

# PENGEMBANGAN KRITERIA STATUS MUTU EKOSISTEM DANAU SEBAGAI BAGIAN DARI INDIKATOR PENGELOLAAN TERPADU WILAYAH SUNGAI

Eko Winar Irianto<sup>1✉</sup>, Robertus Wahyudi Triweko<sup>2</sup>, Doddi Yudianto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Peneliti Madya Bidang Teknik Lingkungan SDA  
Pusat Litbang Sumber Daya Air, Jl. Ir. H. Juanda No.193 – Bandung

<sup>2,3</sup> Pengajar, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil,  
Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

✉E-mail: ekowinar@yahoo.com

Diterima: 4 Januari 2010; Disetujui: 28 April 2010

## ABSTRAK

*Tingginya laju pencemaran yang terjadi pada DAS yang mengalir ke dalam waduk akan berdampak kepada penurunan kualitas air di dalam waduk. Sehubungan dengan belum dirumuskannya status mutu ekosistem bagi waduk, studi ini menyajikan penilaian terhadap hasil capaian dalam pengelolaan DAS secara terpadu dengan memanfaatkan kriteria Status Mutu Ekosistem Danau (SMED) yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Dengan menggunakan data-data pada Waduk Saguling dan Waduk Sutami, diketahui bahwa ekosistem kedua waduk tersebut berada dalam kondisi terancam karena terbukti tidak bisa memenuhi kriteria SMED. Agar kriteria SMED dapat dimanfaatkan secara lebih komprehensif sebagai indikator dalam pengelolaan waduk, sejumlah kriteria perlu ditambahkan, antara lain: 1) penggabungan indikator alga biru dan biodiversitas dengan memanfaatkan kriteria indeks keanekaragaman; 2) penyesuaian indikator erosi lahan yang dikaitkan dengan desain rencana laju erosi waduk; 3) penggantian indikator dampak pendangkalan danau dengan indikator dampak pendangkalan waduk yang dikaitkan dengan persentase volume tampungan mati; 4) penggabungan indikator pengambilan air untuk PLTA dan air baku terkait dengan desain hidrologi dan neraca air; 5) penyesuaian perhitungan jumlah kolam jaring apung yang diperbolehkan pada perairan waduk, 6) penyesuaian indikator status mutu air yang dikaitkan dengan baku-mutu air; 7) penambahan indeks korosivitas dan kualitas sedimen dasar waduk. Agar usulan tersebut di atas dapat digunakan sebagai tolok ukur pengelolaan waduk dan pengambilan keputusan, maka diperlukan sejumlah kajian lebih lanjut.*

**Kata kunci:** Ekosistem waduk, Status Mutu Ekosistem Danau (SMED), pengelolaan DAS terpadu, Waduk Saguling, Waduk Sutami.

## ABSTRACT

*High rate of pollution on the watershed has impacted to deteriorate water quality reservoirs. Officially, Quality Status of Reservoir Ecosystem has not been established yet. So, this study describes the accomplishment of integrated watershed management using Quality Status of Lake Ecosystem criteria (SMED) formulated by ministry of environment. The application of the criteria to Saguling and Sutami reservoirs datas shows that quality status of the reservoir ecosystems are in threat conditions. In order to apply the SMED criteria for assessment of quality ecosystem in reservoir, the advance experiments are still needed mainly for the additional indicators as following: 1) integration blue-algae and biodiversity indicator with biodiversity index; 2) suitability of land erosion indicator connected with reservoir design of erosion rate; 3) shifting of siltation lake indicator siltation reservoir indicator in relation with the percentage of dead storage volume; 4) integration hydroelectric power and water resources exploitation associated with the hidrological reservoir and water balance; 5) suitability of fish cage calculation in reservoir, 6) suitability of water quality indicator related with water quality standard; 7) addition of corrosivity index and quality of bottom sediment in reservoir. To facilitate apply the SMED for the assessment of reservoir ecosystem.*

**Keywords:** Reservoir ecosystem, Quality Status of Lake Ecosystem (SMED), integrated watershed management, Saguling Reservoir, Sutami Reservoir.

## PENDAHULUAN

Waduk, sebagai salah satu sumber daya alam perairan umum, mempunyai potensi strategis dan manfaat serbaguna baik secara ekologis maupun ekonomis (Lehmusluto, dkk., 1995). Selain berfungsi sebagai pengendali banjir dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA), waduk juga dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan rumah-tangga, irigasi, industri, transportasi, perikanan, dan pariwisata (Machbub, dkk., 2003). Sebagai kesatuan sistem aliran sungai, sesuai siklus hidrologi, waduk merupakan tempat penampungan aliran yang berasal dari aliran permukaan dan air tanah (Straskaba dan Tundisi, 1999).

UNEP, 2010, menyatakan bahwa sama seperti danau, kondisi ekosistem waduk juga tidak lepas dari pengaruh ekodisi sungai-sungai yang mengalir masuk dari daerah tangkapannya. Selain kuantitas air, kualitas perairan waduk pun tidak dapat terlepas dari sistem pengelolaan dan pengaturan daerah aliran sungai terkait. Dengan bertambah luasnya lapisan kedap air pada daerah aliran sungai, maka volume limpasan permukaan akan semakin meningkat. Demikian pula dengan semakin tinggi tingkat pencemaran yang terjadi pada daerah aliran sungai, perairan waduk akan mengalami penurunan kualitas air, yang pada akhirnya akan mengancam keberlangsungan dan kelestarian ekosistem waduk tersebut.

Berdasarkan hasil studi terdahulu, kondisi buruk yang terjadi akibat degradasi lingkungan ini banyak ditemukan di berbagai negara berkembang. Sejumlah DAS di Indonesia, sebagaimana dikemukakan oleh Mukerjee, 2009, telah mengalami kerusakan yang cukup serius sebagai konsekuensi dari kurang terkendalinya aktivitas manusia terutama yang berkaitan erat dengan sektor pertanian, kehutanan, perikanan, industri, dan pariwisata. Pada tahun yang sama, *International Council for the Exploration of the Sea (ICES)* bahkan melaporkan bahwa berbagai aktivitas manusia tersebut ternyata memberikan kontribusi limbah baik secara langsung maupun tidak langsung kepada perairan waduk. *Eutrofikasi* merupakan salah satu akibat adanya pencemaran yang terjadi pada sejumlah waduk di Indonesia yang disebabkan berbagai macam limbah yaitu limbah domestik, limbah pertanian, limbah peternakan, dan sebagainya (Machbub, dkk., 2003).

Sehubungan dengan hal di atas, Mukerjee, 2009, menyatakan bahwa pengelolaan DAS secara terpadu perlu dilakukan melalui program aksi yang melibatkan masyarakat untuk mengurangi beban pencemaran yang masuk ke dalam waduk. Upaya terpadu, dalam pengendalian pencemaran pada DAS, diperlukan agar tidak makin mencemari waduk dan danau, karena beban pencemaran dari

berbagai sektor pada DAS cenderung terus meningkat bila tidak segera dilakukan upaya penanganan (Bukit, 1995). Kondisi tersebut mengakibatkan kelestarian fungsi ekosistem perairan waduk di Indonesia terganggu oleh masalah-masalah pendangkalan, pencemaran limbah dari aktivitas domestik, industri, pertambangan, pertanian dan peternakan yang berakibat pada *eutrofikasi* maupun perubahan fungsi lainnya (Machbub, dkk., 2003).

Untuk menangani permasalahan tersebut di atas, melalui studi yang dilakukannya, Bukit, 1995, dan Mukerjee, 2009, mengusulkan pengelolaan DAS secara terpadu yang melibatkan peran serta masyarakat secara aktif untuk mengurangi dan mengendalikan beban pencemaran pada aliran sungai dan perairan waduk. Untuk mengetahui bahwa penanganan permasalahan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien, maka program kegiatan yang telah ditetapkan harus terukur secara baik. Untuk itu diperlukan sejumlah indikator yang dapat dijadikan dasar penilaian pencapaian keberhasilan dari program tersebut.

Dalam studi ini, keberhasilan pengelolaan DAS akan dievaluasi dengan memakai kriteria Status Mutu Ekosistem Danau (SMED) yang sebelumnya telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2008. Selain itu, dilakukan sejumlah pengkajian atas sejumlah kriteria yang perlu disesuaikan atau ditambahkan, sehingga dapat diterapkan dalam pengelolaan ekosistem waduk. Selanjutnya, guna memperoleh hasil kajian yang komprehensif, studi ini dilakukan secara deskriptif dengan menganalisis sejumlah data yang diperoleh dari dua waduk serbaguna yaitu Waduk Saguling sebagai tampungan aliran dan beban pencemar dari DAS Citarum Hulu (Bukit, 2001) dan Waduk Sutami sebagai tampungan aliran dan beban pencemar dari DAS Brantas Hulu (Soekistijono, 2004).

## KAJIAN PUSTAKA

### 1 Pengertian IWRM

IWRM (*Integrated Water Resource Management*) atau pengelolaan sumber daya air secara terpadu adalah proses membangun persepsi dan komitmen secara bersama mengenai darimana air berasal, bagaimana pemanfaatannya, dan bagaimana air mengalir pada suatu daerah aliran sungai. Kenedy (2009) menyatakan bahwa aspek pengelolaan sumber daya air yang perlu dipadukan yaitu daerah hulu hingga hilir, kuantitas dan kualitas air, daerah dengan intensitas hujan yang tinggi dan rendah, kondisi air permukaan dan



**Gambar 1** Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu Lintas Sektor (Jorgensen, 2007)



**Gambar 2** Penerapan IWRM di Indonesia Menurut UU No. 7/2004 SDA (Hadimoelyono, 2006)

air tanah, penggunaan lahan dan pendayagunaan air, serta pengelolaan sungai dan pantai.

Penjelasan di atas menunjukkan bahwa keterpaduan pengelolaan sumber daya air harus dilaksanakan mulai dari perencanaan hingga pengambilan kebijakan. Hadimoelyono, 2007, menyarankan perlunya keterpaduan antar sektor dalam penyusunan kebijakan mulai dari tingkat nasional, provinsi dan kabupaten atau kota, keterpaduan semua pihak yang terkait dalam perencanaan dan pengambilan keputusan serta keterpaduan antar daerah, baik secara horisontal maupun vertikal sangat diperlukan.

Keterpaduan dalam penggunaan SDA secara lintas sektoral antara lain adalah untuk mencukupi kebutuhan domestik, memenuhi ketersediaan pangan, melestarikan lingkungan alam dan menyediakan kebutuhan lainnya seperti terlihat pada Gambar 1. Pada gambar tersebut juga menunjukkan bahwa kelestarian penggunaan SDA membutuhkan kesadaran terhadap kepedulian ling-

kungan, koordinasi yang baik antar lembaga terkait dan konsistensi penegakan instrumen hukum dan peraturan pengelolaan SDA. Dengan keterpaduan tersebut diharapkan konflik yang timbul akibat penggunaan air untuk berbagai kepentingan dapat dikurangi.

Dari berbagai gambaran di atas, prinsip-prinsip pengelolaan sumber daya air secara terpadu adalah terkoordinasinya pengembangan dan pengelolaan air, tanah dan sumber daya alam yang terkait; terbentuknya kesejahteraan masyarakat tanpa mengganggu keberlanjutan ekosistem (Agawal, 2000); terselenggaranya keterpaduan dalam perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan evaluasi serta terlaksananya program-program konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air dan pengendalian daya rusak sumber daya air (UU No. 7 Tahun 2004).

IWRM adalah suatu proses, bukan produk, dan hanya sebagai alat untuk mengkaji serta mengevaluasi program pengelolaan SDA. Selain

itu, IWRM tidak menyediakan *blueprint* secara spesifik untuk menangani suatu permasalahan pengelolaan SDA, tetapi lebih merupakan kumpulan pedoman-pedoman yang dikemas dalam konteks yang spesifik pada suatu Wilayah Sungai (WS) atau DAS (Mei Xie, 2006).

Penerapan konsep IWRM di Indonesia sesuai amanat UU No. 7 tahun 2004 adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut diperlihatkan program-program penerapan konsep IWRM di Indonesia yaitu program pengelolaan DAS, program pengelolaan jaringan sumber air dan program penggunaan air. Masing-masing program tersebut mempunyai kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan untuk mendukung keberhasilan tiap-tiap program. Dengan demikian, prinsip pengelolaan sumber daya air terpadu sangat dibutuhkan untuk mengatur seluruh wilayah sungai di Indonesia.

Dari penjelasan tersebut di atas, maka tujuan penerapan IWRM di Indonesia adalah 1) menjaga kelangsungan keberadaan daya dukung, daya tampung dan fungsi SDA; 2) memanfaatkan SDA secara berkelanjutan dengan mengutamakan pemenuhan kebutuhan pokok kehidupan masyarakat secara adil dan 3) mencegah, menanggulangi dan memulihkan kerusakan kualitas lingkungan akibat daya rusak air (Hadimoelyono, 2006).

## 2 Pengertian ILBM

Di Indonesia istilah ILBM atau *Integrated Lake Basin Management* dipertegas kembali pada Konferensi Danau Berkelanjutan di Denpasar Bali pada 13-15 Agustus 2009. Menurut *International Lake Environment Committee* atau ILEC (2009), ILBM adalah pengelolaan daerah tangkapan air danau atau waduk secara terpadu yang merupakan alat bantu bagi seluruh pemangku kepentingan dari suatu danau atau waduk secara berkelanjutan dengan memperhatikan kondisi unik dari danau atau waduk itu sendiri. Selain itu, penerapan ILBM memerlukan komitmen untuk melakukan sosialisasi dan pemantauan secara lintas wilayah dengan didukung anggaran yang permanen, serta pendekatan ilmu pengetahuan untuk menangani penyebab permasalahan waduk atau danau. Jorgensen, 2007, memberikan ilustrasi pelaksanaan perlindungan perairan waduk dan danau melalui pengendalian pencemaran pada sumber-sumber pencemar pada DAS secara terpadu, seperti terlihat pada Gambar 3.

Pengendalian sumber-sumber pencemar secara terpadu pada Gambar 3 tersebut meliputi: 1) penerapan "*polluters pay principle*" untuk pengendalian pencemaran limbah industri agar hasil pengolahan sesuai baku-mutu; 2) pengelolaan limbah domestik terdiri dari sistem penyaluran



**Gambar 3** Pelaksanaan Perlindungan Perairan Waduk dan Danau melalui Pengendalian Pencemaran Sumber-sumber Pencemar pada DAS secara Terpadu (adaptasi dari Jorgensen, 2007)

dan pengolahan limbah yang efektif; 3) pengaturan pengambilan dan pencegahan pencemaran air tanah; 4) pengendalian pemakaian pupuk kimia; 5) pencegahan penebangan liar untuk menjaga tutupan vegetasi dan mengurangi erosi; dan 6) pengelolaan debit lingkungan pada badan air penerima. Pengelolaan limbah domestik terdiri dari sistem penyaluran dan pengolahan limbah yang efektif; 7) pengaturan pengambilan dan pencegahan pencemaran air tanah; 8) pengendalian pemakaian pupuk kimia; 9) pencegahan penebangan liar untuk menjaga tutupan vegetasi dan mengurangi erosi; dan 10) pengelolaan debit lingkungan pada badan air penerima.

Konservasi danau dan waduk dilakukan melalui pengendalian pencemaran dari DAS secara terpadu. Machbub, dkk, 2003, menyarankan pengendalian pencemaran DAS dilakukan secara terpadu melalui pengendalian pencemaran limbah (IPAL) industri secara gabungan, pembuatan tangki septik secara komunal pada lingkungan perumahan, serta pengendalian pencemaran limbah pertanian dan peternakan. Berdasarkan uraian di atas menunjukkan bahwa ILBM merupakan adaptasi dari IWRM yang diterapkan pada "*Lentic water system*" atau ekosistem perairan seperti waduk dan danau (ILEC, 2009). ILBM dalam jangka-panjang akan lebih mengutamakan pada prinsip-prinsip pencegahan sebelum terjadi permasalahan (*precautionary principle*), pendekatan ilmu pengetahuan (*scientific approach*) dan respon suatu permasalahan melalui langkah yang adaptif (*adaptive response*).

Pada akhirnya tujuan ILBM mencakup tujuh prinsip visi danau dunia (*World Lake Vision principles*) yaitu 1) hubungan yang harmonis antara manusia dan lingkungan; 2) daerah tangkapan air danau atau waduk menjadi "*starting point*" pengelolaan DAS; 3) pemanfaatan ilmu-pengetahuan sebagai dasar pembuatan keputusan maupun kebijakan pengembangan; 4) prinsip keberlanjutan danau atau waduk bila terjadi konflik; 5) pelibatan masyarakat dan seluruh pemangku kepentingan; 6) tata kelola yang baik (*good governance*) berdasarkan prinsip keadilan, transparansi; dan 7) pemberdayaan (*empowerment*) para pemangku kepentingan (UNEP, 2010).

Di Indonesia, konsep-konsep ILBM untuk menuju visi danau dunia telah dituangkan dalam "Kesepakatan Bali untuk Pengelolaan Danau Berkelanjutan" yang ditandatangani oleh 9 Menteri Kabinet Indonesia Bersatu ke-1. Kesepakatan dan komitmen ini ditunjukkan untuk mewujudkan pengelolaan danau yang berkelanjutan, mengantisipasi perubahan iklim global, mempertahankan, melestarikan dan memulihkan fungsi danau berdasarkan prinsip keseimbangan ekosistem dan

daya dukung lingkungannya. Dengan dasar kesepakatan tersebut, para menteri, termasuk aparat pelaksana di jajarannya, berkewajiban melaksanakan ILBM sesuai tugas dan fungsi kementerian serta pemerintah daerah di wilayahnya masing-masing, agar kelestarian waduk dan danau memberikan manfaat secara berkelanjutan bagi kepentingan dan kesejahteraan penduduk pada masa kini dan akan datang.

### 3 Pengelolaan DAS dan Status Mutu Ekosistem Waduk

Straskaba dan Tundisi, 1999, menyatakan bahwa ekosistem perairan waduk dan danau cenderung mengalami degradasi karena kurang kepedulian dan kesungguhan profesional dalam pengelolaannya. Banyak diantara waduk dan danau yang terancam, baik dari segi kuantitas maupun kualitas airnya, termasuk keberlangsungan hidup biotanya. Hal ini disebabkan terutama oleh meningkatnya kegiatan manusia yang kurang peduli dan kurang profesional dalam mengelola lingkungan perairan maupun pada daerah tangkapan air. Kurangnya kepedulian tersebut menyebabkan waduk sulit dipulihkan kembali kondisi alamnya apabila telah mengalami pencemaran.

Sebagaimana dinyatakan oleh *International Council for The Exploration of The Sea* atau ICES, 2009, terdapat keterkaitan yang erat antara badan air waduk dengan DAS, sehingga kerusakan ekosistem DAS akan berdampak negatif pada ekosistem danau dan waduk. Karena itu danau dan waduk sebagai unit ekologis tidak dapat dipisahkan pengelolaannya berdasarkan batasan administratif serta diperlukan satu dasar pengetahuan yang komprehensif untuk dapat mengelola danau secara baik dan benar, sehingga pemanfaatan danau dapat berlangsung secara berkelanjutan. Keberlanjutan pemanfaatan waduk dan danau dapat terganggu, akibat kegiatan manusia pada DAS yang dapat berdampak pada sistem SDA, sebagaimana dinyatakan oleh Rees, 2009, diantaranya:

- 1) Penggundulan hutan dan urbanisasi yang dapat merubah limpasan permukaan dan rejim aliran, sehingga dapat mempengaruhi ketersediaan air, meningkatkan resiko banjir dan kelongsoran;
- 2) Perubahan kuantitas, waktu dan lokasi pengambilan air baik pada air permukaan maupun air tanah yang berdampak pada penggunaan SDA di sebelah hilir;
- 3) Perubahan tata-guna lahan yang dapat mengubah laju evapotranspirasi, laju sedimentasi dan pengambilan air dapat mempengaruhi ketersediaan dan biaya penyediaan air bersih;

- 4) Produk air limbah dari pertanian, industri dan rumah-tangga yang akan berpengaruh terhadap kualitas air permukaan maupun air tanah di hilir. Hal tersebut berpengaruh pada pengolahan air limbah, menurunkan produksi pertanian, ekonomi, lingkungan dan penggunaan rekreasi.

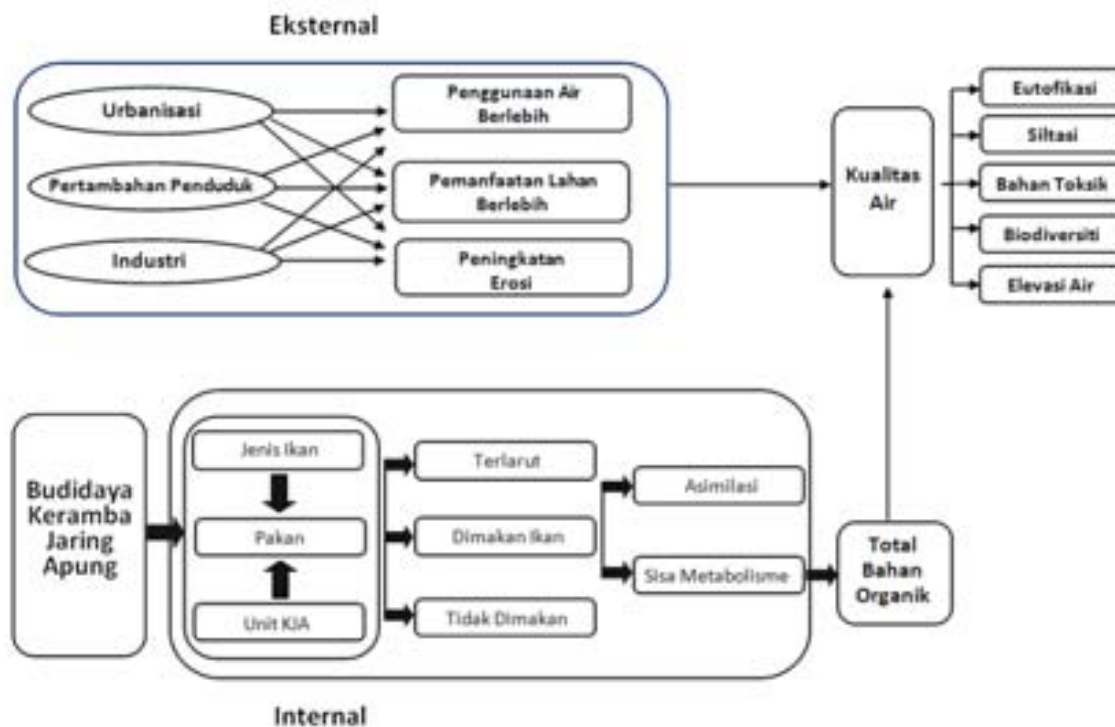
Aktifitas manusia pada daerah aliran sungai atau permasalahan eksternal dan permasalahan internal yang menyebabkan terganggunya ekosistem waduk atau danau seperti terlihat pada Gambar 4, sebagaimana dijelaskan oleh Sukimin (2004). Pada gambar tersebut terlihat bahwa masalah eksternal disebabkan oleh penambahan penduduk, urbanisasi dan pertumbuhan industri. Permasalahan eksternal tersebut menyebabkan penggunaan air berlebihan, pemanfaatan lahan yang tidak terkendali serta peningkatan erosi pada DAS. Adapun penyebab utama permasalahan internal pada waduk adalah kurang terkendalinya budidaya jaring apung yang berakibat timbulnya pencemaran dari pakan ikan.

Permasalahan eksternal dan internal tersebut menyebabkan rusaknya ekosistem waduk atau danau, terutama menurunnya kualitas air waduk atau danau. Penurunan ekosistem ditunjukkan dengan meningkatnya proses *eutrofikasi*, menurunnya tampungan air akibat proses pendangkalan, meningkatnya resiko pembentukan racun pada perairan, penurunan tingkat keanekaragaman hayati serta menyulitkan pengendalian tinggi muka air waduk atau danau. Berdasarkan

pedoman pengelolaan danau (Kepmen LH, 2009), ekosistem danau terdiri atas ekosistem perairan atau akuatik, ekosistem sempadan sebagai ekosistem peralihan dan ekosistem daratan atau terestrial. Ketiga ekosistem tersebut menghadapi berbagai kerusakan lingkungan yang berdampak kepada keberlanjutan fungsi danau sebagai sumber daya air.

Machbub, dkk, 2003, menyatakan bahwa kerusakan yang terjadi pada danau dan waduk di Indonesia antara lain adalah pendangkalan dan penyempitan sempadan yang merusak ekosistem, pencemaran kualitas air yang mengganggu pemanfaatan air dan pertumbuhan biota akuatik, penurunan keanekaragaman hayati, pertumbuhan gulma air dan marak alga (*algae bloom*) disebabkan proses penyuburan air waduk sebagai akibat pencemaran organik dan zat hara (unsur Nitrogen dan Fosfor), serta perubahan fluktuasi muka air danau atau waduk, yang disebabkan oleh kerusakan DAS serta pemanfaatan air tanpa memperhatikan keseimbangan hidrologi yang dapat mengganggu keseimbangan ekologis daerah sempadan.

Memperhatikan permasalahan di atas, diperlukan suatu indikator atau kriteria untuk menentukan status ekosistem waduk. Indikator dan kriteria tersebut juga dapat digunakan untuk mengevaluasi pencapaian program yang telah dilaksanakan dalam rangka pemulihan ekosistem waduk. Pada saat ini Kementerian Lingkungan Hidup telah menetapkan kriteria Status Mutu



**Gambar 4** Diagram Permasalahan External dan Internal yang Berpengaruh terhadap Kondisi Waduk dan Danau di Indonesia (Sukimin, 2004)

Ekosistem Danau (SMED). Secara faktual danau dan waduk memiliki kesamaan sebagai tampungan air, namun terdapat perbedaan antara waduk dan danau sebagaimana tercantum pada Tabel 1. Oleh karena itu, status mutu ekosistem untuk waduk perlu juga ditetapkan. Pada SMED juga terdapat kriteria-kriteria yang berkaitan dengan status mutu ekosistem waduk yang dipengaruhi oleh kondisi DAS seperti tercantum pada Lampiran 1.

Sehubungan dengan proses pembentukan danau yang lebih lama daripada waduk, maka ekosistem danau lebih stabil daripada ekosistem waduk (Tabel 1). Ekosistem pada danau, terutama bagian dalam, lebih stabil dibandingkan dengan ekosistem waduk. Hal tersebut disebabkan karena saluran *outlet* danau umumnya berada di permukaan, sedangkan *outlet* waduk biasanya berada di tempat dalam. Berdasarkan fluktuasi muka air, danau memiliki fluktuasi muka air yang lebih kecil daripada fluktuasi muka air waduk. Perubahan muka air danau terjadi secara alami, sedangkan muka air waduk dikendalikan oleh manusia. Kondisi tersebut menyebabkan hidrodinamika waduk lebih bervariasi daripada danau.

## METODOLOGI

Kajian penerapan indikator dan kriteria yang terdapat pada SMED untuk menentukan status mutu ekosistem waduk adalah digunakan

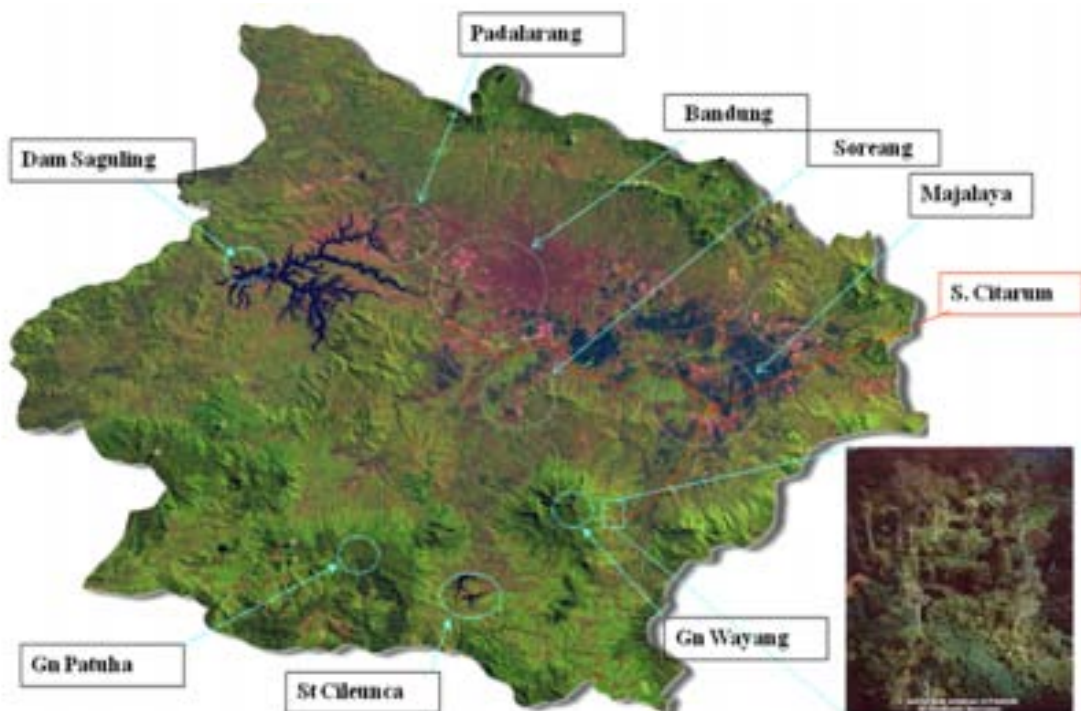
metoda deskriptif. Kajian ini menggunakan data-data hasil penelitian dan kajian yang telah dilakukan pada Waduk Saguling yang menampung beban pencemaran dari DAS Citarum bagian hulu dan Waduk Sutami yang menampung beban pencemaran dari DAS Brantas bagian hulu. Dari hasil kajian penerapan SMED terhadap kondisi kualitas air Waduk Saguling dan Waduk Sutami tersebut diperoleh indikator-indikator yang harus dikembangkan lanjut, agar dapat diterapkan dalam penentuan status mutu ekosistem waduk.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1 Aplikasi SMED pada Ekosistem Waduk

Hasil analisis data sekunder, diketahui bahwa Waduk Saguling dan Waduk Sutami memiliki status *eutrofik-hipereutrofik* yang artinya telah terjadi proses penyuburan marak alga atau *algae blooming* yang sangat berat sebagaimana dinyatakan oleh Brahmana, 1999, dan Sulastri, dkk, 2004. Ditinjau segi keanekaragaman hayati di kedua waduk telah mengalami gangguan komposisi ikan juga telah terjadi kematian masal ikan (Sukimin, 2004).

Pencemaran kedua waduk tersebut cenderung meningkat. Tingginya konsentrasi zat hara serta terdeteksinya senyawa H<sub>2</sub>S dan Amonia menunjukkan bahwa proses pembusukan di dalam waduk telah terjadi (Brahmana, dkk., 2002).



**Gambar 5** Daerah Aliran Sungai Citarum bagian Hulu sebagai Daerah Tangkapan Waduk Saguling (Pitoyo, 2010)



**Gambar 6** Daerah Aliran Sungai Brantas sebagai Daerah Tangkapan Waduk Sutami (Sukistijono, 2004)

**Tabel 1** Perbandingan Karakteristik antara Danau dan Waduk (Hartoto, 2001)

Karakteristik	Danau	Waduk atau Bendungan
Proses pembentukan	Alamiah	Oleh Manusia
Usia geologis	Tua	Relatif muda (=40 tahun)
Terbentuk akibat pengisian	Cekungan	Lembah-lembah sungai
Posisi di Daerah Aliran Sungai	Sentral atau di tengah	Marjinal (di pinggir)
Bentuk	Teratur	Dendritik
Kedalaman maksimum	Dekat bagian tengah	Di dekat bendungan
Waktu tinggal teoritis (R)	Lebih lama	Lebih singkat
Sedimen dasar	Otohtonus	Alohtonus
Gradien longitudinal	Dipicu oleh angin	Dipicu oleh aliran sungai
Saluran outlet	Permukaan	Di tempat dalam
Fluktuasi tinggi permukaan air	Lebih kecil	Lebih besar
Hidrodinamika	Lebih teratur	Sangat bervariasi
Penyebab perubahan muka air	Alamiah	Dikendalikan manusia

Permasalahan kualitas air pada kedua waduk tersebut menyebabkan maraknya tumbuhan enceng gondok yang telah mengganggu operasional waduk. Bukit, 2001, dan Brahmana, dkk, 2002, melaporkan bahwa maraknya tumbuhan enceng gondok terutama disebabkan pencemaran limbah domestik dan industri yang melebihi daya tampung badan air penerima.

Permasalahan rezim aliran sungai pada kedua waduk tersebut telah dilaporkan oleh Pawitan, 2007, yaitu rasio aliran maksimum dan minimum *input* Waduk Saguling telah mencapai 84

atau dalam kondisi terancam. Hal tersebut diakibatkan luas kawasan lindung yang sehat pada DAS Citarum bagian hulu hanya 19,5% (Sobirin, 2008). Sementara itu, rezim aliran sungai pada Waduk Sutami adalah 18,5 atau kondisi ekosistem DAS masih baik, karena luas tutupan vegetasi lahan sekitar 33% dari daerah tangkapan air (Soekistijono, 2004). Machbub, dkk, 2003, dan Sukistijono, 2004, melaporkan bahwa laju sedimentasi pada kedua waduk telah melampaui laju desain waduk.



Kondisi tersebut menyebabkan persentase volume terisi tampungan mati (*dead storage*) Waduk Saguling dan Waduk Sutami masing-masing telah mencapai 72% dan 93,3%. Hasil kajian dan penentuan status ekosistem waduk selengkapnya terlihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil penentuan Status Mutu Ekosistem Danau (SMED) di atas, ditinjau berdasarkan kriteria ekosistem akuatik, sempadan dan daerah tangkapan, diketahui bahwa kedua waduk tersebut umumnya dalam kondisi terancam. Karena itu, komitmen untuk mengelola DAS secara benar memiliki peran yang sangat penting dalam

rangka menjamin keberlanjutan fungsi waduk.

Kriteria SMED umumnya dapat diterapkan untuk penentuan kondisi ekosistem waduk. Namun demikian, perlu dilakukan penyempurnaan agar kriteria-kriteria tersebut dapat diterapkan dengan lebih baik. Kriteria-kriteria tersebut menjadi ukuran atau indikator keberhasilan pengelolaan DAS, karena beberapa kriteria berkaitan erat dengan pengelolaan DAS. Sebagai contoh koefisien rezim sungai, tutupan vegetasi, erosi lahan, serta sistem pengelolaan limbah pada DAS merupakan indikator-indikator utama dalam pengelolaan DAS secara terpadu.

**Tabel 2** Uji Penerapan Kriteria Status Ekosistem pada Waduk Saguling dan Waduk Sutami

Kriteria	Waduk Saguling		Waduk Sutami	
	Kondisi	Status	Kondisi	Status
Status Trofik	Eutrofik-Hipereutrofik	Terancam – rusak	Eutrofik- Hipereutrofik	Terancam-Rusak
Status Mutu Air	Terdeteksi H <sub>2</sub> S dan Amonia	Terancam	Terdeteksi H <sub>2</sub> S dan Amonia	Terancam
Keanekaragaman Hayati	Komposisi ikan terganggu dan terjadi kematian masal	Terancam	Gangguan ekosistem perairan dan kematian masal	Terancam
Jejaring Makanan ( <i>Food web</i> )	Mengganggu keseimbangan trofik	Terancam	Mengganggu keseimbangan trofik	Terancam
Tutupan Tumbuhan Air	Eceng-gondok dominan dan ganggu fungsi waduk	Terancam	Eceng-gondok dominan dan mengganggu fungsi waduk	Terancam
Alga/Ganggang Biru ( <i>Microcystis</i> )	Marak( <i>Blooming</i> ) alga dan <i>Microcystis</i>	Rusak	Marak ( <i>Blooming</i> ) algae dan <i>Microcystis</i>	Rusak
Limbah pakan budidaya perikanan	Melebihi daya tampung	Rusak	Perikanan Tangkap, sesuai daya tampung	Baik
Sempadan waduk Sempadan pasang surut	Tidak ada bangunan Tidak ada bangunan dan ada pengolahan lahan sawah ada pemupukan	Baik Terancam	Tidak ada bangunan Tidak ada bangunan dan ada pengolahan lahan sawah ada pemupukan	Baik Terancam
Pembuangan Limbah di sempadan	Ada pembuangan limbah dan tidak ada pengolahan limbah, belum melampaui daya tampung	Terancam	Ada pembuangan limbah dan tidak ada pengolahan limbah, masih sesuai daya tampung	Terancam
<b>Pemanfaatan Air Danau</b>				
Pemanfaatan PLTA	Sesuai rencana desain, tidak mengubah karakteristik pasang surut	Baik	Sesuai rencana desain, tidak mengubah karakteristik pasang surut	Baik
Pengambilan Air Baku	Sesuai rencana desain, tidak mengubah karakteristik pasang surut	Baik	Sesuai rencana desain, tidak mengubah karakteristik pasang surut	Baik

Lanjutan tabel 2

Kriteria	Waduk Saguling		Waduk Sutami	
	Kondisi	Status	Kondisi	Status
<b>Ekosistem Terrestrial Daerah Aliran Sungai</b>				
Tutupan vegetasi pada DAS	<30%	Rusak	<= 33%	Terancam
Koefisien rezim sungai ( $Q_{max}/Q_{min}$ ) masuk waduk	50<(455/5,4) <120	Terancam	(866/46,6) <50	Baik
Erosi lahan pada DAS	5,4 Juta m <sup>3</sup> /th melebihi disain rencana 4 Juta m <sup>3</sup> /tahun	Rusak	5,4 Juta m <sup>3</sup> /tahun melebihi disain rencana 0,95 Juta m <sup>3</sup> /tahun	Rusak
Dampak pendangkalan waduk	Mengurangi dead storage s/d 72%	Rusak	Mengurangi kapasitas tampungan 43% dan dead storage efektif tinggal 6,7%	Rusak
Pembuangan Limbah pada DAS	Ada pembuangan limbah domestic dan industri, tetapi sangat sedikit pengolahan limbah, melampaui beban tampungan limbah	Rusak	Ada pembuangan limbah domestik dan industri dan efisiensi pengolahan rendah, sehingga melampaui beban tampungan limbah	Rusak

Sumber: Diolah dari data pada referensi: Macbub, 1982; Pangesti dan Isnugroho, 1989; Ilyas, 1995; Brahmana 1999; Bukit, 2001; Brahmana, dkk., 2002; PPSDAL UNPAD, 2002; Machbub, dkk., 2003; Sulastri, dkk., 2004; Sumarwoto, 2004; Sukistyono, 2004; Pawitan, 2007; Haarcoryati., 2008; Sobirin, 2008.

Usulan indikator untuk penyempurnaan kriteria yang terdapat pada SMED untuk pengelolaan ekosistem waduk antara lain:

- 1) Penggabungan indikator alga biru, jejaring atau rantai makanan (*food web*) dan keanekaragaman hayati menjadi indikator keanekaragaman hayati atau *biodiversitas* karena keterkaitan ketiganya sangat erat. Keanekaragaman hayati atau *biodiversitas* yang rendah berarti telah terjadi dominasi salah satu jenis mikroalga, misalnya kelompok Cyanophita pada rantai makanan (Haarcoryati., 2008). Dominasi salah satu jenis mikroorganisme berakibat terganggunya keseimbangan rantai makanan pada waduk. Indeks keanekaragaman plankton yang makin tinggi menunjukkan kualitas perairan waduk yang makin baik, karena indeks keanekaragaman plankton menunjukkan fluktuasi dari makroinvertebrata bentos (Machbub, 1982). Salah satu indeks keanekaragaman hayati yaitu Indeks Shanon-Wiener digunakan oleh Brahmana, 1999, untuk mengidentifikasi keanekaragaman hayati di Waduk Saguling dan Waduk Jatiluhur.
- 2) Penyesuaian kriteria pada indikator erosi lahan dikaitkan dengan desain rencana erosi waduk. Penyesuaian kriteria tersebut diper-

- lukan, karena besarnya erosi dan sedimentasi yang tertampung pada waduk sangat menentukan masa layan waduk. Ilyas, 1995, juga menyimpulkan bahwa laju sedimentasi yang tinggi menyebabkan umur layan waduk menjadi pendek. Kondisi tersebut perlu diantisipasi dengan membandingkan antara laju sedimentasi rencana yang diperbolehkan masuk ke dalam waduk dengan laju sedimentasi aktual (Lubis dan Ilyas, 1989).
- 3) Penggantian indikator dampak pendangkalan danau dengan indikator dampak pendangkalan waduk yang dikaitkan dengan persentase volume terisi tampungan mati (*dead storage*) waduk. Kapasitas operasional tampungan waduk akan berkurang, apabila kapasitas tampungan mati waduk lebih cepat terisi akibat laju erosi-sedimentasi yang melebihi desain rencana. Sukistyono, dkk., 2005, menyatakan bahwa untuk mempertahankan kapasitas tampungan efektif, pengelola waduk di DAS Brantas harus melakukan penggelontoran sedimen sebanyak dua kali setahun. Hal tersebut membawa dampak pada ekosistem sebelah hilir waduk. Dampak yang terjadi pada ekosistem sebelah hilir waduk diantaranya adalah kekeruhan yang tinggi dan penurunan kadar oksigen terlarut.

- 4) Penggabungan indikator pengambilan air untuk PLTA dan air baku menjadi indikator pemanfaatan air waduk yang dikaitkan dengan desain rencana hidrologinya, neraca air dan tinggi muka air waduk, karena dalam mendesain waduk telah memperhitungkan neraca air waduk. Selain itu, penggabungan indikator juga dimaksudkan agar penentuan status ekosistem waduk dapat lebih efektif, karena memiliki kesamaan dalam hal debit keluar air waduk.
- 5) Penyesuaian perhitungan jumlah kolam jaring apung yang diperbolehkan pada perairan waduk, mengingat pada beberapa waduk telah terjadi pertumbuhan kolam jaring apung (KJA) secara berlebihan. Sumarwoto, 2004, menyarankan jumlah KJA yang diperbolehkan sebesar maksimum 1% dari luas perairan waduk dan lokasi KJA tersebut menyebar.
- 6) Penyesuaian indikator status mutu air dikaitkan dengan baku-mutu air yang telah ditetapkan, sehingga status mutu air waduk dapat dievaluasi. Pusat Penelitian Sumber Daya Alam dan Lingkungan (PPSDAL) UNPAD, 2002, menggunakan metoda STORET untuk mengevaluasi status mutu air Waduk Saguling sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 115/2003 tentang penentuan status mutu air. Pada waduk terstratifikasi, penentuan status mutu air disesuaikan dengan stratifikasi waduk yaitu status mutu pada lapisan epilimnion dan status mutu pada lapisan hipolimnion.
- 7) Penambahan indikator korosivitas, mengingat banyaknya bangunan operasional waduk yang mengalami korosi. Untuk mengukur tingkat korosivitas perairan waduk diusulkan menggunakan Indeks Korosivitas Langilier. Indeks korosivitas tersebut telah digunakan oleh Brahmana dan Ahmad, 2001, untuk penentuan korosivitas perairan Waduk Saguling dan Cirata.
- 8) Penambahan indikator kualitas sedimen dasar waduk, mengingat logam berat dan senyawa fosfor dapat terikat secara mudah dengan partikel tersuspensi dari DAS dan selanjutnya terakumulasi di dalam waduk. Senyawa-senyawa yang terikat pada sedimen tersebut berpengaruh pada ekosistem waduk bila terlepas pada perairan. Untuk itu diusulkan, parameter yang diukur untuk penentuan kualitas sedimen adalah senyawa fosfor karena dapat memicu *eutrofikasi* (Lerman, 1974), sedangkan kandungan logam berat yang dianalisis pada sedimen dasar waduk meliputi Cr, Cu, Pb, Cd dan Hg. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan oleh Sutrisno, dkk (2002) diketahui bahwa akumulasi

kandungan logam berat pada sedimen dasar di Waduk Saguling, Cirata dan Jatiluhur terdeteksi lebih besar daripada kandungan logam berat dalam tubuh ikan.

Agar usulan-usulan tersebut di atas dapat digunakan sebagai tolok ukur pengelolaan ekosistem waduk dan pengambilan keputusan, diperlukan sejumlah kajian lebih lanjut. Pengkajian yang dilakukan meliputi indikator-indikator serta seberapa jauh dampak yang ditimbulkan secara kuantitatif. Dengan demikian, penentuan status mutu ekosistem waduk secara lebih terukur dapat dilakukan melalui suatu pemantauan kualitas air.

Pemantauan kualitas air secara berkala telah dilakukan oleh para pengelola waduk, misalnya pada Waduk Saguling, Waduk Cirata, Waduk Jatiluhur. Pemantauan kualitas air waduk dilaksanakan sebagai tanggung jawab para pengelola waduk dan dalam rangka pelaksanaan Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) serta Upaya Pemantauan Lingkungan (UPL). Pemantauan berkala pada umumnya dilakukan berdasarkan kerjasama dengan laboratorium terakreditasi, agar terjaga kualitas hasil pemantauan.

Dalam pengelolaan kualitas air waduk terdapat kendala-kendala diantaranya adalah pengelola waduk hanya bertugas sebagai pengelola wilayah waduk, sedangkan pada daerah tangkapan dikelola oleh berbagai lembaga dengan berbagai kepentingan. Sebagai contoh, pada daerah tangkapan tersebut terdapat instansi yang berkepentingan untuk meningkatkan kapasitas produksi industri, namun pengendalian pencemaran limbah industri tidak dilakukan dengan baik, sehingga terjadi akumulasi beban limbah pada badan air penerima termasuk waduk. Di lingkungan perairan waduk juga terdapat instansi yang berkepentingan untuk meningkatkan produksi perikanan, sehingga beban pencemaran akibat pakan ikan menjadi makin berat. Permasalahan tersebut menyebabkan pengelola waduk mengalami kesulitan dalam pengendalian pencemaran perairan waduk, sehingga akumulasi beban pencemaran pada badan air waduk akan tetap terjadi.

Fahmijani, dkk, 2009, menyarankan penggunaan jaring ganda untuk mengurangi beban pencemaran pakan ikan akibat KJA pada waduk dan danau. Machbub, dkk, 2003, menyarankan pengendalian pencemaran dari DAS dalam rangka konservasi danau dan waduk harus dilakukan secara terpadu dari sumber pencemaran yaitu pengendalian pencemaran dari limbah industri, pengendalian pencemaran dari limbah domestik, dan pengendalian pencemaran dari limbah pertanian dan peternakan.

Pembuatan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri (IPAL) secara gabungan dan pembuatan

tangki septik komunal pada lingkungan perumahan menjadi alternatif utama pengendalian pencemaran limbah industri dan limbah penduduk. Ditjen Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian, 2002, menganjurkan penerapan sistem pertanian konservasi untuk mengurangi terjadinya erosi lahan dan pencemaran limbah pertanian. Penggunaan kombinasi tangki anaerob dan proses filter tetes dapat mengurangi beban pencemaran limbah cair peternakan ke badan air, sedangkan lumpur padat tetap dapat dimanfaatkan kembali sebagai pupuk organik (Irianto, 2009).

Namun demikian pelaksanaan pengelolaan limbah terpadu DAS tidak dapat berjalan dengan baik apabila penegakan hukum lingkungan belum dijalankan secara benar, pemberian insentif dan subsidi untuk pengolah limbah yang tidak tepat, dan kesadaran masyarakat untuk lingkungan yang berkelanjutan tidak dilakukan. Koordinasi pada dewan sumber daya air daerah sangat diperlukan, namun efektifitas pengawasan pengendalian pencemaran air yang dilakukan oleh badan pengendali dampak lingkungan daerah harus lebih ditingkatkan

## KESIMPULAN

Dari uraian di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- 1) Hasil penilaian menggunakan Status Mutu Ekosistem Danau (SMED) yang ditinjau berdasarkan kriteria ekosistem akuatik, sempadan dan daerah tangkapan menunjukkan bahwa Waduk Saguling dan Waduk Sutami tersebut dalam kondisi terancam.
- 2) Hasil uji-coba menunjukkan bahwa indikator dan kriteria pada SMED dapat diusulkan untuk penentuan status mutu ekosistem waduk yang berkaitan erat dengan pengelolaan DAS.
- 3) Sejumlah kriteria pada SMED yang perlu disempurnakan agar dapat diaplikasikan pada waduk, antara lain:
  - a) pemanfaatan kriteria indeks keanekaragaman;
  - b) penyesuaian indikator erosi lahan yang dikaitkan dengan desain rencana laju erosi waduk;
  - c) penggunaan indikator dampak pendangkalan waduk yang dikaitkan dengan persentase volume tampungan mati;
  - d) penggabungan indikator pengambilan air untuk PLTA dan air baku terkait dengan desain rencana hidrologi, neraca air;
  - e) penyesuaian perhitungan jumlah kolam jaring apung yang diperbolehkan pada perairan waduk;
- f) penyesuaian indikator status mutu air yang dikaitkan dengan baku-mutu air; dan
- g) penambahan indikator korosivitas dan kualitas sedimen dasar.

Sebagaimana uraian dan kesimpulan di atas menunjukkan perlunya penetapan kriteria status mutu ekosistem waduk yang merupakan hasil pengembangan dari Status Mutu Ekosistem Danau (SMED) yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup RI agar waduk dapat dikelola dan berfungsi secara lestari dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agawal, A. (Editor). 2000. *Integrated Water Resources Management*. Global Water Partnership. Denmark.
- Brahmana, S. dan Achmad, F. 2001. Korosivitas Air Waduk Saguling dan Waduk Cirata terhadap Turbin dan Beton. *Jurnal Litbang Pengairan*. Vol.15(46). Bandung.
- Brahmana, S., Suyatna, U., Fanshury, R dan Bahri, S. 2002. Pencemaran Air dan Eutrofikasi Waduk Karangates dan Upaya Penanggulangannya. *Jurnal Litbang Pengairan*. Vol.12(49). Bandung.
- Bukit, N.T. 1995. Water Quality Conservation for The Citarum River in West Java. *Water Science Technology*. Vol.31(9):1-10. Pergamon. London.
- Bukit, N.T. 2001. Pengaruh Air Buangan terhadap Baku Mutu Air Sungai Citarum. *Prosiding Lokakarya Selamatkan Air Citarum*. Kementerian Lingkungan Hidup. Serpong.
- Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air. 2009. Kontribusi Sektor Pertanian untuk Kelestarian Danau. *Konferensi Danau Berkelanjutan*. 13-15 Agustus 2009. Denpasar-Bali.
- Fahmijany, Triyanto, Lukman, dan Meutia, A. 2009. Keramba Jaring Apung Ramah Lingkungan. *Konferensi Danau Berkelanjutan*. 13-15 Agustus 2009. Denpasar-Bali.
- Gunawan, W., Zahidah dan Mulyanti, W. 2006. *Laporan Riset DIKTI: Model Eutrofikasi untuk Merancang Kebijakan Pengelolaan Waduk yang Berkelanjutan melalui Sistem Dinamik*.
- Hadimoelyono, B. 2006. *Integrated Water Resources Management*. *Kolokium Pusat Litbang Sumber Daya Air*. Bandung.

- Haarcorryati, A. 2008. Hubungan Rasio N/P dengan Kecenderungan Dominasi Komunitas Mikroalga pada Waduk-waduk di DAS Citarum. *Buletin Keairan*. 1(1). Puslitbang SDA. Bandung.
- Hartoto, D.I. 2001. *Dinamika Populasi Plankton sebagai Indikator Pencemaran pada Perairan Waduk*. Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. Cibinong.
- ICES. 2009. *Final Report: Human Induced Eutrophication is Minimized Especially Adverse Effect*. European Commission.
- ILEC. 2009. Socio-economics factors of Lake Degradation. *Proceeding Konferensi Danau Berkelanjutan*. 13-15 Agustus. Denpasar-Bali.
- Ilyas, M.A. 1995. Prediksi Laju dan Distribusi Sedimentasi pada Rencana Waduk PLTA Kota Panjang, Riau. *Jurnal Litbang Pengairan*. 10(34). Puslitbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Irianto, E.W., 2009, Prototip Anaerobik Saringan Tetes Bertingkat dan Beraerasi untuk Pengendalian Pencemaran Limbah Peternakan Rakyat. *Kolokium Pusat Litbang Sumber Daya Air*. Bandung.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2009, *Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau*. Jakarta.
- Kenedy, K., Simonovic, S., Guibert, A.T., Doria, M.F. dan Martin. J.L. 2009. *IWRM Implementation in Basin, sub Basin, and Aquifer: State of the Art Review*. IHP-UNESCO, UNDP, Printed in Turkey.
- Lehmusluto, P., B. Machbub, Bukit, N.T., Rusmiputro. S., F. Achmad., L. Boer., Brahmana, S. 1995. National Inventory of The Major Lakes and Reservoir in Indonesia. *Expedition Indodanau Technical Report*. In Cooperation RIWRD and University of Helsinki (direvisi 1997).
- Lehmusluto, P. 2006. From Assumptions to Knowledge-Based Water Resources Management Ecological and Environmental Issues of Lakes as Examples. *Proceeding on International Seminar Celebration the 70th Anniversary of the Research Center for Water Resources*. Bandung.
- Lerman, A. 1974. Eutrophication and Water Quality of Lake Control by Water Residence Time and Transport to Sediment. *Hydrological Science*. Vol.19(3).
- Lubis, J dan Iyas, M.A. 1989 Studi Sedimentasi di Waduk Kedung Ombo. *Jurnal Litbang Pengairan*. 15(4). Puslitbang SDA. Bandung.
- Machbub, B., Fulazzaky, M.A., Brahmana, S. dan Yusuf, I.A. 2003. Eutrophication of Lakes and Reservoir and Its Restoration in Indonesia. *Jurnal Litbang Pengairan*. Vol. 17(50). Puslitbang Pengairan. Bandung.
- Machbub, B. 1982. The Correlation of Biotic and Abiotic Indicators of Polluted Water in Citarum and Jatiluhur Reservoir. *International Symposium on Agrochemicals: Fate in Food and The Environment Using Isotop Technique*. Rome (Italy), 7-11 June.
- Straskraba, M. and Tundisi, J.G. 1999. *Guidelines of Lake Management Volume 9: Reservoir Water Quality Management*. ILEC.
- Mei Xie. 2006. *Integrated Water Resources Management (IWRM): Introduction to Principles and Practices*. World Bank Institute.
- Mukerjee, A. 2009. Lake Watershed Management in Developing Countries through Community Participation: A Model. *Proseding Konferensi Danau Berkelanjutan*. 13-15 Agustus. Bali.
- PPSDAL UNPAD. 2002. *Laporan Triwulan IV: Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Air Waduk Saguling*. Indonesia Power. Bandung.
- Pangesti, D. R. dan Isnugroho. 1989. Pengamatan Erosi pada DPS Wonogiri serta Pengaruhnya terhadap Sedimentasi Waduk. *Jurnal Litbang Pengairan*. 15(4). Puslitbang SDA. Bandung.
- Pawitan, H. 2007. *Perubahan Penggunaan Lahan dan Pengaruhnya Terhadap Hidrologi Daerah Aliran Sungai*. Laboratorium Hidrometeorologi FMIPA IPB. Bogor.
- Pitoyo. 2010. *Pengelolaan Waduk PLTA Saguling. Dipresentasikan pada Round Table Pemanfaatan dan Pelestarian Waduk Kaskade S. Citarum*. SEAMEO-BIOTROP 4 Februari. Bogor.

- Rees, J.A. 2008. *Urban Water and Sanitation Services; An IWRM Approach*. Global Water Partnership Technical Committee.
- Sobirin, S. 2008. *Laporan Akhir: Kajian Lingkungan Hidup Strategis Kawasan Cekungan Bandung*. Environmental Sector Program Phase-2 DANIDA. Kerjasama Kementerian Lingkungan Hidup dan Pemerintah Denmark. Bandung.
- Soekistijono. 2004. Peningkatan peran serta masyarakat dalam pengelolaan waduk Ir. Sutami (waduk karangkates) di Jawa Timur. *Prosiding Seminar Pengelolaan Waduk dan Danau di Indonesia*. Puslitbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Soekistijono, Harnanto, A. dan Hidayat, F. 2005. Coordinated Sedimen Flushing in Wlingi and Lodoyo Reservoirs and The Study of Its Economic Benefits and Effect to Water Quality and Ecosystem in The Downstream Reaches. *Prosiding International Symposium on Ecohydrology*. 21-26 November. IHP-UNESCO. Kuta-Bali.
- Sutrisno, Kusumadinata, S. dan Taufik, I. 2002. *Laporan Riset: Tingkat Pencemaran Logam Berat pada Ekosistem Waduk di Jawa Barat (Saguling, Cirata dan Jatiluhur)*. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar. Bogor.
- UNEP. 2010. *Plan and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication*. [http://www.unep.org/jp/ietc/publication/inde\\_pub.asp](http://www.unep.org/jp/ietc/publication/inde_pub.asp) (diakses Februari 2010).

## LAMPIRAN 1 KRITERIA STATUS MUTU EKOSISTEM DANAU

Parameter Danau	STATUS EKOSISTEM DANAU		
	Baik	Terancam	Rusak
<b>Ekosistem Akuatik</b>			
<b>Status Trofik</b>	Oligotrof - Mesotrof	Eutrof	Hypereutrof
<b>Status Mutu Air</b>	Tidak tercemar	Tercemar sedang	Tercemar berat
<b>Keanekaragaman Hayati</b>	Masih terdapat jenis fauna/flora endemik dan ash	Berkurangnya jenis fauna/flora endemik dan asli (indigenaus)	Hilangnya jenis fauna/flora endemik dan asli; banyak dan ditemukan jenis introduksi/invasive
<b>Jejaring Makan (<i>food web</i>)</b>	Tingkat trofik seimbang (produsen primer/ sekunder, konsumen/ tersier)	Tingkat trofik tidak seimbang	Tidak terjadi tingkat trofik
<b>Tutupan Tumbuhan Air</b>	Terkendali tidak menyebar dan tidak mengganggu fungsi danau	Kurang terkendali dan mengganggu fungsi danau	Menyebar tidak terkendali sangat mengganggu fungsi danau
<b>Alga/ganggang biru (<i>Microcystis</i>)</b>	Sedikit	Sedang	Marak ( <i>blooming</i> )
<b>Limbah Pakan Perikanan Budidaya</b>	Jumlah produksi ikan dan penggunaan pakan sesuai dengan daya tampung danau dan perizinan	Jumlah produksi ikan dan penggunaan pakan melebihi daya tampung danau akan tetapi memenuhi perizinan	Kegiatan budidaya dan pemakaian pakan tidak terkendali, tidak memenuhi perizinan dan tidak memenuhi daya tampung danau.
<b>Ekosistem Sempadan</b>			
<b>Sempadan Danau</b>	Tidak ada bangunan	Mulai ada sedikit bangunan	Banyak bangunan
<b>Sempadan Pasang Surut</b>	a) Tidak ada bangunan b) Tidak ada pengolahan lahan yaitu perkebunan dan sawah dengan pemupukan	Ada pengolahan lahan untuk perkebunan dan sawah tapi belum ada pemupukan.	a) Ada bangunan b) Ada pengolahan lahan untuk perkebunan dan sawah dengan pemupukan intensif
<b>Pembuangan Limbah</b>	Tidak ada pembuangan limbah	Ada pembuangan limbah, dan tidak ada sistem pengendalian pencemaran air, akan tetapi tidak melampaui daya tampung pencemaran air danau	Ada pembuangan limbah, dan tidak ada sistem pengendalian pencemaran air, serta telah melampaui daya tampung pencemaran air danau

Lanjutan Kriteria SMED

Parameter Danau	STATUS EKOSISTEM DANAU		
	Baik	Terancam	Rusak
<b>Pemanfaatan Air Danau</b>			
<b>Pemanfaatan Tenaga Air PLTA</b>	Tidak mengubah karakteristik pasang-surut muka air dan tidak mengganggu ekosistem akuatik	Mengubah karakteristik pasang-surut muka air akan tetapi tidak mengganggu ekosistem akuatik	Mengubah hidrologi dan neraca air sehingga air waduk surut drastis dan mengganggu ekosistem akuatik
<b>Pengambilan Air Baku</b>	Tidak mengubah karakteristik pasang-surut muka air dan tidak mengganggu ekosistem akuatik	Mengubah karakteristik pasang-surut muka air akan tetapi tidak mengganggu ekosistem akuatik	Mengubah hidrologi dan neraca air sehingga air danau surut drastis dan mengganggu ekosistem akuatik
<b>Ekosistem Terestrial Daerah Tangkapan Air Danau</b>			
<b>Penutupan vegetasi pada DAS atau lahan DTA</b>	>75%	30-75%	<30%
<b>Koefisien regim sungai (Qmax/Qmin) masuk danau</b>	<50	50-120	>120
<b>Erosi lahan DAS atau DTA</b>	Tingkat erosi masih dibawah toleransi	Tingkat erosi telah menyamai batas toleransi	Tingkat erosi telah melebihi batas toleransi
<b>Dampak Pendangkalan</b>	Tidak terjadi pendangkalan	Pendangkalan rata-rata <2% tahun dari kedalaman danau	Pendangkalan rata-rata > 2% tahun dari kedalaman danau
<b>Pembuangan Limbah</b>	Ada pembuangan limbah dan ada sistem pengendalian pencemaran air, serta sesuai dengan daya tampung pencemaran air danau	Ada pembuangan limbah dan tidak ada sistem pengendalian pencemaran air, tetapi tidak melampaui daya tampung pencemaran air danau	Ada pembuangan limbah dan tidak ada sistem pengendalian pencemaran air, tetapi tidak melampaui daya tampung pencemaran air danau

Sumber: Pedoman pengelolaan ekosistem danau, Kementerian Lingkungan Hidup (2008).