

OPTIMASI JUMLAH KERAMBA JARING APUNG PADA BUDIDAYA IKAN DI WADUK SAGULING DENGAN PROGRAM DINAMIK

OPTIMIZATION OF CAGE FISH FARMING ON AQUACULTURE IN SAGULING RESERVOIR WITH DYNAMIC PROGRAMMING

Yudit Tia Lestari¹ dan Priana Sudjono²

¹Program Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132, e-mail : Yudit_tia@yahoo.com

²Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

Abstrak : Kualitas air Waduk Saguling sangat dipengaruhi oleh kualitas air DAS Citarum dan anak-anak sungainya. Keberadaan Waduk Saguling telah dimanfaatkan oleh penduduk sekitar waduk sebagai lokasi perikanan dengan sistem Keramba Jaring Apung (KJA). Penelitian ini dilakukan di Desa Bongas, Kecamatan Cililin tempat bermuaranya sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung yang juga merupakan pusat kegiatan perikanan dengan sistem KJA. Pendekatan masalah yang digunakan adalah pendekatan secara kualitatif terhadap parameter fosfor(P). Permasalahan yang sering terjadi pada kegiatan perikanan adalah terjadinya kematian massal ikan akibat pengkayaan bahan organik yang terlihat dari tingginya konsentrasi P. Tingginya konsentrasi P tersebut disebabkan oleh total P yang masuk dari kegiatan KJA (overfeeding), perkebunan dan pertanian di sepanjang sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung. Untuk mempertahankan mutu lingkungan perairan, di dalam penelitian ini digunakan perhitungan dengan program dinamik untuk mengetahui jumlah optimum KJA yang dapat beroperasi dengan membatasi kontribusi P dari kegiatan perkebunan dan pertanian. Total luasan lokasi penelitian adalah 251,1 ha dengan jumlah unit KJA yang beroperasi 250 unit (1000 KJA), total luasan perkebunan dan pertanian di sepanjang sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung masing-masing 152,0886 Ha dan 224,1375 Ha. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh data kontribusi P dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian masing-masing $3,572 \cdot 10^6$ mg/l; $40,552 \cdot 10^6$ mg/l; dan $6,014 \cdot 10^6$ mg/l. Sedangkan model keuntungan (Rp/thn) dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian masing-masing $213X_1$; $92X_2$; dan $54X_3$, dimana X merupakan total P per tahun dari masing-masing kegiatan. Total limpasan fosfor yang dapat masuk kedalam perairan lokasi penelitian adalah $\leq 47,226 \cdot 10^6$ mg/l. Hasil simulasi dengan program dinamik dengan mempertimbangkan keuntungan paling optimum diperoleh efisiensi total P dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian masing-masing sebesar 47,1%, 0,0% dan 92,5%. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah optimum KJA yang dapat beroperasi dilokasi penelitian adalah sebesar 529 KJA.

Kata kunci : optimasi, program dinamik, KJA, Waduk Saguling

Abstrac: The water quality of Saguling reservoir is very effected by water quality of watershed and its sub watershed. Saguling reservoir had been used by the community as aquaculture with cage fish farming system. This research has been done in Bongas Village, Cililin where is the Ciminyak and Cibitung sub watershed meet. The problem approach that used in this research is qualitative appoacing on phosphorus (P) parameter. The main problem on aquaculture is enourmous death of fish that caused by eutrofication indicated by highly concentration of P. This situation caused by total P intake from cage fish farming (overfeeding) and agriculture activities (farming and plantation) in Ciminyak and Cibitung sub watershed. This research used dynamic programming to find out the optimum number of cage fish farming by limiting total P from aquaculture and agriculture activities to maintain water quality of Saguling reservoir. Total area in this research is 251,1 acre with the number of cage fish farming operated are 250 unit (1000 cage fish farming). Total area of farming and plantation in Ciminyak and Cibitung sub watershed are 152,0886 acre and 224,1375 acre. The research showed that total P contribution from cage fish farming, farming and plantation activities are $3,572 \cdot 10^6$ mg/l; $40,552 \cdot 10^6$ mg/l; and $6,014 \cdot 10^6$ mg/l. Total income (Rp/yr) from cage fish farming, farming and plantation activities are $213X_1$; $92X_2$; and $54X_3$, where X_i is total P contribution from each activities. Total P that can enter in this research area is $\leq 47,226 \cdot 10^6$ mg/l. The dynamic programming simulation shows that efeciency of total P from cage fish farming, farming and

plantation are 47,1%, 0,0% and 92,5%. The conclusion of this research is the optimum number of cage fish farming that can operated in research location are 529.

Keywords : *optimation, dynamic programming, cage fish farming, Saguling reservoir*

I PENDAHULUAN

Waduk Saguling dibangun dengan membendung aliran DAS Citarum untuk membangkitkan listrik. Kualitas air Waduk Saguling sangat dipengaruhi oleh kualitas air DAS Citarum dan anak-anak sungainya. DAS Citarum menerima berbagai limbah kegiatan industri dan rumah tangga di daerah hulu Bandung dan sekitarnya, maka beban pencemaran di sepanjang DAS Citarum relatif tinggi. Kurang lebih satu tahun setelah operasional PLTA Saguling, yaitu tahun 1986 sesuai dengan kebijaksanaan PLN dan rekomendasi Studi AMDAL, keberadaan Waduk Saguling dimanfaatkan oleh penduduk sekitar waduk sebagai lokasi perikanan. Sistem budidaya perikanan yang dianggap cukup produktif dilakukan di waduk adalah sistem Keramba Jaring Apung (KJA). Lokasi perikanan dengan sistem KJA ini tidak menyebar dengan merata, tetapi terpusat pada suatu lokasi tertentu, yaitu di Desa Bongas tempat bermuaranya sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung. Menurunnya kualitas perairan waduk selain disebabkan oleh kegiatan KJA juga disebabkan oleh kegiatan manusia lainnya yaitu kegiatan perkebunan dan pertanian.

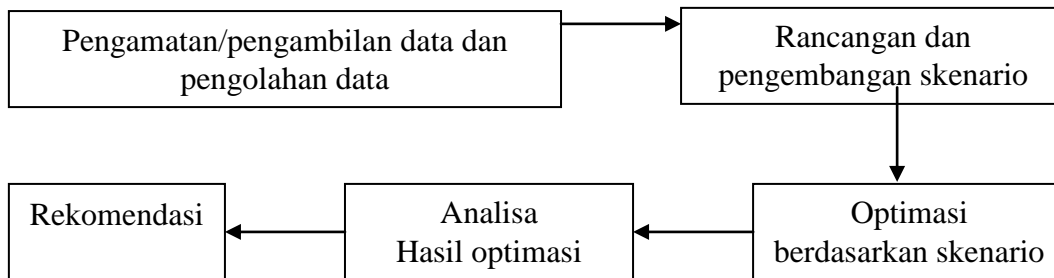
Perkembangan budidaya ikan dengan sistem KJA di Waduk Saguling khususnya Daerah Bongas sangat pesat. Hal ini telah mengakibatkan terjadinya peningkatan unsur P dan penurunan kualitas perairan waduk. Penurunan kualitas air tersebut terjadi karena jumlah unit KJA yang beroperasi telah melebihi daya dukung lingkungan perairan. Untuk menghindari terjadinya penurunan kualitas perairan waduk yang lebih besar maka harus diterapkan suatu sistem yang tepat di dalam pengembangan budidaya perikanan dengan sistem KJA, yaitu dengan menentukan berapa jumlah maksimum unit KJA yang dapat beroperasi sehingga masih memenuhi daya dukung lingkungan perairan waduk dengan mempertimbangkan kontribusi beban buangan P dari kegiatan budidaya, dan kontribusi beban buangan dari sumber lain yang masuk melalui aliran sungai, yaitu kegiatan perkebunan dan pertanian. Pendekatan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan secara kualitatif terhadap komponen di ekosistem perairan Waduk Saguling dengan menggunakan parameter fosfor (P) sebagai indikatornya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah optimum unit KJA yang dapat beroperasi di Waduk Saguling yang terletak di Desa Bongas, Kecamatan Cililin.

II METODOLOGI PENELITIAN

II.1 Alur Kegiatan

Alur metode penelitian yang dilakukan dimulai dari pengamatan di lapangan dan pengolahan data, kemudian disusun rancangan dan pengembangan skenario yang akan dioptimasi. Setelah proses optimasi selesai dilanjutkan dengan analisa hasil optimasi, hasil dari analisa optimasi tersebut akan dihasilkan suatu rekomendasi mengenai beban P maksimum dari kegiatan KJA, pertanian dan perkebunan yang dapat masuk ke dalam perairan lokasi penelitian. Skema alur metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat dari Gambar 1



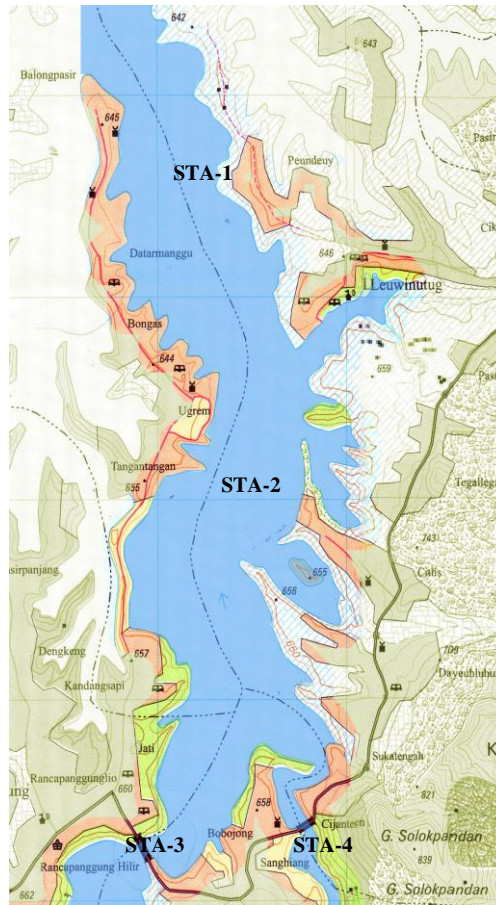
Gambar II.1. Skema Alur Metode Penelitian.

II.2 Pengumpulan Data Dan Analisis Data

Pada penelitian ini digunakan data primer dan data sekunder serta penelaahan kepustakaan yang berkaitan dengan permasalahan. Data primer diambil secara langsung dari lokasi penelitian yang berjumlah 4 stasiun pengamatan (STA). Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data yang berasal dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh berbagai instansi terkait seperti UPT Saguling-Cirata, maupun hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti baik perorangan maupun kelompok di sekitar perairan Waduk saguling. Data parameter kimia yang digunakan adalah P dan data keuntungan dari kegiatan perikanan, pertanian, dan perkebunan. Selain data parameter kualitas air juga digunakan data luasan lahan (*catcment area*) yang meliputi data luasan perkebunan dan pertanian di sepanjang sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung serta data luasan lokasi penelitian.

III LOKASI PENELITIAN

Studi kasus penelitian ini dilakukan di salah satu bagian Waduk Saguling, yaitu di Desa Bongas, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Pengambilan sampel dilakukan pada 4 titik stasiun pengamatan (STA) berdasarkan masukan P kedalam perairan. STA-1 terletak di sekitar lokasi KJA dengan kepadatan paling tinggi, STA-2 terletak pada di lokasi KJA dengan kepadatan lebih rendah, STA-3 terletak pada muara sub DAS Ciminyak dan STA-4 terletak pada muara sub DAS Cibitung yang masuk kedalam perairan lokasi penelitian. Gambaran umum lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar III. Lokasi Penelitian.

IV. PROSES OPTIMASI

Dalam penyelesaian permasalahan dengan metoda optimasi program dinamik yang diterapkan pada masalah pengendalian pencemaran P lokasi penelitian akibat kegiatan budidaya ikan dengan sistem KJA dan masukkan dari luar waduk (pertanian dan perkebunan), prosedur penyelesaian yang digunakan meliputi deskripsi masalah, formulasi model optimasi, dan simulasi model optimasi.

IV.1 Deskripsi Masalah

Deskripsi masalah meliputi tiga aspek utama, yaitu deskripsi maksud dan tujuan studi; identifikasi variabel keputusan; dan pengenalan pada batasan atau kendala dari permasalahan. Pada penelitian ini akan dikaji masalah pengelolaan kualitas air sub DAS dengan cara pengendalian pencemaran, yaitu : Menurunkan beban pencemaran P dari setiap sumber pencemar (KJA, perkebunan dan pertanian di sepanjang sub DAS Ciminyak-Cibitung) serta mengurangi jumlah KJA yang beroperasi serta mengurangi luasan masing-masing *catchment area*. Perhitungan dengan program dinamik dilakukan untuk mengetahui alokasi P paling optimum dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian yang dapat masuk kedalam lokasi penelitian.

IV.2 Formulasi Model

Suatu model sedemikian rupa akan menetapkan pernyataan tujuan dan kendala dari masalah dalam bentuk fungsi matematis dari variabel keputusannya. Secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut (Taha, 1996):

Maksimumkan atau minimumkan fungsi tujuan :

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Dengan Batasan :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \rightarrow \text{KJA}$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \rightarrow \text{Pertanian}$$

$$a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \dots + a_{3n}X_n \leq b_3 \rightarrow \text{Perkebunan}$$

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$$

IV.3 Simulasi Model Optimasi

Simulasi model dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan yang didapat dari solusi program dinamik dengan keadaan Waduk Saguling sebenarnya. Setelah dilakukan koreksi terhadap model program dinamik, selanjutnya dilakukan formulasi model program dinamik dengan skenario pengelolaan memperkecil masukkan P dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian.

V HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1 Deskripsi Masalah

Total luasan lahan pertanian pada sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung, masing-masing 173,9637 Ha dan 50,1738 Ha yang terdiri sawah irigasi dan sawah tadah hujan. Sedangkan luas areal perkebunan di sekitar sub DAS Ciminyak dan sub DAS Cibitung masing-masing 71,1453 Ha dan 80,9434 Ha. Sedangkan lokasi sampling yang merupakan lokasi kegiatan KJA memiliki luas 251,1 ha dengan jumlah KJA yang beroperasi sekitar 250 unit (1000 KJA).

Model perhitungan total P menurut Vollenweider, 1976 :

$$T_p = (L_p / q_s) (1 + \sqrt{T_w})$$

Dimana : T_p = Annual in-lake total P concentration (mg/l)

L_p = Annual areal P loading (mg/m².yr)

q_s = Annual areal water loading (m/yr)

T_w = Hydraulic residence time (yr)

Setelah dilakukan perhitungan dengan model Vollenweider dan berdasarkan luasan dari masing-masing kegiatan diperoleh data limpasan P dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian kedalam perairan lokasi penelitian masing-masing dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Kontribusi, Total Keuntungan dan Model Keuntungan dari Kegiatan KJA, Perkebunan dan Pertanian.

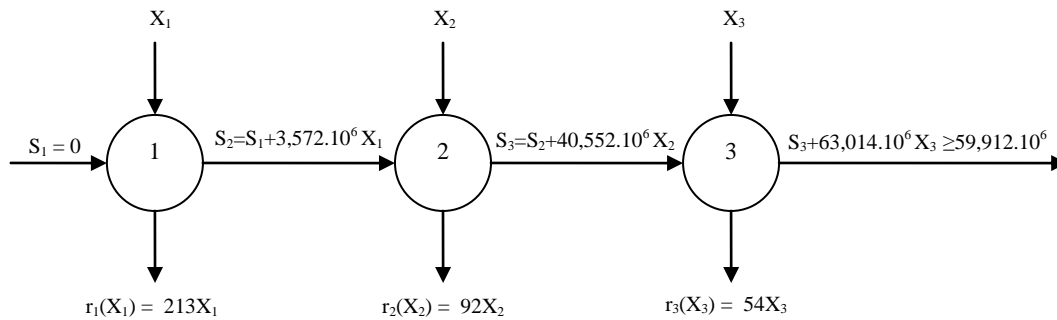
Jenis Kegiatan	Kontribusi Phosphor (mg/l)	Total Keuntungan Rp /thn	Model Keuntungan (Rp)
KJA	3.572.000	761.300.000	Rp. 213X ₁ /thn
Perkebunan	40.552.000	3.738.312.440	Rp. 92X ₂ /thn
Pertanian	63.014.000	3.388.960.512	Rp. 54X ₃ /thn

V.2 Formulasi Model

Jumlah total P yang harus dikurangi masuk kedalam perairan lokasi penelitian supaya tidak menurunkan kualitas perairan adalah sebesar 59.912.000 mg/l. Model Lengkapnya (Haith, 1982):

$$\begin{aligned}
 \text{FS : Max } Z &= 213X_1 + 92X_2 + 54X_3 \\
 \text{K : } X_1 + X_2 + X_3 &= 47,226.10^6 \\
 X_i &= (0; 944520; 1889040; \dots; 47,226.10^6)
 \end{aligned}$$

Program dinamik dari model di atas dapat dilihat pada Gambar V.2.



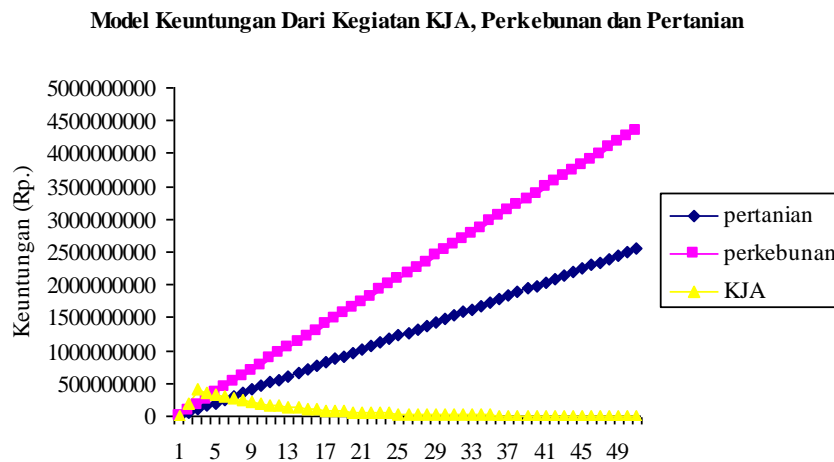
Gambar V.2. Program Dinamik.

Fungsi Keuntungan Optimal :

$f_t(S_t) = \text{Max}$ keuntungan (Rp/thn) pada stage t dimana S_t telah dihilangkan sebelum stage t.

- Stage ke-3 : $f_3(S_3) = \text{Max } 54X_3$
 $X_3 \leq 46,226.10^6 - S_3$
- Stage ke-2 : $f_2(S_2) = \text{Max } [r_2X_2 + f_3(S_3)]$
 $X_2 \leq S_2$
- Stage ke-1 : $f_1(S_1) = \text{Max } [r_1X_1 + f_2(S_2 - X_2)]$
 $X_1 \leq S_1$

Gambaran mengenai model keuntungan dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar V.2.1. Model Keuntungan Dari Kegiatan KJA, Perkebunan dan Pertanian.

Dari Gambar V.2.1 dapat dilihat bahwa model keuntungan untuk kegiatan pertanian dan perkebunan memiliki model linier, yang berarti bahwa semakin besar total P yang dikeluarkan kedalam perairan, maka semakin besar pula keuntungan yang akan diperoleh. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya peningkatan total P menggambarkan kegiatan pertanian dan perkebunan berlangsung secara intensif sehingga hasil yang diperoleh juga akan meningkat.

Sedangkan untuk kegiatan KJA sangat dipengaruhi oleh kondisi kualitas air di lokasi penelitian. Keuntungan akan terus meningkat apabila kondisi perairan masih memungkinkan untuk keberlangsungan hidup ikan yang dibudidayakan. Penurunan keuntungan terjadi ketika terjadi penurunan kualitas air akibat adanya total P yang masuk baik yang berasal dari kegiatan KJA sendiri maupun dari kegiatan perkebunan dan pertanian di sekitar lokasi penelitian. Dari Gambar diatas terlihat bahwa keuntungan maksimum dari kegiatan KJA adalah sebesar Rp.402.365.520 dan buangan P-nya $\leq 1.889.040$ mg/l. Hasil tersebut diperoleh berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Kartamihardja (1995) yang menyatakan bahwa Fraksi luas permukaan air waduk yang dapat digunakan untuk kegiatan perikanan sistem KJA tanpa menimbulkan kematian pada ikan adalah kurang lebih 1% dari total luas permukaan air waduk.

V.3. Simulasi Program dinamik

Dari hasil simulasi dengan program dinamik diperoleh hasil bahwa keuntungan optimum dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian adalah sebesar Rp. 4.396.391.040, dengan alokasi kontribusi total P dari masing-masing kegiatan sebagai berikut :

- KJA : 1.889.040 mg/l
- Perkebunan : 40.641.360 mg/l
- Pertanian : 4.722.600 mg/l

Untuk mencapai kondisi optimum dari total P yang masuk kedalam perairan di lokasi penelitian supaya tidak melebihi daya tampung perairan dan dari segi keuntungan

mencapai hasil yang optimum, maka harus dilakukan pengurangan jumlah total P dari masing-masing kegiatan sebesar :

- KJA → $3.572.000 \text{ mg/l} - 1.889.040 \text{ mg/l} = 1.682.960 \text{ mg/l}$
→ efisiensi sebesar 47,1 %
- Perkebunan → $40.552.000 \text{ mg/l} - 40.552.000 \text{ mg/l} = 0 \text{ mg/l}$
→ efisiensi sebesar 0,0 %
- Pertanian → $63.014.000 \text{ mg/l} - 4.722.600 \text{ mg/l} = 58.291.400 \text{ mg/l}$
→ efisiensi sebesar 92,5 %

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa buangan maksimum dari kegiatan KJA $\leq 1.889.040 \text{ mg/l}$ atau harus dikurangi $1.680.960 \text{ mg/l}$ (efisiensi 47,1%). Hal ini berarti bahwa jumlah optimum KJA yang dapat beroperasi di lokasi penelitian adalah 529 KJA.

VI. UPAYA OPTIMASI KERAMBA JARING APUNG (KJA) DI WADUK SAGULING

VI.1 Upaya Pengelolaan

Ekosistem perairan Waduk Saguling pada dasarnya berada pada satu wilayah atau Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum, sehingga antara satu ekosistem dengan ekosistem lainnya saling terkait dan tidak berdiri sendiri. Menurut Dahuri, dkk (1996) keterpaduan dalam pengelolaan sumberdaya perairan yang melibatkan lebih dari satu ekosistem untuk mencapai pembangunan sumberdaya secara optimal dan berkelanjutan, selain harus memperhatikan keterkaitan ekologis, juga harus memperhatikan keterpaduan secara sektoral dan keterpaduan dalam bidang ilmu.

VI.2 Upaya Pengendalian

VI.2.1 Pengendalian Eksternal

- Melakukan proteksi terhadap Daerah Aliran DAS (DAS) Citarum maupun anak-anak DASnya melalui penghutanan dan penataan kembali tataguna lahan yang berada di sekitar daerah tersebut.
- Mengendalikan nutrien utama pada aliran DAS Citarum terhadap masukan beban limbah yang berasal dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian.
- Program kali bersih (prokasih) yang dapat dilakukan secara swadaya dan swakarsa.

VI.2.2 Pengendalian Internal

- Efisiensi pemberian pakan pada kegiatan budidaya ikan dengan sistem keramba jaring apung (KJA).
- Pembatasan jumlah KJA yang dioperasikan, musim tanam yang dibatasi dan memilih masa tebar benih berdasarkan bulan basah dan kering.
- Pengendalian Waduk Saguling dapat dilakukan dengan aplikasi beberapa metode ekoteknologi.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1 Kesimpulan

Kegiatan perikanan dengan sistem keramba jaring apung (KJA) dan kegiatan perkebunan serta pertanian telah memberikan pengaruh terhadap tingkat kesuburan perairan yang diindikasikan dengan meningkatnya konsentrasi unsur P di dalam perairan lokasi penelitian. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa total P yang masuk ke lokasi penelitian dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian telah melebihi daya tampung perairan tersebut. Untuk menghindari terjadinya kematian massal pada ikan akibat terbentuknya status trofik eutrofikasi di dalam perairan, maka perlu dilakukan pengelolaan baik dari dalam waduk (*internal*) maupun dari luar waduk (*eksternal*). Hasil simulasi dengan program dinamik dengan keuntungan paling optimum diperoleh efisiensi total P dari kegiatan KJA, perkebunan dan pertanian masing-masing sebesar 47,1%, 0,0% dan 92,5%. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah optimum KJA yang dapat beroperasi dilokasi penelitian adalah sebesar 529 KJA.

VII.2 Saran

Ekosistem perairan Waduk Saguling pada dasarnya berada pada satu wilayah atau Daerah Aliran DAS (DAS) Citarum, sehingga antara satu ekosistem dengan ekosistem lainnya saling terkait dan tidak berdiri sendiri. Melihat kondisi tersebut, maka pengelolaan dan pengembangan sumberdaya perairan Waduk Saguling harus dilakukan secara terpadu (*integrated*) dengan memperhatikan keterkaitan ekologis. Untuk pengelolaan budidaya ikan dalam keramba jaring apung (KJA) sangat perlu diperhatikan efisiensi pemberian pakan dan pengelolaan masukkan beban buangan organik ke dalam perairan waduk. Selain itu pembatasan jumlah KJA supaya disesuaikan dengan kemampuan daya dukung waduk. Selain itu disarankan untuk tidak melakukan kegiatan budidaya ikan dalam KJA secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama karena akan mempengaruhi keberlangsungan dan umur dari Waduk saguling tersebut.

Daftar Pustaka

- Bagian Monitoring Waduk Saguling, (2003), Laporan Kondisi Hidrologi Waduk Saguling Indonesia Power, Tidak Dipublikasikan.
- Dahuri, R; J. Rais; SP. Ginting; dan J. Sitepu, (1996), Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Haith, Douglas, A., (1982), *Environmental System Optimazation*, John Wiley and Sons, New York.
- Kartamihardja, E. S., (1995), daya Dukung Perairan dan pengembangan budidaya ikan dalam dalam keramba jarring apung yang ramah lingkungan. Prosiding Ekspose Budidaya Ikan dalam Keramba Jaring Apung yang Ramah Lingkungan. Pusat penelitian dan Pengembangan Perikanan.
- Taha, Hamdy, A., (1996), Riset Operasi, Jilid I, Edisi kelima, Binapura Aksara, Jakarta.
- Vollenweider, R. A. (1976), *Advances in Defining Critical Loading Levels For Phosphorus in lake Eutrophication*, Mem. 1st. Ital. Idrobiol.

