

MODEL PERHITUNGAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN AIR DANAU DAN WADUK

Oleh:

Badruddin Macbub

Narasumber dan praktisi lingkungan hidup sumber daya air

E-mail: badruddinmacbub@yahoo.com

Diterima: 27 Mei 2010; Disetujui: 9 September 2010

ABSTRAK

Indonesia memiliki banyak danau dan waduk dengan berbagai tipe dan klasifikasi. Jumlah total dari danau dan waduk dengan luas lebih dari 10 hektar adalah 521 dengan jumlah luas total 491.724. Ha. Danau dan waduk pada saat ini mengalami permasalahan lingkungan terutama pencemaran air. Karena itu, untuk mengelola kualitas air dan mengendalikan pencemaran air waduk danau diperlukan peraturan penentuan daya dukung beban pencemaran sebagai pertimbangan. Model perhitungan daya tampung beban pencemaran (DTBP) air danau dan waduk tersebut telah ditetapkan melalui Peraturan Menteri Lingkungan hidup Nomor: 28 Tahun 2009. Model ini telah diterapkan pada dua danau dan 5 waduk dengan model nol dimensi atau tercampur sempurna menggunakan piranti lunak Limnoqual versi 1. Berdasarkan model tersebut, diketahui bahwa untuk memenuhi daya tampung beban pencemaran air Danau Lindu dan Maninjau yang masing-masing 38,297 kg P/tahun dan 223,375 kg P/tahun, beban P yang masuk pada Danau Lindu dan Danau Maninjau masing-masing harus diturunkan 60,87% dan 74% serta dengan menurunkan jaring apung dari 10.000 menjadi 2000. Waduk-waduk di Jawa-Barat seperti Waduk Saguling harus menurunkan jaring apung 48,1% yaitu dari 6.980 menjadi 3.621 units, Waduk Cirata sebesar 85.9% yaitu dari 49.985 menjadi 7.037 unit dan Waduk Jatiluhur sebesar 57.7% dari 15.810 menjadi 6,692 unit, sementara itu pada Waduk Darma jaring apung harus diturunkan sebesar 71.2% yaitu dari 200 menjadi 58 unit.

Kata kunci: Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP), model, reaktor tercampur sempurna, kolam jaring apung, limnoqual versi 1.

ABSTRACT

Indonesia has various types of lakes and reservoirs. The total number of lakes and reservoirs larger than 10 ha is about 521 with total area 491.724. Ha. Some of the lakes and reservoirs face environmental problems caused by water pollution. However, implementation of water quality management and water pollution control regulations needs calculation of the Pollution Load Carrying Capacity (PLCC) as basis to consider the permitted load. A model to calculate PLCC for lakes or reservoirs was developed and regulated according to the Decree of the Ministry of Environment No. 28, 2009. The author has developed the PLCC model and implement it in two lakes, four reservoirs and five 'situs' (very small lake), and has developed also the Limnoqual version 01 software produced by Ecoterra Multiplan. This model is of zero dimension (completely stirred tank model), very simple and practical for quick calculation. Based on the model, pollution load in Lindu Lake has to be reduced 60.87% to fulfill the PLCC of 38,297 kg P/year; whereas the Maninjau Lake 74.0% to meet PLCC of 223,375 kg P/year and reducing the total number of fish cages from 10,000 to be 2,000. Reservoirs in West Java need water pollution control to meet the PLCC. The reservoirs Saguling has to reduce the number of fish cages with 48,1% (from 6,980 to 3,621 units), Cirata 85.9% (from 49,985 to 7,037 units), Jatiluhur 57.7% (from 15,810 to 6,692 units), and Darma 71.2% (from 200 to 58 units).

Keywords: Pollution Load Carrying Capacity (PLCC), model, completely mixed reactor, fish cage, limnoqual.

PENDAHULUAN

Perhitungan daya dukung danau dan waduk khususnya untuk perizinan usaha budidaya perikanan keramba jaring apung (KJA) saat ini hanya didasarkan kepada alokasi 1% dari luas perairan. Cara tersebut telah digunakan oleh pemerintah daerah yang dalam perizinannya menggunakan dasar asumsi alokasi luas perairan KJA 56 Ha di Saguling, 62 Ha di Cirata dan 83 Ha di Jatiluhur. Selain dasar perhitungan tersebut tidak tepat, juga ketertibannya tidak terkendali sehingga jumlah KJA sangat meningkat dengan cepat, khususnya di Waduk Cirata. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah pakan ikan yang digunakan pada ketiga waduk tersebut mencapai 174.000 ton, sehingga merupakan sumber pencemaran air yang besar, terutama parameter nutrisi yaitu senyawa nitrogen dan fosfor.

Unsur Nitrogen (total N) dan Fosfat (total P) yang terkandung dalam pakan ikan merupakan sumber pencemaran air yang dapat mendorong terjadinya eutrofikasi, disamping BOD yang menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut. Selain itu juga hasil peruraiannya yang menyebabkan timbulnya nitrit, amonia dan sulfida akan menyebabkan pencemaran air apabila jumlahnya berlebihan sehingga melampaui daya dukung waduk yang berakibat timbulnya marak alga.

Dengan demikian, pengendalian marak alga pada waduk atau danau perlu diperhitungkan melalui penentuan DTBPA dihitung secara benar dengan menyesuaikan kembali penetapan baku mutu air agar hasil perhitungannya sesuai dengan kondisi hidrodinamika waduk atau danau yang bersifat stagnan. Sebagai contoh parameter Fosfor (P-total) biasanya digunakan untuk penetapan DTBPA danau dan waduk. Akan tetapi apabila hanya mengacu pada syarat kualitas air pada Kelas 1 (kelas yang terbaik), maka kadar P-total maksimum 200 µg/l. Kadar tersebut sesuai untuk sungai, namun terlalu tinggi untuk danau dan waduk.

Permasalahan yang terjadi saat ini adalah perhitungan dan penetapan daya tampung beban pencemaran air (DTBPA) danau waduk untuk keperluan pengendalian pencemaran air belum banyak dilakukan, mengingat belum luasnya sosialisasi peraturan perundangan dan metodologi perhitungannya. Karena itu, tujuan penulisan ini adalah mengaplikasikan dan mensosialisasikan metode penentuan DTBPA yang aman bagi lingkungan perairan waduk maupun danau.

METODOLOGI

Penulisan dan kajian dalam makalah ini menggunakan metoda deskriptif, agar metoda serta langkah-langkah perhitungan dalam

menentukan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada waduk atau danau dapat dijelaskan secara lebih detil dan efektif. Selain itu, studi kasus penerapan metoda DTBP juga dibahas dalam kajian ini. Adapun jenis data dan parameter serta diagram alur penentuan DTBP dapat dilihat pada Gambar 1.

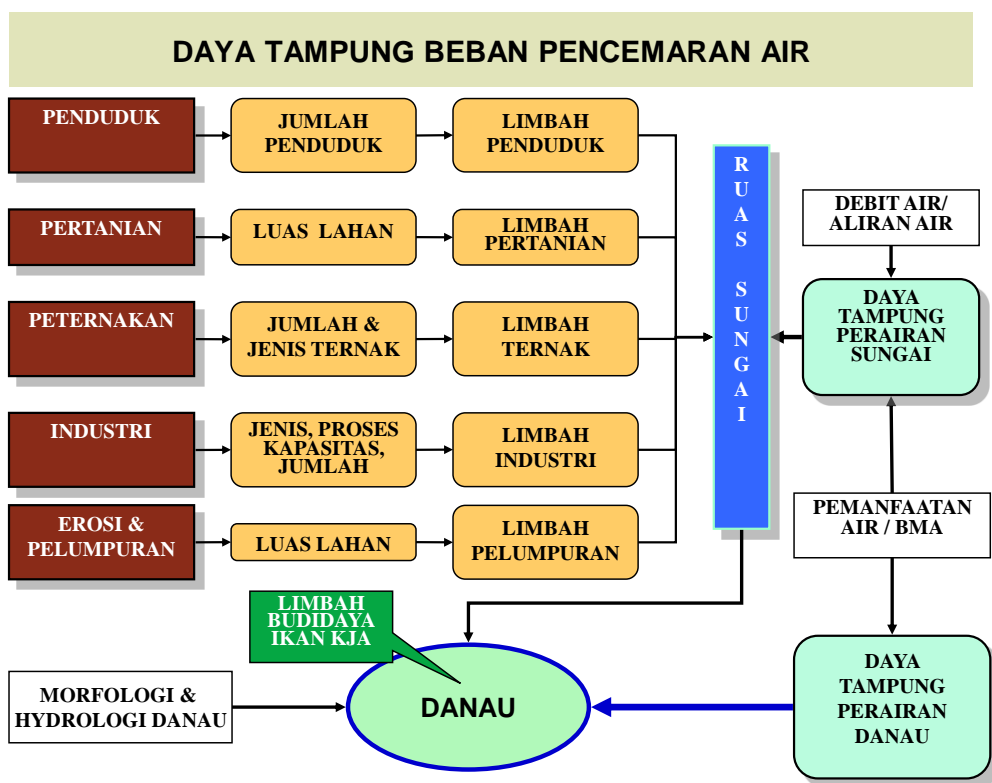
KAJIAN PUSTAKA

1 Peraturan Perundangan Pengendalian Pencemaran Air

Perhitungan dan penetapan daya tampung beban pencemaran air (DTBPA) pada sungai, danau dan waduk sangat diperlukan, karena sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku saat ini, perizinan pembuangan limbah ke dalam sumber air memerlukan dasar acuan hasil penetapan DTBPA. Demikian juga program pengendalian pencemaran air memerlukan ketetapan DTBPA tersebut. Peraturan perundangan yang mengatur pengelolaan kualitas air, pengendalian pencemaran air dan penetapan DTBPA adalah sebagai berikut:

- a) Undang-Undang No.7 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air, yang mengatur antara lain konservasi sumber daya air, pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.
- b) Undang-Undang No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Lingkungan Hidup, yang antara lain mengatur penetapan daya dukung lingkungan dan daya tampung beban pencemaran.
- c) Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, antara lain ketentuan tentang DayaTampung Beban Pencemaran Air.
- d) Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air (khususnya sungai).
- e) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 28 tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan atau Waduk
- f) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 01 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air, antara lain pedoman perhitungan DTBPA sungai.

Penetapan DTBPA danau dan waduk memerlukan cara perhitungan, yang telah dimuat dalam KEPMEN LH No. 28 tahun 2009 tersebut diatas, dimana penulis telah mengembangkan model perhitungan tersebut pada beberapa waduk dan danau.



Gambar 1 Diagram alir metodologi penentuan sumber dan beban pencemaran air untuk penentuan daya tampung waduk atau danau

2 Keperluan Pemodelan DTBPA Danau dan Waduk.

Penetapan DTBPA danau dan waduk memerlukan cara perhitungan antara lain yang telah dimuat dalam KEPMEN LH No. 28 tahun 2009 tersebut diatas, dimana penulis telah mengembangkan model perhitungan tersebut pada beberapa waduk dan danau. Pemodelan yang dipilih pada tahap ini adalah pemodelan yang relatif sederhana, rasional dan mudah diimplementasikannya.

Namun demikian pemodelan yang lebih komprehensif masih diperlukan, mengingat telah timbul berbagai permasalahan lingkungan danau dan waduk di Indonesia. Selain itu, Indonesia banyak memiliki danau, waduk dan situ, yaitu sebanyak 521 buah yang memiliki luas lebih dari 10 ha dengan jumlah luas seluruhnya 491.724 Ha (Nontji 1996 dalam KLH 2009).

3 Faktor Penentu Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan Waduk.

Daya tampung beban pencemaran air (DTBPA) adalah batas kemampuan sumber daya air untuk menerima masukan beban pencemaran yang tidak melebihi batas syarat kualitas air untuk

berbagai pemanfaatannya dan memenuhi baku mutu airnya. Pada perairan danau dan waduk, pengertian daya tampung tersebut lebih spesifik yaitu kemampuan perairan danau dan waduk menampung beban pencemaran air sehingga kualitas air tetap memenuhi syarat atau baku mutu serta sesuai dengan status trofik yang disyaratkan.

Persyaratan kualitas air untuk berbagai pemanfaatan air danau dan waduk yaitu baku mutu yang terdiri dari syarat kadar kualitas air fisika, kimia dan mikrobiologi. Sedangkan persyaratan status trofik air danau dan waduk terutama terdiri dari syarat kecerahan air, kadar unsur hara Nitrogen dan Fosfor serta kadar Klorofil-a. Oleh karena itu perhitungan daya tampung perairan danau dan waduk perlu memperhatikan sumber dan beban pencemaran air dan dampaknya terhadap pemanfaatan air serta kesinambungan fungsi danau.

Faktor penentu daya tampung beban pencemaran air danau antara lain adalah sebagai berikut:

- i. Morfometri, yaitu morfologi dan hidrologi danau atau waduk
- ii. Kualitas air danau dan waduk pada saat ini

- iii. Pemanfaatan sumber daya air danau dan waduk
- iv. Persyaratan kualitas air danau atau waduk, yaitu baku mutu air atau Kelas Air
- v. Persyaratan status trofik danau atau waduk
- vi. Alokasi beban pencemaran air untuk berbagai sumber dan jenis limbah yang masuk danau atau waduk. Alokasi tersebut untuk beban pencemaran dari daerah aliran sungai (DAS) atau dari daerah tangkapan air danau (DTA), serta untuk limbah kegiatan pada perairan danau atau waduk, antara lain limbah pakan ikan.
- vii. Alokasi beban pencemaran DAS atau DTA memperhatikan proyeksi pertumbuhan penduduk di masa depan serata tata-ruangnya atau RTRW.
- viii. Alokasi luas perairan untuk berbagai pemanfaatan.
- ix. Dukungan ketersediaan oksigen terlarut atau DO pada air danau . Kadar DO pada umumnya menunjukkan tingkat pencemaran air yang diakibatkan oleh peruraian dan oksidasi zat pencemar organik, antara lain BOD dan COD.

Danau sebagai sumberdaya air yang memiliki berbagai pemanfaatan, juga berfungsi sebagai penampung air dari daerah tangkapan air (DTA) dan daerah aliran sungai (DAS). Oleh karena itu berbagai unsur pencemaran air dari DTA dan DAS serta bantaran danau dan waduk terbawa masuk kedalam perairannya. Pada daerah tersebut terdapat berbagai kegiatan yang membuang limbah secara langsung dan tidak langsung ke danau dan waduk, antara lain limbah penduduk, pertanian, peternakan, serta industri dan pertambangan, termasuk erosi DAS sebagai sumber pencemaran air dan pendangkalan danau atau waduk.

Beban pencemaran dari berbagai sektor pada DTA dan DAS akan meningkat terus sesuai dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan kegiatan lainnya. Oleh karena itu jumlah beban pencemaran yang masuk perairan danau dan waduk termasuk limbah pakan ikan dari budidaya ikan (KJA) perlu ditentukan alokasinya dengan memperhatikan kondisi sosial ekonomi serta konservasi sumberdaya air jangka panjang.

Penentuan alokasi beban pencemaran dan daya tampung pada danau dan waduk harus memperhatikan syarat pemanfaatan air dan kelestarian air danau serta kebijaksanaan pemerintah daerah mengenai sumber dan beban pencemaran serta tingkat pengendaliannya yang ditargetkan. Sasaran pengendalian pencemaran air pada berbagai sektor kegiatan perlu ditentukan

alokasi beban pencemarannya, agar memenuhi daya tampung agar terjaga kelestariannya.

Pemodelan Kualitas Air Danau

Tingkat kedalaman model kualitas air danau adalah sebagai berikut (rumus pada Tabel 1):

- 1) Model 3-Dimensi, untuk laut dan danau besar
- 2) Model 2-Dimensi horizontal, untuk sungai (yang mengalami pencampuran transversal oleh arus air) dan danau (yang mengalami sirkulasi oleh angin)
- 3) Model 2-Dimensi vertical, untuk danau yang mengalami sirkulasi oleh angin
- 4) Model 0-Dimensi , untuk danau yang dianggap air bercampur sempurna "*fully mixed reactor*"

Metode pemodelan yang dikaji dan diuji pada beberapa danau dan waduk pada penelitian ini adalah model 0 –dimensi.

PENGEMBANGAN MODEL

Model Daya Tampung Beban Pencemaran Air (DTBPA) Danau

Diagram alir pengembangan model DTBPA terlihat pada Gambar 2 dan diuraikan sebagai berikut:

a) Morfologi dan hidrologi danau atau waduk.

Rumus morfologi dan hidrologi danau atau waduk adalah sebagai berikut:

- i. Morfologi danau atau waduk, yaitu luas perairan (A) dan volumenya (V), yang diperoleh dari hasil pengukuran dan kedalaman rata-rata (\bar{Z}) yang diperoleh dari hasil perhitungan Rumus (1) yaitu:

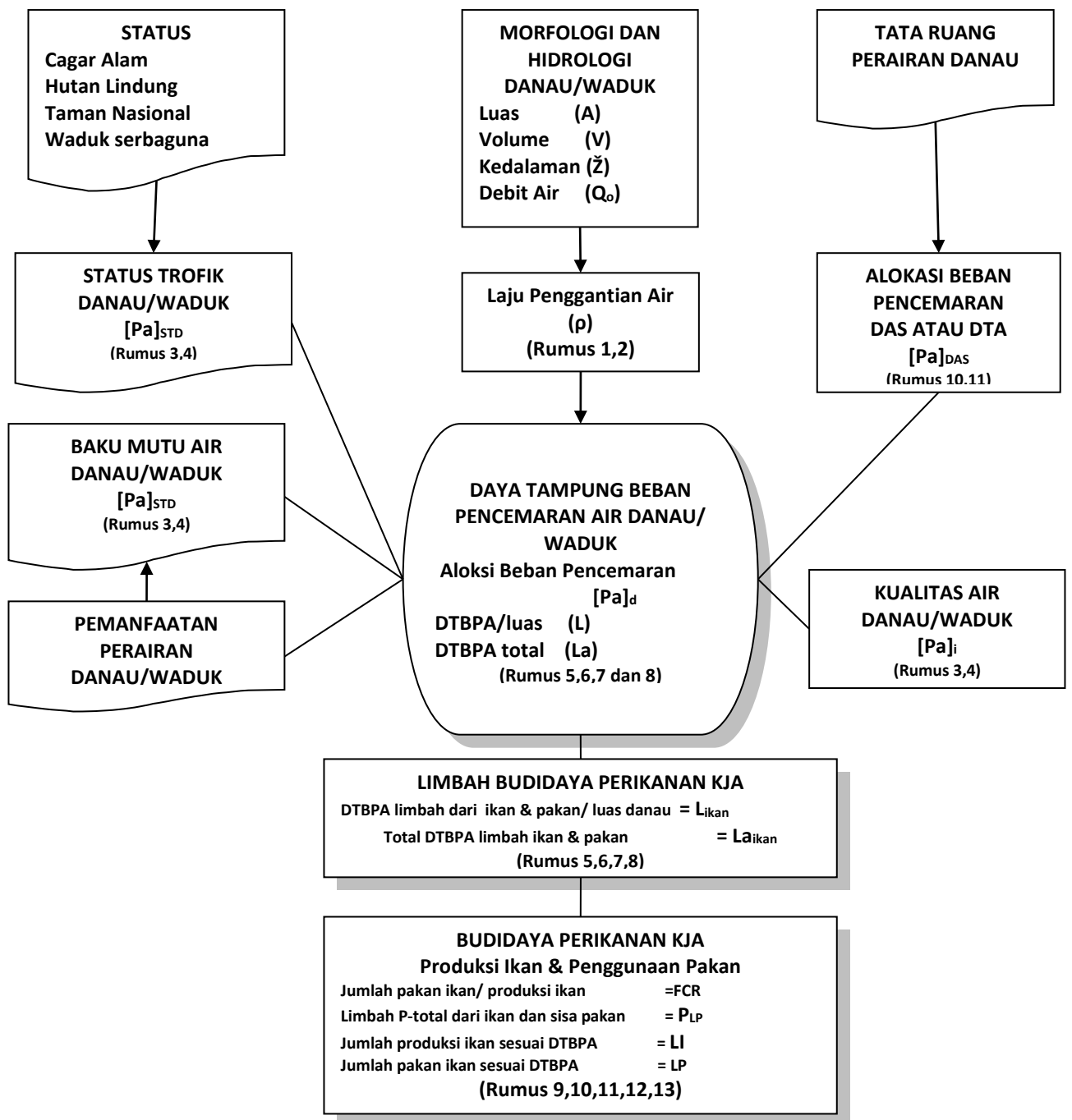
$$\bar{Z} = 100 \times V / A \quad (1)$$
 dimana:
 \bar{Z} , Kedalaman rata-rata danau atau waduk (m)
 V, Volume air danau atau waduk (juta m³)
 A, Luas perairan danau atau waduk (Ha)
- ii. Hidrologi danau dan waduk, yaitu debit air keluar dari waduk (Q_o), yang diperoleh dari hasil pengukuran.
- iii. Laju penggantian air danau atau waduk (ρ), yang diperoleh dari hasil perhitungan Rumus (2) sebagai berikut :

$$\rho = Q_o / V \quad (2)$$

dimana :

ρ , Laju penggantian air danau atau waduk (per tahun)

Q_o , Jumlah debit air keluar danau atau waduk (juta m³ / tahun)



Gambar 2 Skema Model dan Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau untuk Limbah Budi Daya Perikanan Keramba Jaring Apung (Rumus pengembangan Badruddin M.2009)

b) Alokasi beban pencemaran air yang masuk danau atau waduk.

Alokasi beban pencemaran air, yang dinyatakan dengan kadar parameter Pa adalah sebagai berikut:

- i. Syarat kadar parameter Pa maksimal sesuai ketentuan dalam Baku Mutu Air atau Kelas Air yaitu P_{STD}
- ii. Kadar parameter Pa hasil pemantauan danau atau waduk yaitu P_i
- iii. Jumlah alokasi beban kadar parameter Pa dari DAS atau DTA yaitu P_{DAS} yang diperoleh dari hasil penentuan atau kajian dan perhitungan Rumus (3)
- iv. Alokasi beban kadar parameter Pa yang berasal dari limbah yang langsung masuk danau/waduk atau berasal dari kegiatan yang berada pada perairan danau/waduk yaitu P_d , yang diperoleh dari hasil perhitungan Rumus (3) atau Rumus (4) yaitu:

$$P_{std} = P_i + P_{das} + P_d \quad (3)$$

$$P_d = P_{std} - P_i - P_{das} \quad (4)$$

dimana:

P_{std} , syarat kadar parameter P maksimal sesuai Baku Mutu Air atau Kelas Air dan status trofiknya (mg/m^3).

P_i , kadar parameter P hasil pemantauan danau atau waduk (mg/m^3).

P_{das} , jumlah alokasi beban P dari daerah aliran sungai (DAS) atau daerah tangkapan air (DTA), (mg/m^3).

P_d , alokasi beban P limbah kegiatan pada perairan danau atau waduk, terutama KJA (mg/m^3).

c) Daya tampung beban pencemaran air (DTBPA) pada danau atau waduk

Perhitungan jumlah daya tampung beban pencemaran air pada danau/waduk adalah sebagai berikut:

- i. Daya tampung parameter P per satuan luas danau atau waduk yaitu L, merupakan fungsi dari kedalaman rata-rata danau \bar{Z} , laju penggantian air danau/waduk yaitu ρ dan kadar parameter yang terbawa lumpur dan mengendap ke dasar danau/waduk. L dihitung dengan Rumus (5) dan Rumus (6) sebagai berikut:

$$L = P_{std} \bar{Z} \rho / (1 - R) \quad (5)$$

$$R = x + [(1-x)R] \quad (6)$$

$$R = 1 / (1 + 0,747 \rho^{0,507}) \quad (7)$$

$$La = L \times A \quad (8)$$

Dimana:

L : daya tampung parameter P per satuan luas danau atau waduk ($gr P/m^2 \cdot tahun$)

La : jumlah daya tampung parameter P pada perairan danau atau waduk ($gr P/tahun$)

R : Parameter parameter P yang tinggal bersama sedimen atau mengendap

R_i : Proporsi parameter P-total yang larut ke sedimen setelah ada KJA

x : proporsi total P-total yang secara permanen masuk ke dasar, 45-55%.

- ii. Jumlah daya tampung parameter Pa pada perairan danau atau waduk yaitu La , yang merupakan fungsi L dan luas perairan danau atau A. La dihitung berdasarkan Rumus (9):

$$La = L \times A \quad (9)$$

Dimana:

L : daya tampung parameter P per satuan luas danau atau waduk ($gr P/m^2 \cdot tahun$)

La : jumlah daya tampung parameter P pada perairan danau atau waduk ($gr P/tahun$).

- iii. Parameter utama pencemaran air sebagai indikator dan dasar perhitungan DTBPA danau dan waduk adalah P-total.
- iv. Syarat kualitas air sebagai dasar perhitungan DTBPA adalah syarat kadar P-total pada status trofik danau atau waduk, yaitu oligotrofik 10 $\mu g/l$, mesotrofik 30 $\mu g/l$ dan eutrofik 100 $\mu g/l$.
- v. Syarat kadar parameter lainnya mengacu pada Baku Mutu Air atau Kelas Air.

d) Daya tampung beban pencemaran air limbah budidaya ikan keramba jaring apung (KJA)

Perhitungan daya tampung beban pencemaran air limbah budidaya perikanan pada danau/waduk adalah sebagai berikut:

- i. Parameter utama pencemaran air sebagai indikator dan dasar perhitungan DTBPA limbah budi daya ikan KJA adalah P-total
- ii. Syarat kualitas air sebagai dasar perhitungan DTBPA untuk KJA adalah syarat kadar P-total pada status trofik danau atau waduk.
- iii. Daya tampung parameter P total per satuan luas danau atau waduk yaitu L_{ikan} , merupakan fungsi dari kedalaman rata-rata danau/waduk yaitu \bar{Z} , laju penggantian air danau/waduk yaitu ρ dan kadar parameter yang terbawa lumpur dan mengendap ke dasar danau/waduk. L_{ikan} dihitung dengan Rumus (5), Rumus (6) dan Rumus (7)
- iv. Jumlah daya tampung parameter P total pada perairan danau atau waduk yaitu La_{ikan} , yang merupakan fungsi L_{ikan} dan luas perairan danau atau A. La_{ikan} dihitung berdasarkan Rumus (8).

Tabel 1 Tingkat kedalaman model kualitas air danau dan waduk

No	Tippe Model	Rumus Model
1	Model 3-Dimensi , untuk laut dan danau besar	$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} =$ $= \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S(x, y, z, t) \pm S_{internal}$
2	Model 2-Dimensi horizontal , untuk sungai (yang mengalami pencampuran transversal oleh arus air) dan danau (yang mengalami sirkulasi oleh angin)	$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + \left(v_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) =$ $= \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + S(x, y, t) \pm S_{internal}$
3	Model 2-Dimensivertical , untuk danau yang mengalami sirkulasi oleh angin	$\frac{\partial C}{\partial t} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} =$ $= \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S(y, z, t) \pm S_{internal}$
4	Model 0-Dimensi , untuk danau yang dianggap air bercampur sempurna "fully mixed reactor"	$\frac{dC}{dt} = S(t) \pm S_{internal}$

Sumber: Géza Jolánkai, UNESCO, 2000 dan Badruddin 2009

a) Limbah Phosphor pada pakan budi daya ikan

Jumlah limbah Phosphor sebagai parameter P total dari sisa pakan dan limbah metabolisme ikanyaitu P_{LP} , adalah jumlah kadar P total dalam pakan ikan selama ikan tersebut dibudidayakan sampai dipanen dikurangi jumlah P total dalam ikan yang dipanen. Perhitungannya tercantum pada Rumus (9).

Sedangkan jumlah pakan ikan dinyatakan dengan nilai FCR (*feed consumption ratio*), yaitu jumlah berat pakan ikan selama periode budidaya atau pertumbuhan ikan dibagi dengan berat ikan saat dipanen. Nilai FCR sangat bervariasi 1,5-3,0 ton pakan/ton ikan, tergantung pada komposisi pakan, jenis ikan yang dibudidayakan dan teknik budidaya (KJA 1 tingkat atau 2 tingkat). Kadar P total dalam pakan ikan dan dalam produksi ikan diperoleh dari hasil analisis di laboratorium.

b) Daya dukung jumlah budidaya perikanan KJA

Perhitungan jumlah produksi ikan budidaya KJA dan jumlah pakannya sesuai dengan daya

tampung beban pencemaran air danau atau waduk yang tercantum pada Kotak 1 sebagai berikut:

i. DTBPA limbah pakan ikan adalah L_{ikan} yang juga merupakan fungsi morfometri danau dan waduk serta alokasi beban pencemaran P_d Rumus (9) dan (10) yaitu:

$$L_{ikan} = P_d \cdot \bar{Z} \cdot \rho / (1 - R) \quad (9)$$

$$L_{ikan} = L_{ikan} \times A \quad (10)$$

dimana:

L_{ikan} : daya tampung parameter P per satuan luas danau atau waduk untuk perikanan (gr P/m² . tahun)

L_{ikan} : jumlah daya tampung parameter P pada perairan danau atau waduk (grP/tahun)

ii. P-total yang masuk danau dari limbah ikan atau P_{LP} adalah fungsi jumlah konsumsi pakan atau FCR, kadar P-total dalam pakan atau P_{pakan} , dan kadar P-total dalam ikan atau P_{ikan} . Perhitungannya menggunakan Rumus (11) yaitu:

$$P_{LP} = FCR \times P_{pakan} - P_{ikan} \quad (11)$$

dimana :

P_{LP} :P-total yang masuk danau dari limbah ikan (Kg P/ton ikan)

FCR : *Feed Conversion Ratio* (ton pakan / ton ikan)

- P_{pak} : Kadar P-total dalam pakan (Kg P/ton pakan)
 P_{ikan} : Kadar P-total dalam ikan (Kg P/ton ikan)
- iii. Jumlah Produksi Ikan KJA agar memenuhi daya tampung beban pencemaran air atau LI adalah fungsi L_{ikan} dan P_{LP} , sesuai dengan Rumus (12):

$$LI = L_{\text{ikan}} / P_{LP} \quad (12)$$
LI : Jumlah Produksi Ikan KJA (ton ikan/tahun)
- iv. Jumlah Pakan Ikan KJA atau LP agar memenuhi daya tampung beban pencemaran air adalah fungsi FCR dan LI, sesuai dengan perhitungan pada Rumus (13):

$$LP = LI \times FCR \quad (13)$$
dimana:
LP : Jumlah Pakan Ikan KJA (ton pakan/tahun)

i) Parameter Kualitas Air

Pemodelan ini dapat diaplikasikan untuk semua parameter kualitas air yang berkaitan dengan sumber pencemaran, namun memerlukan sedikit modifikasi sesuai dengan karakteristik *biodegradable* dan pengendapan. Pengembangan model parameter kualitas air lainnya adalah sebagai berikut:

- i. Parameter utama indikator dampak pencemaran terhadap kualitas air antara lain oksigen terlarut atau DO tidak masuk dalam rumus model ini, karena memerlukan rumus perhitungan yang lebih komprehensif. Penulis sedang meneliti dan mengembangkan model Neraca Oksigen danau dan waduk untuk keperluan operasi dan pemeliharaan danau dan waduk serta pemanfaatan sumber daya airnya.
- ii. Model parameter korosivitas air sudah dikembangkan tersendiri oleh penulis berdasarkan data penelitian waduk-waduk di Pulau Jawa dan disampaikan pada Seminar Bendungan di Yogyakarta tahun 2009.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1 DTBPA Situ Tanpa Budidaya Perikanan KJA

Penggunaan Model DTBPA Danau untuk situ- situ yang ada di Kabupaten Bandung tercantum pada Tabel 2. Hasil pemodelan tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Semua situ di Kabupaten Bandung sebaiknya dipertahankan kualitas airnya, dengan status oligotrofik atau mesotrofik.
- b) Situ-situ Cileunca dan Cipanunjang mempunyai DTBPA yang relatif lebih besar dari situ-situ lainnya. Sekitar situ berkembang permukiman, pariwisata dan peternakan. Sumber daya air situ digunakan untuk PLTA

dan air baku PDAM dan masyarakat sekelilingnya. Kualitas airnya masih memenuhi status mesotrofik.

- c) Situ Patenggang memiliki DTBPA yang sangat rendah karena debit air keluar melalui saluran sangat kecil. Fungsi situ pada saat ini adalah pariwisata, namun sebaiknya statusnya dipertahankan sebagai situ oligotrofik, karena kualitas airnya juga memenuhi syarat.
- d) Situ Cisanti adalah sumber air Sungai Citarum yang berada pada kawasan hutan lindung dan memiliki DTPA cukup apabila berstatus mesotrofik. Namun sebaiknya statusnya dipertahankan sebagai situ oligotrofik karena kualitas airnya juga memenuhi syarat.
- e) Situ Ciharus berada pada kawasan hutan lindung yang mempunyai DTBPA cukup apabila bersatus mesotrofik. Namun sebaiknya statusnya juga dipertahankan sebagai situ oligotrofik karena kualitas airnya juga memenuhi syarat.
- f) Semua situ tersebut tidak boleh dikembangkan budidaya perikanan dengan pakan buatan atau KJA. Bila akan dikembangkan perikanan sebaiknya perikanan tangkap untuk kegiatan rekreasi atau pariwisata saja.

2 DTBPA Danau Tanpa Budidaya Perikanan KJA

Pemodelan DTBPA danau yang tidak digunakan untuk budidaya perikanan KJA dilakukan di Danau Lindu yang berada di Provinsi Sulawesi Tengah, yaitu di dalam Taman Nasional Lore Lindu. Danau ini merupakan bagian dari sistem sungai pada Wilayah Sungai (WS) Palu Lariang, dan merupakan pemasok air irigasi untuk daerah Irigasi Gumbasa serta kebutuhan air baku untuk Kota Palu dan sekitarnya. Air yang keluar dari Danau Lindu mengalir melalui Sungai Palili atau Sungai Rawa anak Sungai Gumbasa. Hasil pemodelannya tercantum pada Tabel 3, yaitu sebagai berikut:

- a) Sumber beban pencemaran air terbesar berasal dari erosi lahan pada daerah tangkapan air danau, kemudian dari limbah sawah. Sedangkan beban pencemaran dari limbah penduduk dan ternak relatif kecil.
- b) Kualitas air Danau Lindu pada saat ini berstatus eutrofik. Apabila danau ini berstatus eutrofik maka jumlah beban pencemaran air pada saat ini masih memenuhi DTBPA danau.
- c) Sebaiknya status kualitas air danau ditentukan mesotrofik. Mengingat kualitas airnya tidak memenuhi syarat apabila berstatus mesotrofik, maka sebaiknya beban pencemaran diturunkan sebanyak 60,86%.

Tabel 2 DTBPA Situ tanpa budidaya perikanan KJA

Parameter	Satuan	Cileunca	Cipanunjang	Patenggang	Cisanti	Ciharus
Morfometri						
Luas (A)	Ha	180	181	65	9	12
Volume (V)	Juta m ³	11,50	22,40	4,55	0,259	0,46
Kedalaman rata-rata (\bar{z})	M	6,39	12,38	7,00	3,00	4,00
Debit keluar (Q _o)	m ³ /sec,	5	8.5	0.0085	0.268	0.096
Jumlah debit keluar (Q _o)	Juta m ³ /tahun	155,52	264,38	0,26	8,34	2,99
Laju aliran (ρ)	Tahun ⁻¹	13,52	11,80	0,058	32,185	6,49
Waktu tinggal (T _w)	Tahun	0,074	0,085	17,210	0,031	0,154
Kualitas air						
Kadar parameter (Pi)	mg/m ³	1	1	17	0	0
Standar parameter (Pstd)	mg/m ³	30	30	30	30	30
Alokasi Pdas	mg/m ³	29	29	13	30	30
Alokasi beban (La)	kgP/thn	6.123	10.607	23	308	136
DTBPA & Daya Dukung						
DTBPA	kgP/thn	6.334	10.973	53	308	136
Daya dukung ekivalen jumlah orang PE	PE	80.996	140.307	303	4.070	1.799

- d) Sumber beban pencemaran terbesar adalah dari erosi dan pelumpuran DTA danau, yang dapat dikendalikan dengan pembangunan ceck dam atau sabo dam.
- e) Sumber pencemaran lainnya adalah limbah pupuk dari sawah sekitar danau, yang dapat dikendalikan dengan mengurangi konsumsi pupuk buatan dan menggantikannya dengan pupuk organik atau kompos.
- b) Sumber beban pencemaran air terbesar berasal dari limbah budidaya perikanan KJA, kemudian limbah sawah dan kebun, ladang serta erosi lahan hutan. Sedangkan beban pencemaran dari limbah penduduk dan ternak relatif kecil.

c) Kualitas air Danau Maninjau pada saat ini bahkan tidak memenuhi status eutrofik karena kadar parameter Phosphor yang tinggi akibat besarnya beban pencemaran air dari limbah KJA.

3 DTBPA Danau Dengan Budidaya Perikanan KJA

Pemodelan DTBPA danau yang digunakan untuk budidaya perikanan KJA dilakukan di Danau Maninjau yang berada di Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. Danau Maninjau merupakan salah satu kekayaan alam Sumatera Barat yang menjadi tujuan wisata, termasuk dari luar provinsi. Pemandangan pada danau ini sangat indah, yang dapat dinikmati hampir pada semua lokasi.

Sumber mata pencarian penduduk setempat sebagian besar adalah pertanian dan perikanan budidaya keramba jaring apung (KJA). Jumlah KJA di perairan Danau Maninjau meningkat cepat sejak tahun 2005 sampai sekarang (Gambar 3 dan 4), sedangkan jumlah pemilik KJA pada tahun 2009 adalah 1330 orang. Pertumbuhan jumlah KJA tersebut pada tahun 1997 adalah 2.854 petak, tahun 2005 adalah 4.920 petak, kemudian meningkat pesat pada tahun 2006 menjadi 8.955 petak dan pada tahun 2009 menjadi 9.830 petak.

a) Hasil pemodelan Danau Maninjau seperti tercantum pada Tabel 4 adalah sebagai berikut:

- d) Apabila baku mutu air danau ini berstatus eutrofik maka jumlah beban pencemaran air pada saat ini harus diturunkan hanya sebesar 16,23% saja.
- e) Sebaiknya status kualitas air danau alami ditentukan oligotrofik atau mesotrofik. Namun kondisi yang berkembang disekitar danau pada saat ini dan memberikan kesempatan mata pencarian untuk penduduk dalam usaha budidaya perikanan, maka sebaiknya berstatus mesotrofik. Agar memenuhi baku mutu tersenut maka sebaiknya beban pencemaran diturunkan sebanyak 74,0%.
- f) Sumber beban pencemaran terbesar adalah dari limbah KJA, yang dapat dikendalikan dengan mengurangi jumlah KJA dari 10.000 petak pada saat ini menjadi 2.000 petak saja.
- g) Sumber pencemaran lainnya adalah limbah pupuk dari sawah dan kebun sekitar danau, yang dapat dikendalikan dengan mengurangi konsumsi pupuk buatan dan menggantikannya dengan pupuk organik atau kompos.

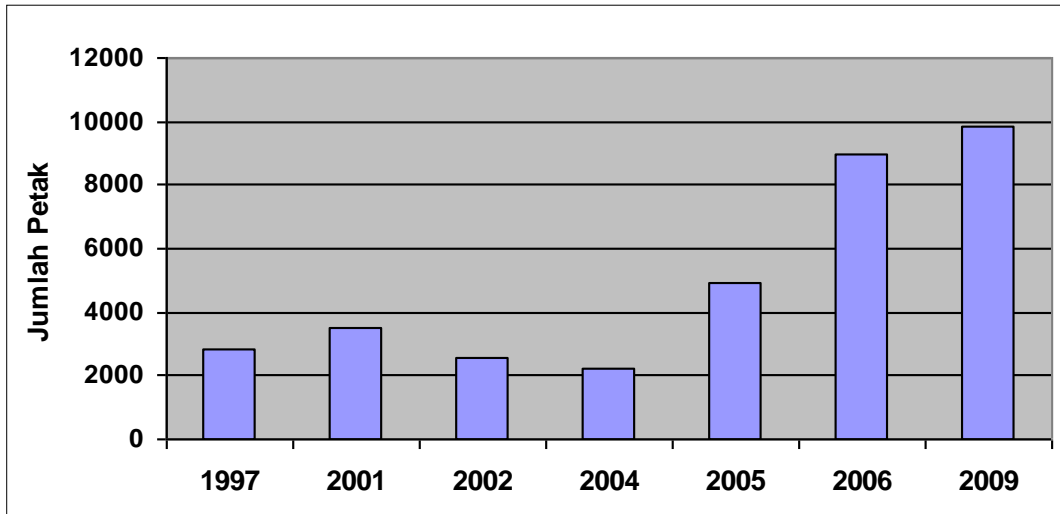
4 DTBPA Waduk Untuk Budidaya Perikanan KJA.

Waduk-waduk Saguling, Cirata dan Jatiluhur adalah waduk kaskade pada DAS Citarum. Waduk Jatiluhur dibangun tahun 1967 pada elevasi +111 m, dengan luas perairan 8300 Ha, kedalaman maksimum 90 m, dan volume 2,97 km³. Pemanfaatan air waduk adalah air baku untuk penduduk, irigasi pertanian, perikanan dan pariwisata, pengendalian banjir dan instalasi tenaga listrik (PLTA) sebesar 150 megawatt. Waduk Saguling dibangun pada tahun 1988 pada elevasi +645 m dengan luas perairan 5600 Ha dan kedalaman maksimum 90 m. Pemanfaatan air waduk adalah PLTA sebesar 700 megawatt, air baku, air perikanan dan pariwisata. Sedangkan waduk Cirata dibangun tahun 1996 pada elevasi +200 m, dengan luas perairan 6200 Ha, kedalaman

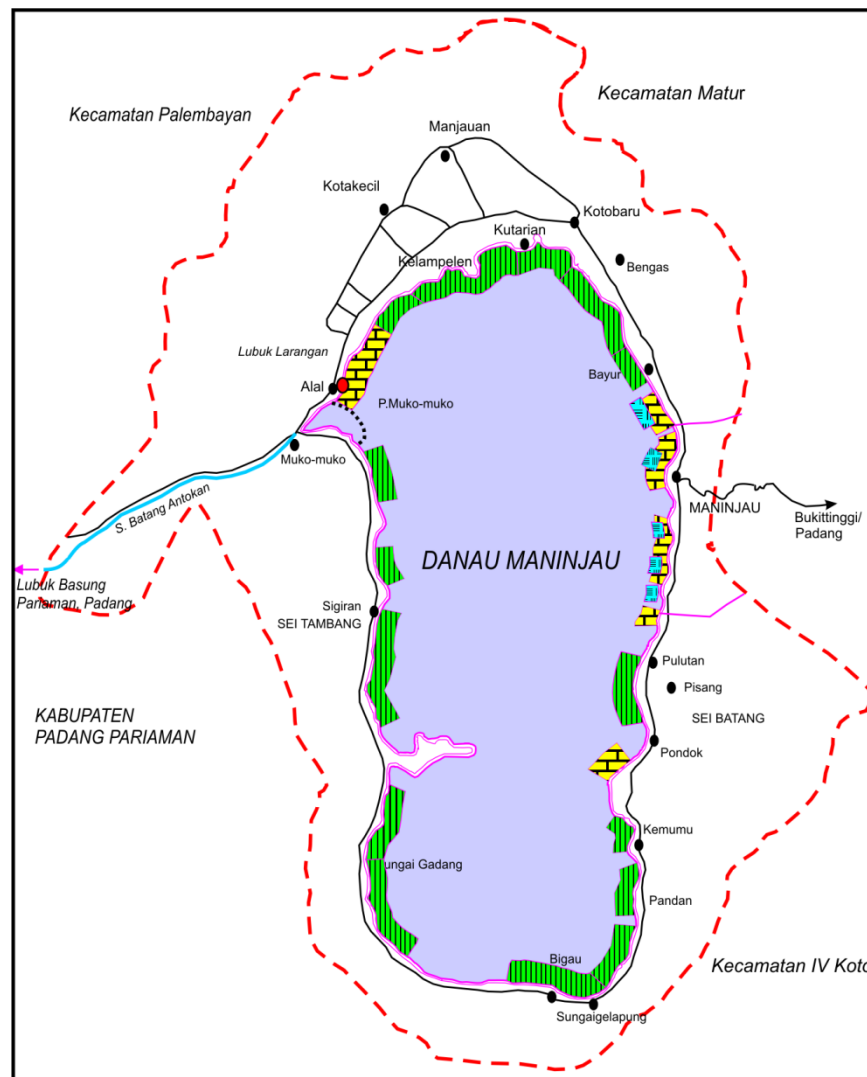
maksimum 106 m, dan volume 2,16 km³. Pemanfaatan air waduk adalah air baku untuk penduduk, irigasi pertanian, perikanan dan pariwisata, dan instalasi tenaga listrik (PLTA) sebesar 500 megawatt. Waduk Darma yang dibangun pada tahun 1952 pada elevasi 670 m DMA memiliki luas 4 km² dan kedalaman maksimum 14 m serta volume 4 juta m³. Waduk ini terletak di Kabupaten Kuningan, dan merupakan hulu S. Cisanggarung yang mengalir melalui Kabupaten Kuningan dan Kabupaten Cirebon. Pemanfaatan air waduk adalah air baku untuk penduduk, irigasi pertanian, perikanan dan pariwisata (Tabel 5 dan 6).

Tabel 3 DTBPA Danau Lindu tanpa budidaya perikanan

Karakteristik Danau	Satuan	D.Lindu Eutrofik	D.Lindu Mesotrofik
Morfometri			
Luas (A)	Ha	3.468	3.468
Volume (V)	juta m ³	1.328	1.328
Kedalaman rata-rata (\bar{Z})	m	38,29	38,29
Debit keluar (Qo)	m ³ /sec	15,4	15,4
Jumlah debit keluar (Qo)	Juta m ³ /tahun	479	479
Laju aliran (ρ)	tahun ⁻¹	0,361	0,361
Waktu tinggal (Tw)	tahun	2,772	2,772
Kualitas air			
Kadar parameter (Pi)	mg/m ³	63	63
Standar parameter (Pstd)	mg/m ³	100	30
Alokasi Pdas	mg/m ³	37	-33
Alokasi beban (La)	kgP/thn	47.233	- 42.127
DTBPA	kg P/thn	127.657	38.297
Potensi Beban DTA			
Penduduk	(kgP/thn)	307	307
Ternak	(kgP/thn)	83	83
Sawah	(kgP/thn)	27.680	27.680
Kebun	(kgP/thn)	8.025	8.025
Ladang	(kgP/thn)	1,419	1,419
Erosi humus hutan	(kgP/thn)	60.354	60.354
Jumlah beban L	(kgP/thn)	97.868	97.868
PPA%		0	60,87



Gambar 3 Perkembangan budi daya ikan KJA di Danau Maninjau. (Sumber: Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Agam 2004 dan 2009, dan Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Kabupaten Agam, 2009).



Gambar 4 Peta sebaran keramba jaring apung di Danau Maninjau (Sumber: pemetaan oleh Ecoterra Multiplan 2009).

Tabel 4 DTBPA Danau Maninjau dengan budidaya perikanan KJA

Karakteristik Danau	Satuan	D.Maninjau Eutrofik	D.Maninjau Mesotrofik
Morfometri			
Luas (A)	Ha	9.737,50	9.737,50
Volume (V)	juta m ³	10.226,20	10.226,20
Kedalaman rata-rata (Z̄)	m	105,02	105,02
Debit keluar (Qo)	m ³ /sec	14,13	14,13
Jumlah debit keluar (Q _o)	Juta m ³ /tahun	439,50	439,50
Laju aliran (ρ)	tahun ⁻¹	0,043	0,043
Waktu tinggal (Tw)	tahun	23,268	23,268
Kualitas air			
Kadar parameter (Pi)	mg/m ³	115	115
Standar parameter (Pstd)	mg/m ³	100	30
Alokasi Pdas + Pd	mg/m ³	-15	- 85
Alokasi beban (La)	kgP/thn	-104.139	-590.123
DTBPA	kg P/thn	719.720	223.375
Potensi Beban DTA			
Penduduk	kgP/thn	2.308	2.308
Ternak	kgP/thn	53	53
Sawah	kgP/thn	50.360	50.360
Kebun dan Ladang	kgP/thn	9.015	9.015
Erosi humus hutan	kgP/thn	9.036	9.036
Budi daya perikanan KJA	kgP/thn	788.413	788.413
Jumlah beban (L)	kgP/thn	859.186	859.186
PPA%		16,23	74,00

Ketiga waduk yang berada di aliran sungai Citarum ini ditinjau dari perikanan memiliki potensi konsumsi pakan ikan yang sangat besar, yaitu jenis pakan tenggelam. Oleh karena itu sisa pakan dan limbah ikan sebagian besar mengendap dan berakumulasi di dasar waduk. Jumlah konsumsi pakan ikan adalah sebagai berikut:

- Waduk Cirata sekitar 9.000 ton per bulan
- Waduk Jatiluhur sekitar 5.000 ton per bulan
- Waduk Saguling sekitar 700 ton per bulan

Jumlah KJA meningkat sangat drastis terutama di Waduk Cirata (Gambar 10), padahal beban pencemaran pada waduk-waduk di DAS

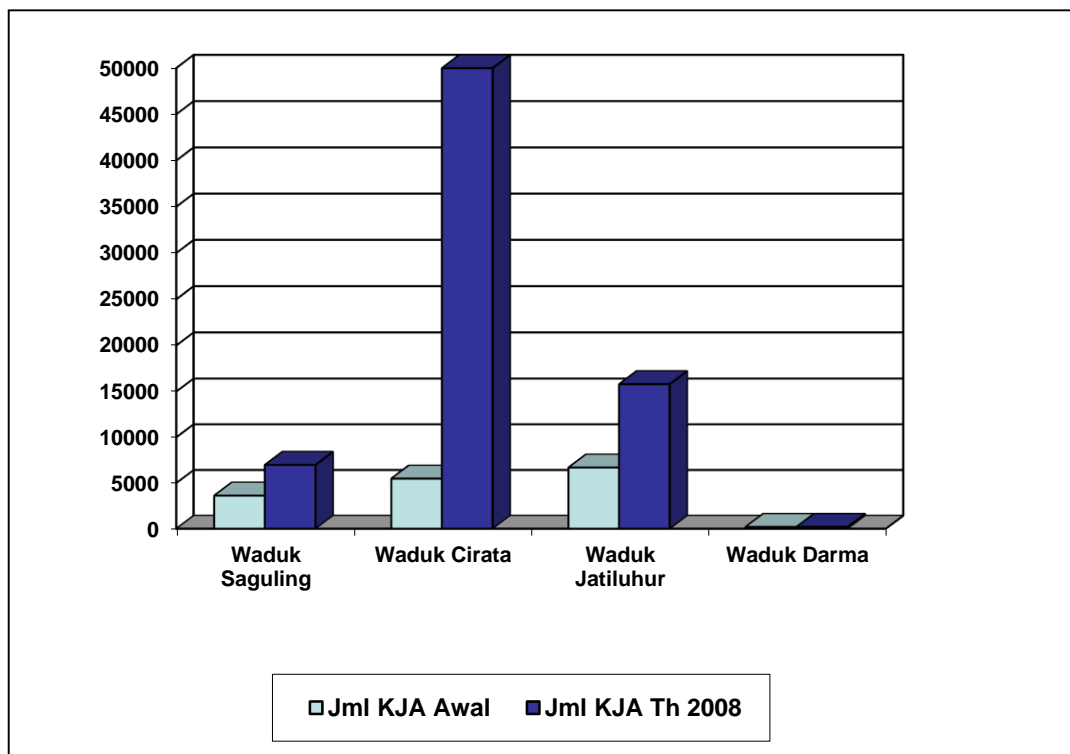
Citarum sangat tinggi. Hasil pemodelan DTBPA waduk dan daya dukung KJA adalah sebagai berikut (Tabel 6 dan Gambar 6-9):

- BMA waduk-waduk Saguling, Cirata, Jatiluhur dan Darma sebaiknya bersetatus eutrofik, mengingat beban lingkungan DAS yang tinggi, yaitu dari limbah penduduk, limbah industri, limbah pertanian dan peternakan serta beban limbah perikanan pada perairan waduk.
- Daya dukung jumlah unit petak KJA pada waduk-waduk tersebut adalah: 3.621 di Saguling, 7.037 di Cirata, 6.692 di Jatiluhur dan 58 di Darma.

Tabel 5 Karakteristik Waduk Darma, Jatiluhur, Saguling dan Cirata

Nama Waduk	Pem-Bangunan	Elevasi (m)	Luas (Ha)	Dalam Maks (m)	Volume (km ³)	Pemanfaatan	PLTA
Darma	1952	670	397	14	0,004	B, I, T, PW	
Jatiluhur	1967	111	7780	90	2,97	B, I, T, L, PW, PB	150 MW
Saguling	1988	645	4869	90	0,93	B, I, L, PW	700 MW
Cirata	1996	200	6200	106	2,16	B, I, L, PW	500 MW

Keterangan: B – air baku, T – pertanian, I – perikanan, L – listrik/PLTA, PB – pengendalian banjir, PW – pariwisata (Sumber:; Lehmusluoto & Badruddin, 1995 dan Badruddin, dkk., 2003)



Gambar 5 Jumlah Keramba jaring apung budi daya ikan di Waduk Saguling, Cirata, Jatiluhur dan Waduk Darma.

- c) Waduk-waduk pada DAS Citarum khususnya Saguling sudah tercemar berat melampaui DTBPA dan status trofiknya.
- d) Pengendalian pencemaran air dapat dilakukan dengan pengurangan jumlah KJA Saguling sebesar 48,1%, Cirata 85,9%, Jatiluhur 57,7% dan Darma 71,2%.
- e) Selain pengurangan jumlah KJA, beban pencemaran dari DAS juga harus diturunkan. Beban DAS Citarum hulu yang memasuki Saguling harus diturunkan sebanyak 53,1%.

5 Pembahasan Hasil Pemodelan DTBPA Danau

Pemodelan DTBPA (daya tampung beban pencemaran air) yang telah dilakukan pada situ, danau dan waduk menghasilkan nilai DTBPA total, yaitu yang berasal dari beban pencemaran yang bersumber pada DAS (daerah aliran sungai yang memasuki danau atau waduk) atau DTA (daerah tangkapan air danau atau waduk), dan yang bersumber dari limbah kegiatan diatas perairan danau dan waduk. Selain hasil perhitungan DTBPA total, dihasilkan juga DTBPA limbah budi daya ikan sistem KJA (keramba jaring apung) serta daya dukung jumlah KJA pada perairan danau dan waduk tersebut.

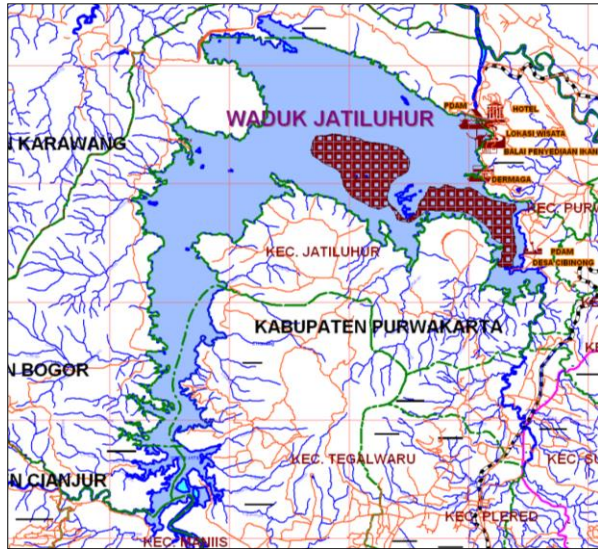
Model ini berdimensi nol, karena menggunakan asumsi dasar terjadi pencampuran merata pada air danau dan waduk yang dimodelkan. Sesungguhnya proses ini jarang

terjadi, kecuali pada danau dan waduk yang memiliki laju aliran air relatif cepat. Namun demikian hasil keluarannya dapat digunakan untuk keperluan acuan teknis perencanaan pemanfaatan perairan danau dan waduk serta perizinan kegiatan yang membuang limbah pada perairan tersebut. Model ini sesuai untuk keperluan perhitungan beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran yang berbasis perhitungan neraca masa dinamis.

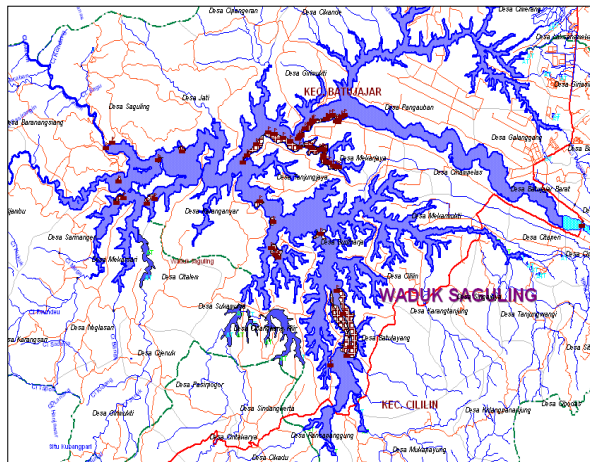
Apabila diperlukan studi yang spesifik, antara lain penyebaran zat pencemar pada perairannya maka diperlukan jenis model lainnya, yaitu:

- a) Model satu dimensi untuk tampungan air *long storage* pada sungai, dan danau atau waduk dangkal berbentuk alur sungai
- b) Model dua dimensi untuk danau dan waduk dangkal
- c) Model tiga dimensi untuk danau dan waduk dalam

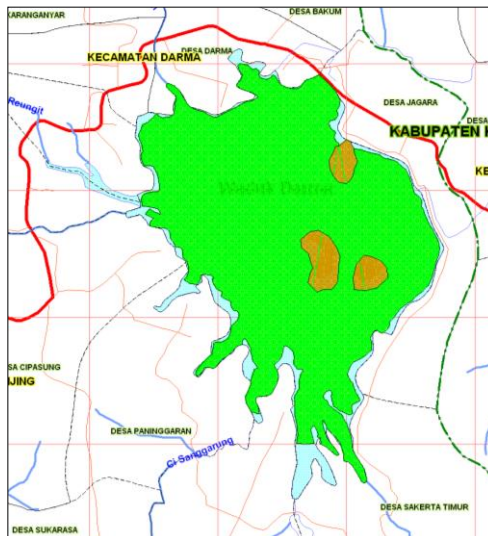
Penulis mengembangkan model tersebut menjadi software yaitu LYMNOQUAL, yang diproduksi oleh Ecoterra Multiplan. Software tersebut dibuat dalam berbagai versi, sesuai dengan luasan cakupan informasi dan tingkat kedalaman proses perhitungan. Model yang penulis gunakan dalam penelitian ini menggunakan versi yang paling sederhana, yaitu Lymnoqual versi 01.



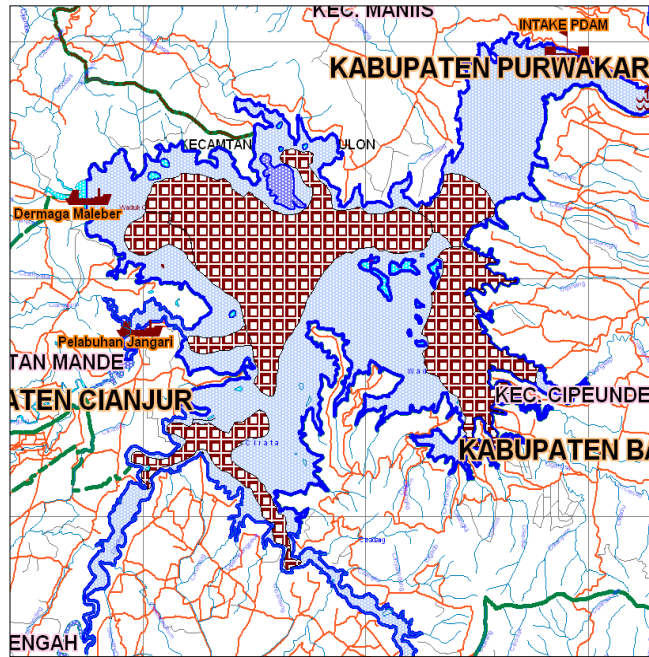
Gambar 6 Peta sebaran keramba jaring apung di Waduk Jatiluhur



Gambar 7 Peta sebaran keramba jaring apung di Waduk Saguling



Gambar 8 Peta sebaran keramba jaring apung di Waduk Darma



Gambar 9 Peta sebaran keramba jaring apung di Waduk Cirata

Tabel 6 DTBPA Waduk Untuk Budidaya Perikanan KJA

Parameter	Satuan	W.Saguling (Eutrofik)	W.Cirata (Eutrofik)	W.Jatiluhur (Eutrofik)	W.Darma (Eutrofik)
Morfometri					
Luas (A)	Ha	4869	6200	7780	397
Volume (V)	Juta m ³	875	2165	2556	37,9
Kedalaman rata-rata (\bar{Z})	m	17,97	34,92	32,85	9,55
Debit keluar (Q _o)	m ³ /sec,	77.59	100	123.62	0.854
Jumlah debit keluar (Q _o)	Juta m ³ / tahun	2.413,48	3.110,40	3.845,03	26,56
Laju aliran (ρ)	Tahun ⁻¹	2,758	1,437	1,50	0,70
Waktu tinggal (T _w)	Tahun	0,363	0,696	0,665	1,427
Kualitas air					
Kadar parameter (P _i)	mg/m ³	203	147	123	31.5
Standar parameter (P _{std})	mg/m ³	100	100	100	100
Alokasi P _{das}	mg/m ³	50	50	50	50
Alokasi Pikan untuk KJA, (P _d)	mg/m ³	50	50	50	50
Kelebihan/ sisa kadar P	mg/m ³	-153	-97	-73	18.5
DTBPA total	kg P/thn	869.020	1.688.974	1.605.968	13.826
DTBPA alokasi DAS	kg P/thn	434.510	844.487	802.984	6.913
DTBPA alokasi KJA	kg P/thn	434.510	844.487	802.984	6.913
Pengendalian jumlah KJA					
Jumlah alokasi KJA	Unit petak	3.621	7.037	6.692	58
Jumlah KJA sekarang	Unit petak	6.980	49.985	15.810	200
Pengurangan jumlah KJA	Unit	3.359	42.948	9.118	142
Pengurangan jumlah KJA	%	48,1	85,9	57,7	71,2
Pengendalian beban DAS					
Beban KJA sekarang	kg P/thn	96,5	Perhitungan tingkat pengendalian beban pencemaran air dari DAS Citarum hulu yang memasuki W.Saguling didasarkan pada asumsi jumlah KJA di waduk juga dikurangi sesuai hasil perhitungan pada pemodelan ini.		
Beban DAS	kg P/thn	106,5			
DTBPA alokasi DAS	kg P/thn	434.510			
Beban DAS	kg P/thn	925.507			
Pengurangan beban DAS	kg P/thn	490.997			
Pengurangan beban DAS	%	53,1			

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a) Danau dan waduk memerlukan pengelolaan untuk kesinambungan pemanfaatan dan kelestarian ekosistemnya, terutama pengendalian pencemaran air yang memasuki perairannya.
- b) Pengendalian pencemaran air danau dan waduk memerlukan informasi sumber dan beban pencemaran air dan daya tampung beban pencemarannya (DTBPA), antara lain menggunakan metode pemodelan DTBPA Danau Pemodelan DTBPA danau dan waduk memerlukan kajian tentang karakteristik morfometrinya, serta peraturan yang terkait dengan baku mutu air serta status trofiknya.
- c) Penggunaan model kualitas air danau untuk penentuan DTBPA dan perkiraan dampak pencemaran air banyak bervariasi, namun diperlukan model yang sederhana agar mudah penggunaannya dalam rangka perizinan kegiatan pembuangan limbah kedalam perairan danau dan waduk memerlukan informasi atau acuan DTBPA.
- d) Perlu dikembangkan pemodelan yang lebih spesifik sesuai dengan keperluannya, serta sesuai dengan jenis dan karakteristik danau, waduk dan situ diantaranya adalah pengembangan atau aplikasi piranti lunak model 2 dimensi dan model 3 dimensi.

UCAPAN TERIMA-KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada instansi-instansi yang telah memberikan bantuan kerjasama dan dukungannya, sehingga terlaksananya studi ini, yaitu:

- a) BPLHD Provinsi Jawa Barat tentang kajian waduk-waduk Saguling, Cirata, Jatiluhur dan Darma pada tahun 2008.
- b) Kementerian Negara Lingkungan Hidup tentang kajian Danau Maninjau pada tahun 2009.
- c) Balai Wilayah Sungai Palu Lariang, Ditjend Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum tentang kajian Danau Lindu pada tahun 2008.
- d) BPLH Kabupaten Bandung tentang kajian daya tampung beban pencemaran sungai dan situ-situ pada tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Badruddin M, 2007. *Kajian Daya Dukung Perairan Danau, Laporan Teknis Kementerian Negara Lingkungan Hidup.*
- Badruddin M, 2009. Model Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan Waduk, dokumen bahan diskusi KNLH.
- Badruddin M, 2009. *Pengendalian Pencemaran Air Danau dan Waduk*, Seminar Bendungan, Yogyakarta, Agustus 2009.
- Géza Jolánkai, 2000, *Water Quality Modelling*, IHP-UNESCO.
- Kementerian Negara dan Lingkungan Hidup, 2008, *Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau.*
- Kementerian Negara dan Lingkungan Hidup, 2009, *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/atau Waduk.*
- Lehmusluoto, P., B. Machbub., N. Terangna., S. Rusmiputro., F. Ahmad, L. Boer., S.S.Brahmana., B. Priadi., B. Setiadji, K. H. Timotius dan F. Goeltenboth. 1999, *Limnology in Indonesia, From the Legacy of The Past to the Prospects for the Future*, Limnology in Developing Countries, Vol.2, International Association for Limnology Wiley & Sons, Toronto-Canada.
- UNEP-IETC/ILEC. 2001. *Lakes and Reservoirs. Similarities, Differences and Importance.* Shiga-Japan. Vol.1.ISBN4-906356-27-3 .
- UNEP-IETC/ILEC. 2001. *Lakes and Reservoirs. The Watershed: Water from The Mountains Into The Sea.* Shiga-Japan. Vol.2.ISBN4-906356-29-X.
- UNEP-IETC-ILEC. 2001. *Lakes and Reservoirs. Water Quality: The impact of Eutrophication*, Shiga-Japan.Vol.3, ISBN4-906356-31-1.