPULAN

Dari studi ini, ada beberapa hal yang perlu disimpulkan yaitu:

- 1 S. Ciliwung merupakan sumber air yang sangat penting untuk Jawa Barat dan DKI sehingga perlu dilestarikan guna kelangsungan pemanfaatnya
- 2 DTBP S. Ciliwung pada saat ini sudah terlampaui sehingga mulai dari segmen-1 sampai 6 telah tercemar berat sampai amat sangat berat.
- 3 Untuk penanganan PPA yang efektif, maka perlu melaksanakan program PPA secara terintegrasi seperti dalam program MPKA S. Ciliwung oleh berbagai institusi terkait diantaranya Departemen PU, Meneg LH, Departemen Perindustrian, Departemen Kehutanan, BPLHD-Jabar dan DKI, Dinas LH Kab/Kota-Bogor dan Kota Depok, Dinas PSDA Jawa Barat, Dinas Tata Lingkungan Geologi Jawa Barat dan partisipasi masyarakat agar semua pihak harus mempunyai komitmen untuk menangani permasalahan lingkungan S. Ciliwung secara tuntas.

SARAN

Agar pelaksanaan PPA dapat berjalan sesuai dengan program dan pencapaian sasarannya perlu berbagai upaya sebagai berikut:

- a) Pembenahan program mutu air sasaran yang lebih realistis
- b) Review perizinan pembuangan air limbah yang disesuaikan dengan DTBP ruas/segmen sungai setempat
- c) Audit kinerja IPAL untuk menjamin terlaksananya penurunan beban pencemaran dalam rangka PPA sebelum dibuang ke sungai.
- d) Tersedianya sarana pemantauan air limbah pada industri untuk pengambilan contoh air secara mudah.
- e) Pembuangan limbah tinja baik secara individual, komunal atau gabungan yang berupa sarana IPAL penduduk dan juga IPAL industri agar memenuhi efluen yang ditetapkan.
- f) Pembuangan limbah B3 perlu ditangani secara baik.
- g) Pemanfaatan *Clean technology* dan penghematan air serta daur ulang air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Anonim (2004). *Status Mutu Air Sungai Indonesia: S. Citarum, S. Ciliwung, dan S. Cisadane*, Pusat Litbang SDA.
- 2 Anonim (2003). *Studi Pengkajian Klasifikasi Air Sungai Pada Enam DAS Di Jawa Barat Dengan Model MIDPA*, BPLHD-Jawa Barat.
- 3 Anonim (2004). *Studi Parameter Spesifik Dampak Pencemaran Air Sungai pada Enam DAS di Jawa Barat dengan model MIDPA*, BPLHD-Jawa Barat.
- 4 Anonim (2004) *Kesepakatan bersama Kepala BPLHD DKI Jakarta, Kepala BPLHD Jawa Barat, Kepala Dinas Tata Ruang dan L H Kabupaten Bogor, Kepala Kantor Pengendalian LH Kota Bogor, Kepala Bagian LH Kota Depok, tentang kerjasama PPA dan kerusakan DAS Ciliwung dalam rangka pelaksanaan Prokasih*.
- 5 Anonim (2008) *Status Lingkungan Hidup Industri (SLHI) 2007*, Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia.
- 6 Iskandar, A. Yusuf (2002). *Penerapan Model Kualitas Air Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air*, Hari Air Dunia. Jakarta.