

**EUTROFIKASI NITROGEN DAN FOSFOR SERTA PENGENDALIANNYA
DENGAN PERIKANAN DI WADUK SERMO
(*Eutrophication by Nitrogen and Phosphorous and
Its Control Using Fisheries in Sermo Reservoir*)**

Rustadi

Jurusan Perikanan Fakultas Pertanian UGM
rustadi2005@yahoo.com

Diterima : 6 Agustus 2009

Disetujui: 28 Agustus 2009

Abstrak

Penelitian mengenai konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (P) dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi tingkat eutrofikasi dan pencemaran air, menghitung neraca N total dan P total serta melakukan pengendaliannya menggunakan perikanan. Penelitian dilakukan menggunakan metode survai, yaitu melakukan pengambilan sampel dan pengamatan air secara *purposive*. Pengambilan sampel air di daerah waduk (hulu, tengah dan hilir waduk) dan daerah sungai (sungai masuk dan sungai keluar). Di daerah waduk diamati pada jeluk air: 0 m, 2 m, 4 m dan dasar. Pengambilan sampel air dilakukan tiap bulan, mulai Juni 2006 sampai Mei 2007. Variabel penelitian meliputi: amonia, amonium, nitrit, nitrat dan fosfat; N total dan P total, suhu air, kekeruhan, TDS, TSS, O₂ terlarut, pH, CO₂ bebas, alkalinitas dan plankton. Eutrofikasi air oleh N dan P dianalisis secara diskriptif dan tingkat pencemaran air dihitung menggunakan Indeks Pencemaran (IP) yang disyaratkan PP RI Nomor 82. Neraca N total dan P total dihitung dengan *input-output*, sedangkan pengendaliannya menggunakan metode simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eutrofikasi pada tingkat eutrofik sampai hipereutrofik, pencemaran air masih tergolong ringan di daerah budidaya ikan dan waktu konsentrasi P maksimum; budidaya ikan menggunakan KJA jaring ganda, penebaran dan pemanenan ikan di luar KJA dapat mengurangi residu dan beban N total dan P total.

Kata kunci: eutrofikasi, waduk, pengendalian N dan P, perikanan

Abstract

The research of nitrogen (N) and phosphorus (P) in Sermo reservoir aimed to evaluate water eutrophication and pollution, to calculate N total and P total budget and to control its concentration using fisheries. The research was conducted by direct observation and measurement on water samples taken from inflow and outflow rivers, upstream, middle and downstream areas of reservoir. The samples in reservoir were taken at water depth: 0, 2, 4 m and the bottom. Observation was done monthly from June 2006 up to May 2007. The variables were ammonia, ammonium, nitrite, nitrate and phosphate concentration, N total and P total, water temperature, transparency, turbidity, total dissolved and suspended solids, dissolved O₂, pH, free CO₂, alkalinity and plankton. The research conclude that eutrophication level varies from eutrophic to hypereutrophic, light pollution was found in fish culture area and when the highest concentration of P; controlling of N and P by fish culture using double nets, fish stocking and harvesting in outside net cage may eliminate residue and decrease loading of N total and P total in the water.

Key words: eutrophication, reservoir, N and P control, fisheries

PENDAHULUAN

Waduk Sermo (± 150 ha) adalah satu-satunya waduk di Daerah Istimewa Yogyakarta yang dibangun di Kabupaten Kulonprogo tahun 1996 (Gambar 1). Waduk ini mempunyai fungsi multi-guna yaitu untuk pengendali banjir, irigasi dan air baku, perikanan tangkap dan budidaya (akuakultur) serta rekreasi (Dirjen Pengairan, 1996). Waduk Sermo mendapatkan suplai air hanya berasal dari air hujan di daerah aliran sungai di hulu yang masuk melalui sungai-sungai dan hujan yang langsung di perairan waduk, sedangkan mata air yang mengalir tetap tidak ada. Dengan demikian maka air hujan memiliki peranan yang besar dalam mengangkut bahan erosi dan limbah organik dari DAS hulu yang kemudian terendapkan di dasar waduk. Selain dari air masuk, limbah organik dari budidaya ikan dan aktivitas penduduk di sekitar waduk juga menambah akumulasi sedimen.

Limbah organik dalam air dan sedimen waduk mengalami dekomposisi dan meningkatkan konsentrasi unsur nitrogen (N) dan fosfor (P), yang dapat mendorong pertumbuhan fitoplankton. Pada konsentrasi yang optimum, unsur hara N dan P menguntungkan bagi pertumbuhan fitoplankton yang merupakan makanan ikan sehingga dapat meningkatkan produksi ikan di waduk. Namun ketika konsentrasi unsur-unsur tersebut tinggi, terjadi pertumbuhan fitoplankton yang berlebih (*blooming*) atau eutrofikasi dan bisa terjadi pencemaran air waduk. Apabila sudah parah, kualitas air akan menurun, air berubah menjadi keruh, oksigen terlarut rendah, timbul gas-gas beracun dan bahan beracun (*cyanotoxin*) (Sugiura *et al.*, 2004). Kondisi tersebut bisa menyebabkan perairan waduk kurang layak untuk sumber air baku dan rekreasi serta daya dukung lingkungan untuk berbagai fungsi menurun.

Oleh karena itu maka penelitian tentang eutrofikasi N dan P di perairan Waduk Sermo perlu dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat eutrofikasi dan pencemaran air waduk secara fisik dan kimia,

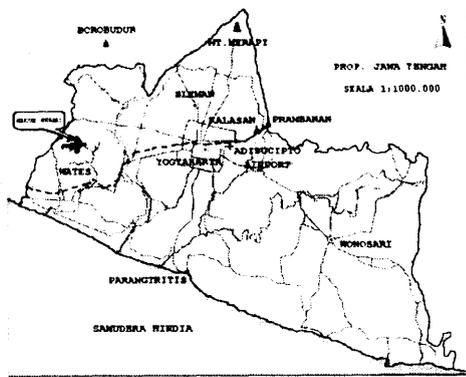
menghitung neraca N total dan P total serta melakukan simulasi pengendaliannya.

METODE PENELITIAN

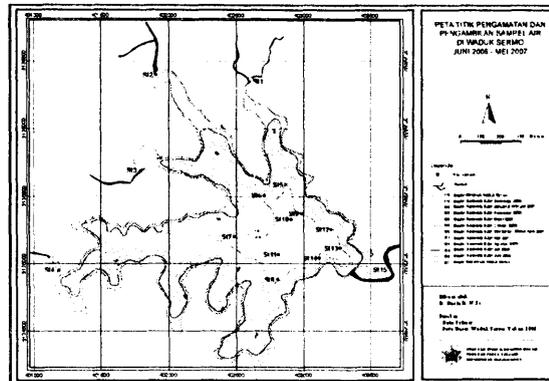
Penelitian ini dilaksanakan dengan metode survai, yaitu mengambil dan mengukur konsentrasi N, P dan parameter kualitas air lainnya. Stasiun pengambilan contoh air ditentukan sesuai tujuan (*purposive*). Perairan Waduk Sermo dan sungainya secara serial dibagi menjadi lima daerah. Tiap daerah kemudian ditentukan titiknya, yaitu daerah sungai masuk (empat sungai masing-masing satu titik), hulu waduk (empat titik), tengah waduk (3 titik), hilir waduk (3 titik) dan sungai keluar (satu titik). Penyebaran titik pengamatan secara horizontal tercantum pada Gambar 2. Pengamatan dilakukan tiap bulan selama 12 bulan, mulai bulan Juni 2006 sampai dengan bulan Mei 2007. Koordinat stasiun pengamatan adalah tetap dan dicari kembali menggunakan GPS (*Global Position System*). Pada setiap titik di perairan waduk diamati 4 jeluk, yaitu 0m (permukaan), 2 m, 4 m dan dasar perairan (Gambar 3).

Untuk mengambil contoh air di seluruh titik di perairan waduk menggunakan ponton bermesin motor tempel. Contoh air diambil menggunakan *water sampler* kapasitas 10 liter, sedangkan di sungai menggunakan ember. Parameter suhu air, O_2 terlarut, CO_2 bebas, pH, alkalinitas, kecerahan dan kekeruhan diukur langsung di lapangan, sedangkan amonia (NH_3), amonium (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), N total, fosfat (PO_4^-), P total dan plankton diamati di laboratorium. Contoh air yang diamati di laboratorium dan plankton dimasukkan ke botol sampel kemudian ditempatkan di dalam box dengan kondisi suhu dingin (diberi es). Sebelum dianalisis sampel air disimpan di dalam ruang dingin (*cool storage*) suhu -4 °C.

Amonia dan amonium diukur menggunakan Ammonium Ion-Meter, kemudian persentase konsentrasi amonia dan amonium dihitung berdasarkan tabel Keseimbangan Aqueous Amonia



1.



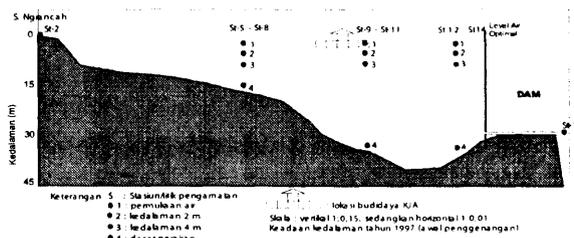
2.

Keterangan gambar:

Gambar 1. Peta lokasi Waduk Sermo

Gambar 2. Titik pengambilan sampel air secara horizontal

Gambar 3. Titik pengambilan sampel air secara vertikal



3.

sesuai dengan suhu dan pH airnya (Emerson *et al.*, 1975). Sampel air untuk analisa nitrit, nitrat, fosfat disaring dengan kertas saring milipore 0,45 µm menggunakan pompa vakum. Analisa nitrit menggunakan metode Sulfanilamide dan nitrat dengan metode Brucin, sedangkan fosfat menggunakan metode Asam Askorbik. Pengukuran nitrit, nitrat dan fosfat selanjutnya menggunakan spektrofotometer UV-1650. Prosedur dan bahan kimia untuk analisis variabel nitrit, nitrat dan fosfat berdasarkan *Standard Methods* (Anonim, 1998).

Variabel N total dan P total menggunakan metode Macro-Kjeldahl yaitu sampel air didestruksi dengan pemanasan dan asam kuat serta didistilasi, selanjutnya kadar N total dianalisis menggunakan metode titrasi, sedangkan kadar P total diukur menggunakan spektrofotometer UV-1650 (Anonim, 1998).

Pengolahan data menggunakan analisis deskriptif. Data tiap daerah dan tiap bulan disajikan dalam bentuk tabel yang merupakan rata-rata tiap kedalaman 0, 2, 4 m dan dasar waduk. Eutrofikasi air oleh N dan P dianalisis

secara diskriptif dan tingkat pencemaran air dihitung menggunakan Indeks Pencemaran (IP) PP RI No.82 Tahun 2001 untuk parameter suhu air, TSS, TDS, pH, oksigen terlarut, amonia, nitrit, nitrat dan fosfat. Neraca N total dan P total dihitung dengan *input-output* atau masukan-keluaran (Vollenweider, 1972). N total dan P sebagai P total, merupakan jumlah semua senyawa N dan P terlarut baik koloid maupun partikel, organik dan inorganik.

Pengendaliannya menggunakan metode simulasi dengan asumsi persamaan sederhana sebagai berikut:

$$C_1 \times V_1 = C_0 \times V_0 + \text{Residu}$$

$$\text{Residu} = (I_p + I_{am} + I_{ac}) - (O_i + O_{ok}),$$

Dari dua persamaan dan asumsi aktivitas penduduk dan air hujan di waduk diabaikan dan beban dalam air masuk bisa disamakan dengan beban dalam air keluar diperoleh persamaan:

$$C_1 V_1 + O_i = C_0 V_0 + I_p$$

Keterangan:

- VC : beban atau *load* N total dan P total
 C : konsentrasi N total dan P total rata-rata
 V : volume air waduk rata-rata
 0 : tahun pengamatan (awal)
 1 : tahun berikutnya
 Ip : masukan N total dan P total dari pakan
 Ia : masukan N total dan P total dari air masuk
 Iac : masukan N total dan P total dari aktivitas penduduk dan air hujan di waduk
 Oi : keluaran N total dan P total melalui panen ikan budidaya dan tangkap
 Oak : keluaran N total dan P total melalui air keluar

Penghitungan dimulai dengan target penurunan beban pada tahun berikutnya, misalnya 10%, 25%, 40%, 50%, 75% dan 100% dari beban N total dan P total awal dan menentukan target produksi ikan tahunan. Target produksi didistribusikan ke dalam KJA-dalam (53%), KJA-luar (9%) dan luar KJA (38%). Diawali penurunan beban 10% maka beban tahun berikutnya

$C_1 V_1 = 0,9 \times C_0 V_0$, didapatkan persamaan:

$$I_p = C_0 V_0 - 0,9 C_0 V_0 + O_i \text{ atau}$$

$$I_p = (1 - 0,9) C_0 V_0 + O_i$$

Ip selanjutnya dihitung dengan mengalikan target produksi ikan pada KJA-dalam dengan FCR (*food conversion ratio*) sebesar 1,4 maka diperoleh berat pakan. Tiap ton pakan mengandung N total 4,86% dan P total 0,26%, sedangkan ikan basah mengandung 55,0 kg N total/ton dan 7,5 kg total P/ton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat eutrofikasi air

Hasil pengamatan parameter kualitas air yang terdiri atas tiap daerah dan tiap dapat dilihat pada Tabel 1. Bila dilihat dari suhu air dan kandungan oksigen terlarut, air Waduk

Sermo tidak memenuhi syarat sebagai air baku air minum (kelas I) berdasarkan PP RI No. 82, sedangkan parameter lainnya sudah terpenuhi. Hal ini beralasan karena kedua parameter yang diamati adalah termasuk air lapisan dasar yang memiliki suhu dan oksigen terlarut yang rendah. Sementara pada kedalaman 4 m ke permukaan air, kedua parameter tersebut dan parameter lainnya memenuhi standar air baku.

Dilihat dari konsentrasi amonium (rata-rata 0,747-0,758 mg/L), nitrat (rata-rata 0,070 – 0,071 mg/L) dan fosfat (rata-rata 0,111–0,145 mg/L) tercatat cukup tinggi, sehingga tergolong ke dalam tingkat eutrofik. Menurut Goldman dan Horne (1983) apabila kandungan amonium dan nitrat lebih dari 0,2 mg/L, kesuburan perairan sudah berada pada tingkat eutrofik, sedangkan konsentrasi fosfat lebih dari 0,1 mg/L (Parma 1980). Bahkan berdasarkan konsentrasi N total dan P total, perairan Waduk Sermo sudah termasuk kategori eutrofik sampai hipereutrofik (Carlson, 1977; Wetzel, 2001). Perkembangan kesuburan air dari eutrofik sampai hipereutrofik wajar karena sejak awal penggenangan (1996), Waduk Sermo sudah masuk kategori perairan eutrofik (Rustadi dkk., 2001).

Kandungan N dan P dalam air waduk yang tinggi berasal dari air masuk, limbah budidaya ikan dan dari dalam waduk sendiri (*internal loading*) (Stumm dan Leckie 1971). Unsur N dan P dalam air masuk berasal dari bahan erosi, penggunaan pupuk, limbah pertanian dan buangan rumah tangga di daerah hulu dan curah hujan yang langsung jatuh di waduk (Ojima *et al.*, 1994). Sedimen erosi yang mengandung N dan P dari DAS hulu dan terbawa air sungai masuk ke waduk adalah cukup tinggi, rata-rata 309,468 ton/ha/tahun (Muhamud, 2000). Selain itu limbah padat yang dihasilkan setiap kg ikan budidaya sekitar 0,3 kg berupa sisa pakan dan feses (McDonald *et al.*, 1996). Sisa pakan dan feses tersebut merupakan komponen utama limbah padat yang mengendap, jumlahnya sekitar 75 sampai 85% dari berat pakan diberikan, sedangkan sisanya 15 sampai 25% terlarut (Beveridge *et*

al., 1991). Dengan demikian maka wajar apabila akumulasi sedimen di Waduk Sermo sejak tahun 1996 sudah cukup tebal, yaitu mencapai kurang lebih 1.837.380 m³ atau sekitar 64,70% volume air mati, sedangkan di luar air mati kurang lebih 5.663.400 m³ atau sekitar 22,60% volume air total (PSDA Sermo, 2007). Hasil analisis sedimen dasar waduk menunjukkan rata-rata kandungan N total 373,567 mg/kg dan P total 7,186 mg/kg.

Sementara N dan P dalam bentuk senyawa terlarut, setiap kg ikan tilapia budidaya membuang amonia total (amonia dan amonium) berkisar 0,3 – 0,8 g/hari, nitrat berkisar 0,13 – 0,21 g/hari dan fosfat berkisar 0,067 – 0,17 g/hari (Beveridge *et al.*, 1991). Sumber unsur hara dari dalam waduk sendiri berasal dari mineralisasi dan resuspensi dari sedimen ke air. James *et al.*, (1997) menghitung kecepatan rata-rata mineralisasi sedimen organik nitrogen

menjadi amonium sekitar 45,34 mg/m²/hari dan resuspensi ke air sekitar 1,29 mg/m²/hari, sedangkan nitrifikasi sekitar 39,72 mg/m²/hari.

Konsentrasi amonium, nitrat dan fosfat yang tinggi ini tidak terlalu dikhawatirkan karena cepat dimanfaatkan oleh fitoplankton. Penggunaan NO₃⁻ dan NH₄⁺ rata-rata oleh fitoplankton masing-masing 42,13 mg/m²/hari dan 39,72 mg/m²/hari (James *et al.*, 1997).

Kaitannya dengan pemanfaatan perairan waduk untuk perikanan tangkap dan budidaya serta pariwisata (mutu air kelas II), kualitas air waduk jelas memenuhi standar. Selain karena kualitas airnya cocok untuk pertumbuhan dan berkembangbiak bagi ikan liar maupun budidaya, di perairan Waduk Sermo juga tersedia makanan alami untuk ikan (Kamiso dkk., 1997; Rustadi *et al.*, 2001). Ikan liar alami yang ditemukan diantaranya: wader (*Rasbora*

Tabel 1. Kisaran dan rata-rata kualitas air tiap daerah dan bulan di Waduk Sermo

No	Parameter	Satuan	Tiap daerah *)		Tiap bulan**)		Stan dar
			Kisaran	Rata-2	Kisaran	Rata-2	
1	Amonia	mg/L	0,006-0,137	0,038	0,006-0,137	0,039	0,5
2	Amonium	mg/L	0,103-2,899	0,747	0,120-2,899	0,758	
3	Nitrit	µg/L	0,000-2,734	0,098	0,000-2,734	0,095	60
4	Nitrat	mg/L	0,000-0,902	0,070	0,000-0,902	0,071	10
5	Fosfat	mg/L	0,003-1,916	0,111	0,000-1,916	0,145	0,2
6	N-total	mg/L	0,145-3,954	1,426	0,145-3,954	1,441	
7	P-total	mg/L	0,050-1,508	0,234	0,050-1,774	0,248	
8	Rasio NP	-	0,36-37,12	9,90	0,58-51,74	10,54	
9	Suhu air	oC	25,0-34,0	29,0	25,0-34,0	29,0	dev. 3
10	TSS	mg/L	0,000-0,758	0,035	0,000-0,758	0,034	50
11	TDS	mg/L	0,000-0,512	0,146	0,000-0,504	0,143	1000
12	O2 terlarut	mg/L	1,00-9,70	4,71	1,00-9,70	4,61	6
13	pH	unit	6,2-8,9	7,57	6,2-8,9	7,58	6-9

Keterangan : *) seluruh daerah (5 daerah) selama penelitian

***) dalam waduk (hulu, tengah dan hilir) selama penelitian

sp.), udang air tawar (*Palaemon* sp.), gabus (*Ophiocephalus* sp.) dan lele (*Clarias* sp.), sedangkan ikan introduksi (penebaran) yang terbanyak adalah: nila hitam (*Oreochromis niloticus*), diikuti tawes (*Puntius javanicus*), nila merah (*Oreochromis* sp.) dan karper (*Cyprinus carpio*). Produksi ikan tangkap bisa mencapai 15,7 ton/tahun apabila dilakukan penebaran secara teratur (Kamiso dkk., 1997), namun pada tahun 1986-1987, hasil tangkapannya hanya 2.531,6 kg/tahun. Rendahnya produksi ikan tangkap dikarenakan tidak adanya usaha penebaran yang teratur.

Budidaya ikan di Waduk Sermo menggunakan keramba jaring apung (KJA) ukuran 6x 6 x 2 m³. Potensi produksinya bisa mencapai 450 ton/tahun bila 1-2 % dari luas perairan waduk (150 ha) digunakan untuk 80-100 unit KJA (Kamiso dkk., 1997). Pada tahun 2006-2007 terdapat 48 buah KJA dengan produksi ikan sebanyak 132.757,7 kg dan pemberian pakan sejumlah 173.863,3 kg, sehingga konversi pakannya 1,3. Selama pemeliharaan terjadi kematian mencapai kira-kira 12 ton akibat *up welling* (umbalan) dan sejak tahun 2008, budidaya ikan KJA sudah berhenti beroperasi.

Tingkat pencemaran air

Tingkat pencemaran air Waduk Sermo secara umum kondisinya baik. Pada Gambar 4 dapat dilihat air dari daerah sungai masuk, hulu waduk dan hilir waduk masih memenuhi syarat baku mutu atau kondisi baik (IP<1,0), sedangkan di daerah tengah waduk (IP=1,33) dan daerah sungai keluar (IP=1,58) sudah mengalami pencemaran ringan. Tingginya nilai indeks di daerah tengah waduk akibat pengaruh limbah budidaya ikan yang menurunkan kualitas air. Sementara air sungai keluar disebabkan karena berasal dari air dasar waduk yang memiliki kualitas air yang rendah.

Dilihat nilai IP tiap bulan selama penelitian (Juni 2006 sampai Mei 2007) menunjukkan adanya fluktuasi dan hampir seluruhnya memiliki nilai di bawah satu (IP=0,22 sampai IP=0,96) atau kualitas airnya memenuhi baku

mutu, kecuali pada bulan Desember yang memiliki nilai IP=1,59 atau airnya mengalami pencemaran ringan (Gambar 5).

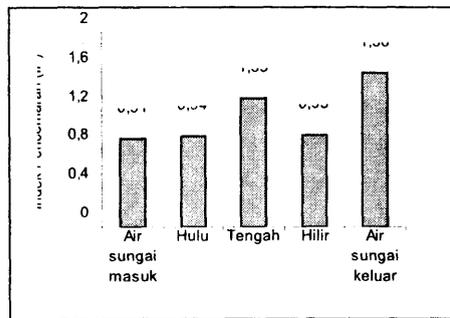
Kualitas air yang rendah terjadi pada bulan Desember akibat *up welling* air. *Up welling* adalah pengadukan air dasar naik ke permukaan akibat tekanan air masuk dan hujan yang besar disertai angin yang kencang. Konsentrasi nitrit dan nitrat tertinggi pada bulan Desember bertepatan dengan terjadinya umbalan air waduk, yang diikuti oleh kematian ikan dalam KJA.

Neraca N-total dan P-total

Beban N total dan P total di Waduk Sermo dalam setahun (Juni 2006 sampai Mei 2007) ternyata yang masuk lebih besar daripada yang keluar sehingga terjadi surplus (Tabel 4). Surplus tersebut menjadi residu melayang dan kemudian mengendap ke dasar waduk. Akumulasi residu N total dan P total dalam sedimen dapat dibuktikan dari hasil pengukuran kandungannya dalam sedimen yang cukup tinggi.

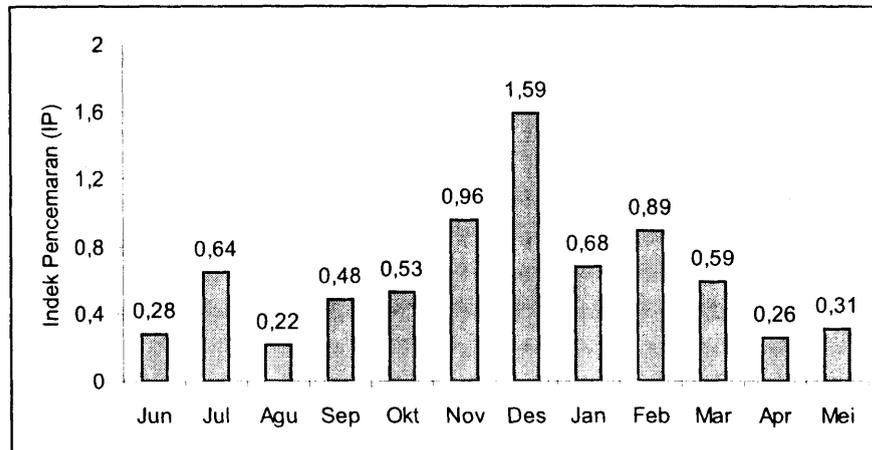
Masukan (*input*) N total dan P total di waduk berasal dari: air sungai masuk, air hujan, buangan penduduk dan budidaya ikan. Buangan penduduk meliputi kotoran, buangan mencuci dan mandi pekerja di KJA, penangkap ikan dan penduduk yang tinggal di sekitar waduk di Desa Hargotirto dan Hargowilis. Buangan dari budidaya ikan adalah kotoran ikan dan sisa pakan akibat pemberian pakan pada budidaya ikan dengan KJA. Sementara keluaran (*output*) beban N total dan P total melalui air keluar adalah air yang diambil untuk air baku dan ikan panen.

Budidaya ikan dengan KJA merupakan sumber terbesar N total sebesar 58,55% diikuti dari air masuk sebesar 38,96%, sedangkan untuk P total terbesar dari air masuk sebesar 54,66% diikuti dari budidaya ikan sebesar 37,10%. Sisanya berasal N total dari aktivitas penduduk 2,485% dan P total 8,24%, sedangkan dari air hujan di dalam waduk hanya sebanyak 0,002 % untuk N total dan P total sebanyak 0,001 %. Kondisi tersebut sama dengan yang terjadi di waduk-waduk: Saguling, Cirata dan Jatiluhur, budidaya ikan ternyata menyumbang N total



Gambar 4: Nilai Indeks Pencemaran (IP) tiap daerah di Waduk Sermo (samping)

Gambar 5: Nilai Indeks Pencemaran (IP) tiap bulan di Waduk Sermo (bawah)



dan P total terbesar, masing-masing 83,63% dan 99,97% (Hart *et al.*, 2002). Dinyatakan pula bahwa limbah pemeliharaan ikan tersebar sejauh 30-40 m dari sisi ujung keramba dan dari sisi sebaliknya mencapai 10 - 15 m, sedangkan ketebalannya tertinggi di bawah keramba.

Pengendalian N total dan P total terlarut

Berdasarkan neraca unsur hara di Waduk Sermo telah terjadi surplus N total dan P total, kesuburan air pada tingkat eutrofik sampai hipereutrofik dan keadaan air sudah ada yang tercemar ringan maka perlu dilakukan pengendalian. Cara pengendalian yang dapat dilakukan adalah mengeliminir unsur N dan P pada residu dan kemudian mengurangi yang ada dalam beban air waduk sehingga konsentrasinya akan turun. Ada dua sumber utama unsur N dan P yang dapat ditekan pemasukannya, yaitu budidaya ikan dengan KJA dan air masuk waduk. Budidaya ikan merupakan sumber titik (*point source*) yang lebih mudah dikendalikan daripada sumber air masuk. Disamping itu,

unsur N dan P dapat dilakukan pengeluaran melalui pemanenan ikan.

Pengendalian melalui penyesuaian daya dukung ternyata hanya dapat menekan unsur hara N dan P pada residu. Oleh karena itu dilakukan pengembangan budidaya KJA ganda yang dipadukan dengan penebaran dan pemanenan ikan di luar jaring dapat memanfaatkan unsur N dan P di dalam waduk diubah menjadi daging ikan melalui plankton. Menggunakan KJA jaring ganda yang ditebari ikan untuk memanfaatkan sisa pakan dan kotoran ikan sehingga pembuangan N dan P dapat dicegah.

Dengan kata lain, budidaya ikan tidak membuang limbah unsur hara ke perairan, bahkan dipadukan dengan penebaran dan pemanenan ikan di luar jaring dapat memanfaatkan unsur N dan P di dalam waduk diubah menjadi daging ikan melalui plankton. Jenis ikan yang dibudidayakan adalah nila (merah dan hitam) karena termasuk ikan pemakan plankton, efisien terhadap pakan buatan dan menyerap

Tabel 2. Neraca N total dan P total di Waduk Sermo, Juni 2006 – Mei 2007

Keterangan	Sumber	N-total		P-total	
		Berat (ton)	%	Berat (ton)	%
Masukan	1. Air masuk	27,993	38,961	8,290	54,660
	2. Aktivitas penduduk	1,785	2,485	1,250	8,240
	3. Curah hujan	0,001	0,002	0,0001	0,001
	4. Budidaya ikan	42,069	58,553	5,627	37,100
	Jumlah	71,849	100,00	15,166	100,00
Keluaran	1. Air keluar	39,719	67,811	5,779	68,845
	2. Air baku	0,934	1,594	0,172	2,044
	3. Ikan panen	17,920	30,594	2,444	29,111
	Jumlah	58,573	100,00	8,394	100,00
Beban air waduk		33,491		5,521	
Neraca:					
Masukan		71,849	100,00	15,166	100,00
Keluaran melalui pengeluaran air		40,653	56,58	5,951	39,24
Keluaran melalui panen ikan		17,920	24,94	2,444	16,11
Surplus/residu		13,276	18,48	6,772	44,65

unsur fosfor lebih banyak (Beveridge, 1984). Jenis ikan lainnya: karper (*Cyprinus carpio*) untuk budidaya dalam KJA dan digunakan pula untuk penebaran, sedangkan lele (*Clarias batrachus*) untuk penebaran. Ikan karper dan lele dapat melepas fosfor dari sedimen ke air ketika mencari makanannya. Laju pelepasan unsur P semakin tinggi dengan semakin padat penebaran ikan karper (Lamara, 1975) dan ikan nila ketika membuat sarang pemijahan, disamping secara langsung memakan plankton (Andersson *et al.*, 1988; Rustadi, 2000).

Secara teknis pengendalian dengan menerapkan budidaya KJA jaring ganda terdiri atas jaring dalam (ukuran lubang 2 cm) berukuran 6x6x3 m dan jaring luar (ukuran lubang 2,5 cm) berukuran 7x7x4 m, yang dipasang pada kerangka. Benih ikan ditebar di jaring dalam (KJA-dalam) 200 kg/jaring ikan nila merah atau karper ukuran 20 g/ekor, sedangkan di jaring luar (KJA-luar) 100 kg/jaring ikan nila hitam ukuran lebih besar, yakni 50-100 g/ekor (Krismono, 2004).

Pakan hanya diberikan terhadap ikan di jaring KJA-dalam, kemudian pakan yang tidak termakan dan sisa pakan dimanfaatkan ikan di jaring luar. Produksi ikan secara keseluruhan dari KJA jaring ganda naik 17% dibanding KJA tunggal 1.082 kg/petak (Kamiso dkk., 1997) menjadi 1.265 kg/petak dan FCR turun dari 1,4 menjadi 1,19.

Di luar jaring dilakukan penebaran dan harus dilakukan penangkapan untuk meningkatkan produksi ikan tangkap sekaligus mengurangi beban N dan P total di perairan waduk. Menurut Sifa dan Senlin (1995) penebaran ikan di waduk tergantung pada: luas, tingkat kesuburan, jenis, ukuran ikan dan komposisinya, perkiraan sintasan dan target produksi. Menurut Kamiso dkk. (1997), produksi ikan tangkap di Waduk Sermo dapat mencapai 100 kg/ha/tahun. Target produksi ikan tangkap dapat ditingkatkan dan semakin besar target produksi semakin tinggi padat penebarannya (Sifa dan Senlin, 1995). Jenis ikan dan komposisinya adalah nila (60%), karper

(30%) dan lele (10%) ukuran yuwana (3–5 cm, diharapkan laju sintasan 15%. Luas rata-rata waduk yang dipertahankan 2/3 dari luas total 150 ha. Hasil perhitungan pengendalian unsur hara N dan P dengan penyesuaian daya dukung, penebaran dan budidaya ikan dengan KJA ganda dengan persentase target penurunan beban berbeda disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pengendalian N-total dan P-total dengan semakin besar produksi ikan yang dipanen, baik budidaya maupun tangkap, semakin besar unsur hara yang terambil dan semakin kecil sisa residu dan beban dalam waduk. Pengendalian dengan penyesuaian daya dukung budidaya ikan KJA tunggal hanya bisa menurunkan residu N dari residu 13,276 ton menjadi 12,191 ton atau turun 8,17%, sedangkan untuk P-total menurun dari 6,772 ton menjadi 6,390 ton atau turun 5,64%. Pengendalian unsur hara dengan target penurunan lebih besar 10% dari beban awal menghasilkan selisih masukan dengan keluaran N dan P mencapai nilai minus, yang berarti masukan unsur hara dari pakan dapat ditekan dengan keluaran pemanenan ikan. Nilai tersebut dapat mengurangi residu, sedangkan target penurunan lebih 50% baru bisa mengurangi beban unsur hara dalam waduk.

KESIMPULAN

Berdasarkan unsur N dan P, Waduk Sermo berada pada tingkat eutrofik sampai hipereutrofik.

Uji indeks pencemaran (IP) terhadap parameter suhu air, TSS, TDS, pH, oksigen terlarut, amonia, nitrit, nitrat dan fosfat mengindikasikan telah terjadi pencemaran ringan di daerah budidaya ikan dan pada waktu konsentrasi unsur P tertinggi

Pengendalian unsur hara N dan P dengan budidaya ikan sesuai daya dukung perairan dapat menurunkan residu N sebesar 8,17% dan P sebesar 5,64% dari residu asli.

Pengendalian dengan teknologi KJA jaring ganda dan penebaran ikan di luar KJA dapat mengeliminir residu serta memanfaatkan beban

N dan P

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Kamiso Handoyo Nitimulyo, M.Sc., Prof. Dr. Sudarmadji, M.Eng.Sc. dan Prof. Dr. Shalihuddin Djalal Tandjung, M.Sc., yang telah memberikan saran dan perbaikan pada makalah, juga pada Bapak Kusmanto dan Bapak Budisantoso yang membantu dalam analisis di lapangan dan laboratorium. Penghargaan dan terima kasih disampaikan kepada Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan SEARCA, Los Banos, Philippines yang telah membantu dana untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersson, G., W.Granéli dan J. Stenson., 1988. The Influence of Animals on Phosphorous Cycling in Lake Ecosystems. *Hidrobiologia* 170:267-284.
- Anonim. 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA and WPCA, 20th. edition. Washington DC.
- Beveridge, M.C.M., M. J. Phillips dan R. M. Clarke, 1991. A Quantitative and Qualitative Assessment of Wastes from Aquatic Animal Production. *Aquaculture and Water Quality*. P: 506-533.
- Beveridge, M.C.M., 1984. Cage and Pen Fish Farming. Carrying Capacity Models and Environmental Impact. *FAO Fish.Tech. Paper*. (255):131.
- Carlson, R.E. 1977. Tropic State Index for Lakes. *Limnol. and Oceanogr.*, 22:361-369.
- Direktorat Jenderal Pengairan. 1996. Informasi Singkat tentang Waduk Sermo. Dir. Jen.Pengairan Departemen Pekerjaan Umum. 6 hal.
- Emerson, K., R.C. Russo, R., Lund, dan R.V. Thurston. 1975. Aqueous Ammonia

- Equilibrium Calculations: Effects of pH and Temperature. *J. Fish. Res. Bd. Canada*. 32:2379-2388.
- Goldman, C. R., dan A. J. Horne, 1983. *Limnology*. 2nd edition. McGraw-Hill Inc., New York, 484 hal.
- Hart, B.T., W.V. Dok, N. Djuangsih. 2002. Nutrient Budget for Saguling Reservoir, West Java, Indonesia. *Water Research* 36:2152-2160.
- James, R.T., J. Martin, T. Wool dan P.F. Wang, 1997. A Sediment Resuspension and Water Quality Model of Lake Okeechobee. *J. American Water Res. Ass.* 3(33):661-680.
- Kamiso, H.N., Rustadi, Djumanto, Sukardi, Supardjo, S.D. Susilo, H.P., 1997. Studi Awal dan Ujicoba Keramba Jaring Apung di Waduk Sermo Kulonprogo. Lap. Penel. Kerjasama Diskan DIY dengan Fak. Pertanian UGM. 58 hal.
- Krismono, 2004. Optimalisasi Budidaya Ikan dalam Keramba Jaring Apung di Perairan Waduk Sesuai Daya Dukung. Pros.Lok. Pemecahan Masalah Budidaya Ikan dalam KJA di Perairan Waduk, Bogor 20 Juli 2004. 13 hal.
- Lamara, V.A., 1975. Digestive Activities of Carp as a Major Contributor to the Nutrient Loading of Lakes. *Verh.int. Ver. Limnol.* 19:2461-2468.
- McDonald, M.E., C.A. Tikkanen, R.P. Axler, C.P. Larsen, dan G. Host., 1996. Fish Simulation Culture Model (Fish-C): a Biogenics Based Model for Aquacultural Waste Load Application. *Aquaculture Eng.*, 15 (4):243-259.
- Muhamud, N., 2000. Soil Conservation as an Effort to Attain Sustainable Development in Sermo Reservoir Catchment Area. Disertasi S₃ Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 262 hal.
- Ojima, D.S., Galvin K.A., dan Turner, B.L., 1994. The Global Impact of Land-use Change. *Bio.Science* 44: 300-304.
- Parma, S., 1980. The History of the Eutrophication Concept and the Eutrophication in the Netherlands. *Hydrobiol. Bull.* 14:5-11.
- Peraturan Pemerintah RI No 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- PSDA Sermo, 2007. Data Iklim, Curah Hujan dan Pengeluaran Air Waduk Sermo. Laporan Bulanan PSDA Sermo, Wates.
- Rustadi, 2000. Studi Kelimpahan Unsur Hara (N dan P) dan Plankton dalam Keramba Jaring Apung Pembenihan dan Pendederan Nila Merah (*Oreochromis* sp.) di Waduk Sermo. Lap. Penelitian DIKS-UGM. 46 hal.
- Rustadi, Kamiso, H. N dan Kuwabara, R. 2001. Water Quality and Planktological Approach to Monitor Eutrophication by Cage Culture of Red Nile (*Oreochromis* sp.) in Sermo Reservoir, Yogyakarta, Indonesia. *Asian Fisheries Sciences Journal* (15):135-144.
- Sifa, L. dan X. Senlin. 1995. Culture and Capture of Fish in Chinese Reservoirs. Southbound. Penang and IDRC Ottawa. 128 p.
- Sugiura, N., M. Utsumi, B. Wei, N. Iwami, K. Okano, Y. Kawauchi, T. Maekawa. 2004. Assessment for the Complicated Occurrence of Nuisance Odours from Phytoplankton and Environmental Factors in a Eutrophic Lake. *Lake & Reservoirs: Res. and Man.* 9:195-201.
- Stumm, W. dan J. O. Leckie. 1971. Phosphate Exchange with Sediments: Its Role in the Productivity of Surface Waters. *Proc. Water Poll. Res. Conf. III*, Art. 16, 16 p.
- Vollenweider, R. A., 1972. Input-Output Models. Mimeographed report. Can. Cen. Inland Waters, Burlington, Ontario. 40 p.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystem*. 3rd edition. Elsevier Academic Press, London 1006 hal.

Tabel 5. Pengendalian N total dan P total di Waduk Sermo dengan penyesuaian daya dukung dan target produksi ikan berbeda

Keterangan	Target penurunan beban (<i>load</i>)						
	Sesuai DD**	10%	25%	40%	50%	75%	100%
1. Produksi ikan total (ton)	101,858	176,986	442,465	707,944	884,930	1.327,394	1.769,859
a. KJA-dalam (ton)	93,858	93,858	234,645	375,432	469,290	703,935	938,580
b. KJA-luar (ton)	-	15,956	39,890	63,823	79,779	119,669	159,559
c. Luar KJA (ton)	8,000	67,930	167,930	268,688	335,860	503,790	671,720
2. Jumlah KJA ganda (petak)	8***)	8	20	32	40	60	80
3. Padat tebar luar KJA(ekor/ha)	2.222	18.659	46.647	74.636	93.295	139.942	186.589
4. Residu awal (ton)							
a. N-total	13,276	13,276	13,276	13,276	13,276	13,276	13,276
b. P-total	6,772	6,772	6,772	6,772	6,772	6,772	6,772
5. Beban awal (ton)							
a. N-total	33,491	33,491	33,491	33,491	33,491	33,491	33,491
b. P-total	5,521	5,521	5,521	5,521	5,521	5,521	5,521
6. Pengurangan unsur hara*)(ton)							
a. N-total	1,085	-3,348	-8,370	-13,393	-16,741	-25,111	-33,481
b. P-total	-0,381	-0,986	-2,464	-3,943	-4,929	-7,393	-9,858
6. Sisa residu (ton)							
a. N-total	12,191	9,928	4,905	-0,117	-3,465	-11,835	-20,206
b. P-total	6,390	5,786	4,307	2,829	1,843	-0,621	-3,086
7. Sisa beban (ton)							
a. N-total	33,491	33,491	33,491	33,374	30,026	21,656	13,285
b. P-total	5,521	5,521	5,521	5,521	5,521	4,899	2,435

Keterangan: *) Selisih antara masukan dengan keluaran, **) DD: daya dukung, ***) KJA tunggal
 Jenis ikan budidaya: nila merah dan karper, penebaran: nila hitam (60%), karper (30%) dan lele (10%)