

MODEL TRANSFORMATOR DATA LAMA PENYINARAN MATAHARI KE DALAM INFORMASI FLUKTUASI DO AIR 24 JAM DI WADUK CIRATA

Eko Harsono*

ABSTRAK

Permasalahan pengembangan budidaya ikan sistem jaring apung di Waduk Cirata adalah terjadinya kematian massal ikan secara periodik akibat deplesi DO (Dissolved Oxygen: oksigen terlarut) pada malam hari yang mencapai kritis pada dini hari. Fluktuasi DO harian dibatasi faktor fotosintesis-respirasi fitoplankton, didukung lama penyinaran matahari. Dengan dapat diramalkannya fluktuasi DO air dari lama penyinaran matahari, maka informasi untuk standar operasional dalam mencegah kematian massal ikan dapat disusun. Telah dikembangkan model transformasi data lama penyinaran matahari menjadi informasi ramalan fluktuasi DO 24 jam, berdasarkan prinsip neraca massa oksigen di setiap ruang dan waktu. Perubahan massa oksigen didefinisikan sebagai fungsi dispersi, difusi, aerasi dan penggunaan oksigen untuk proses oksidasi. Arus air penyebab proses dispersi didekati dengan prinsip konservasi massa dan gerak air dua dimensi berlapis, diturunkan dari prinsip fluida Newtonian. Difusi DO pada arah dua dimensi di setiap lapisannya diturunkan dari hukum Fick's. Sedangkan fluktuasi DO 24 jam diformulasikan dari mekanisme fotosintesis-respirasi fitoplankton. Aliran model dengan pembatas dan parameter yang telah diidentifikasi sebelumnya, menunjukkan hasil perhitungan fluktuasi DO 24 jam mirip dengan hasil observasi. Fluktuasi DO juga dipengaruhi oleh kebutuhan DO permanen akibat beban karbon organik dan nitrogen nir-organik terlarut. Model dapat digunakan lebih lanjut untuk piranti simulasi dari skenario lama penyinaran matahari pada berbagai beban karbon organik, nitrogen nir-organik, dan fosfat menjadi informasi ramalan kejadian DO kritis di badan air Waduk Cirata.

Kata kunci: Waduk Cirata, fluktuasi oksigen, lama penyinaran matahari, model transformasi.

ABSTRACT

THE TRANSFORMATOR MODEL OF PHOTOPERIOD TO 24 HOURS OF OXYGEN FLUCTUATION IN CIRATA RESERVOIR. Problems of floating net system fish culture Waduk (Reservoir) Cirata is mass death of fish periodically caused by oxygen depletion at night time. Diurnal oxygen fluctuation limited by phytoplankton respiration-photosynthesis process supported by photoperiod. If forecasting information of oxygen fluctuation from photoperiod can be obtained, a standard operation for mitigation of fish death mass could be compiled. The transformation model of photoperiod data into forecasting information of 24 hour oxygen fluctuation has developed, base on principal oxygen mass balance at each space and time of water body. Alternation of oxygen mass defined as dispersion, diffusion, aeration, and oxygen uptake for oxidation processes. Water movement cause of dispersion processes is approached by principal of two dimension multi layer water mass conservation, generated from principal Newtonian fluid. Oxygen diffusion on two dimension on each layer generated from Fick's law. Fluctuation of 24 hours oxygen was formulated based on respiration-photosynthesis processes mechanism. Running of the model by using boundary condition and parameter which has identified showed that calculate result of 24 hours oxygen fluctuation similarly to observation result. Oxygen fluctuation also is highly influenced by permanent oxygen demand for oxidation of organic carbonaceous and inorganic nitrogen load. The model can be used for advanced simulation tool to obtain critical oxygen information from scenario of photoperiod with various influent load or organic carbon, inorganic nitrogen and orthophosphate.

Key words: Cirata Reservoir, oxygen fluctuation, photoperiod, transformation model.

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI

PENDAHULUAN

Waduk seri tiga di DAS (Daerah Aliran Sungai) Citarum telah dikembangkan untuk budidaya ikan dengan sistem jaring apung. Waduk Cirata adalah salah satu waduk tersebut yang paling banyak petak jaring apungnya, yaitu 27.492 petak dari 2.799 pemilik dengan produksi ikan 1.826 ton/tahun (Dinas Perikanan Pemkab Cianjur, 2003). Usaha budidaya ikan di waduk ini, telah menyerap tenaga setempat sebanyak \pm 8.397 orang dan memacu kegiatan ekonomi di desa-desa tepian waduk tersebut.

Permasalahan di sektor perikanan ini, adalah kematian massal ikan yang terjadi hampir periodik di setiap tahun. Berdasarkan analisis para pakar, kematian ikan tersebut disebabkan oleh material toksik dasar waduk yang terbawa ke permukaan air oleh arus 'up-welling'. Namun berdasarkan wawancara yang telah dilakukan dengan operator (penunggu) jaring apung, dapat disimpulkan bahwa modus kematian masal ikan disebabkan oleh deplesi DO (*Dissolved Oxygen*: Oksigen terlarut) air waduk pada malam hari yang mencapai titik kritis pada dini hari. Fluktuasi 24 jam DO badan air waduk dibatasi oleh faktor pasokan dan penggunaan DO akibat fotosintesis dan respirasi fitoplankton. Dimana pasokan DO ke dalam badan air waduk oleh proses fotosintesis pada siang hari tergantung pada lama penyinaran matahari (*photoperiod*).

Pada kondisi periode penyinaran matahari yang pendek akan menyebabkan proses fotosintesis yang pendek. Sehingga pada gilirannya, DO badan air waduk untuk mendukung proses respirasi fitoplankton pada malam hari juga tidak cukup. Situasi yang demikian dapat menyebabkan terjadi defisit DO badan air pada dini hari.

Berdasarkan analisis tersebut, periode penyinaran matahari dalam hal ini merupakan pemain penting yang mengkaraktisasi kondisi DO badan air waduk di malam hingga dini hari. Dengan demikian, apabila kondisi DO badan air tersebut dapat diramal dari data lama penyinaran matahari, maka dapat juga dikembangkan informasi peringatan dini terjadinya pemasalahan tersebut. Disamping itu juga dapat digunakan untuk alat bantu dalam perbaikan rancang bangun sistem budidaya ikan jaring-apung. Masalahnya hingga sampai saat ini belum ada penelitian yang mengembangkan ramalan kondisi DO malam hari dari periode penyinaran matahari di waduk tersebut.

Penelitian ini telah mencoba mengembangkan model transformator data lama penyinaran matahari menjadi informasi ramalan fluktuasi 24 jam DO air waduk. Disamping itu juga telah dilakukan simulasi model DO dari skenario lama penyinaran matahari, yang diharapkan dapat memperagakan penyebab kematian ikan secara massal dari sisi defisit oksigen.

METODE

Model transformator data lama penyinaran matahari ke informasi fluktuasi 24 jam DO badan air dikembangkan dari proses fotosintesis-respirasi fitoplankton. Disamping itu juga dipertimbangkan pula adanya konsumsi DO oleh proses dekomposisi COD (*Chemical Oxygen Demand*; Kebutuhan oksigen kimia) di kolom air, proses nitrifikasi nitrogen nir-organik dan pembusukan sedimen dasar. Proses tersebut dapat diperagakan sebagai berikut.

P_{DO} = beban dari luar sistem + aerasi + (DO fotosintesa – DO respirasi)
 – DO konsumsi dekomposisi DCOD – DO konsumsi oksidasi ($NH_3 \rightarrow NO_2$)
 – DO konsumsi oksidasi ($NO_2 \rightarrow NO_3$) – DO konsumsi sedimen

$$P_{DO} = \frac{W_{DO}}{h \cdot \Delta x \Delta y} + (C_s - C_{DO}) k_a + (G_p - d_p) r_{po} C_{chl-a} - k_d C_{DCOD} - r_{ox} k_{n1} C_{NH_4} - r_{ox} k_{n2} C_{NO_2} - \frac{S_b}{h_s}$$

yang mana,

P_{DO} = Produksi DO $kg \cdot m^{-3} \cdot hari^{-1}$
 W_{DO} = beban DO dari influen ($kg \cdot hari^{-1}$),
 h = tebal segmen (m),
 Δx = panjang segmen (m),
 Δy = lebar segmen (m),
 C_s = DO jenuh ($kg \cdot m^{-3}$),
 k_a = koefisien reaerasi ($1/hari$),
 G_p = laju fotosintesis klorofil-a ($1/hari$),
 d_p = laju kematian klorofil-a ($1/hari$)
 r_{po} = kg produksi oksigen per produksi klorofil-a ($mg O_2/mg$ berat kering klorofil-a)
 C_{chl-a} = konsentrasi klorofil-a ($kg \cdot m^{-3}$)
 C_{COD} = konsentrasi COD badan air ($kg \cdot m^{-3}$),

k_d = laju dekomposisi DCOD ($1/hari$),
 r_{ox} = bagian NO_2 yang terdegradasi,
 k_{n1} = laju nitrifikasi NH_4 menjadi NO_2 ($hari^{-1}$),
 k_{n2} = laju nitrifikasi NO_2 menjadi NO_3 ($hari^{-1}$),
 C_{NH_4} dan C_{NO_2} = konsentrasi NH_4 dan NO_2 badan air ($kg \cdot hari^{-1}$),
 S_b = laju kebutuhan oksigen sedimen ($kg \cdot hari^{-1} \cdot m^{-2}$),
 h_s = kedalaman badan air (m),

Dalam penelitian ini laju fotosintesis fitoplankton didekati dengan persamaan berikut (Chapra, 1997):

$$G_p = G_{maks} \left(\frac{C_{NO_3}}{k_{mn} + C_{NO_3}} \right) \left(\frac{C_{PO_4}}{k_{mp} + C_{PO_4}} \right) (1,006)^{(T-20)} \left[\frac{2,718f}{k_e H} \{ \exp(-\alpha_1) - \exp(\alpha_0) \} \right]$$

yang mana,

$$k_e = \frac{a_p}{H_{st}} ; \quad \alpha_1 = \frac{I_a}{I_s} ; \quad \alpha_0 = \frac{I_a}{I_s} \exp(-k_e H)$$

G_{maks} = laju photosintesa phytoplankton maksimum pada suhu $20^\circ C$ ($hari^{-1}$), nilainya $1,5 \sim 2,8/hari$
 a_p = konstanta empirik, nilainya $1,7 \sim 1,8$
 k_e = kedalaman piringan sechi (1.1)
 H = kedalaman badan air (m)
 k_{mn} = konsenrasi NO_3 pada $1/2$ laju fotosintesis (mg/l), nilainya $10 \sim 20 \mu g/l$
 k_{mp} = konsentrasi PO_4 pada laju fotosintesis maksimum (mg/l), nilainya $1,5 \sim 2,8 \mu g/l$

I_s = intensitas cahaya pada laju fotosintesis maksimum ($cal/cm^2/hari$), nilainya $100 \sim 400 cal/cm^2/hari$
 f = lamanya penyinaran matahari (photo-period)
 C_{PO_4} = konsentrasi PO_4 ($kg \cdot m^{-3}$),
 C_{NO_3} = konsentrasi NO_3 ($kg \cdot m^{-3}$)

Sedangkan distribusi DO di badan air baik secara lateral, horizontal maupun vertikal, didekati dengan persamaan hidrodinamika 2-gatra berlapis (3-gatra

semu) yang mempertimbangkan adanya adveksi dan dispersi. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut,

Untuk lapisan Permukaan,

$$\frac{\partial (h_1 + \zeta) C_{DO(1)}}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (u_1 (h_1 + \zeta) C_{DO(1)}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_1 (h_1 + \zeta) C_{DO(1)}) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ E_{x1} (h_1 + \zeta) \frac{\partial C_{DO(1)}}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ E_{y1} (h_1 + \zeta) \frac{\partial C_{DO(1)}}{\partial y} \right\} - E_z (C_{DO(1)} - C_{DO(2)}) + w_{3_2} C^* + P_{DO(1)} (h_1 + \zeta)$$

Lapisan antara,

$$\frac{\partial (h_k C_{DO(k)})}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (h_k u_k C_{DO(k)}) + \frac{\partial}{\partial y} (h_k v_k C_{DO(k)}) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h_k \frac{\partial C_{DO(k)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h_k \frac{\partial C_{DO(k)}}{\partial y} \right) + E_z (C_{DO(k-1)} - C_{DO(k)}) - E_z (C_{DO(k)} - C_{DO(k+1)}) - w_{k-1_2} C^* + w_{k+1_2} C^* + P_{DO(k)} h_k$$

Sedangkan untuk lapisan dasar,

$$\frac{\partial (h_k C_{DO(k)})}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (h_k u_k C_{DO(k)}) + \frac{\partial}{\partial y} (h_k v_k C_{DO(k)}) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h_k \frac{\partial C_{DO(k)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h_k \frac{\partial C_{DO(k)}}{\partial y} \right) + E_z (C_{DO(k-1)} - C_{DO(k)}) - w_{k-1_2} C^* + P_{DO(k)} h_k$$

yang mana,

$C_{DO(1)}$ = konsentrasi DO pada lapisan ke 1 ($kg.m^{-3}$),

$C_{DO(k)}$ = konsentrasi DO pada lapisan ke k ($kg.m^{-3}$),

$C_{DO(d)}$ = konsentrasi DO pada lapisan dasar ($kg.m^{-3}$),

t = waktu (detik),

x, y = sumbu x dan y,

h_1 = tinggi muka air rerata dari titik acuan (m),

h_k = tebal lapisan tubuh air pada lapisan ke k (m),

$u_{(1)}, v_{(1)}$ = kecepatan arus air ke arah sumbu x dan y pada lapisan 1 ($m.det^{-1}$),

u_k, v_k = kecepatan arus air ke arah sumbu x dan y pada lapisan ke k ($m.det^{-1}$),

w_{k+1_2} = kecepatan arus vertikal pada lapisan k + $\frac{1}{2} h_k$ ($m.dt^{-1}$),

w_{k-1_2} = kecepatan arus vertikal pada lapisan ke $\frac{3}{2} h_k$ ($m.det^{-1}$),

E_x, E_y = koefisien difusi ke arah sumbu x,

E_z y dan vertikal badan air waduk ($m^2.det^{-1}$),

C^* = $C_{DO(k-1)}$ jika $w_{k+1_2} > 0$ dan $C^* = C_{DO(k)}$ jika $w_{k-1_2} < 0$,

ζ = tinggi muka air dari titik acuan (m)

$P_{DO(1)}$ = produksi netto DO dilapisan permukaan ($kg.m^{-3}.det^{-1}$),

$P_{DO(k)}$ = produksi netto DO di lapisan ke k ($kg.m^{-3}.det^{-1}$).

Muka air dan kecepatan arus ke arah sumbu (x,y), dihitung berdasarkan prinsip kontinuitas dan neraca momentum air 2(dua) gatra berlapis dari fluida Newtonian,

sedangkan arus air vertikal didekati dengan sistem kompartemen (Eko Harsono,2001). Persamaan diferensial parsial di atas, dalam penelitian ini diselesaikan dengan skema

numerikal beda hingga (*finite different*) 'back-ward'. Perhitungannya dilakukan dengan pemograman menggunakan bahasa Fortran. Kondisi pembatas (*boundary condition*) digunakan pendekatan dirichlet dengan segmentasi, jumlah dan tebal lapisan air, lama penyinaran matahari dan inflow.

Sedangkan kondisi awal (*initial condition*) ditetapkan berdasarkan kondisi DO rata-rata hasil monitoring kualitas air yang dilakukan oleh PT. Indonesia Power Cirata pada lokasi-lokasi terpilih (Gambar 1). Kondisi DO air dipantau pada siang hari setiap triwulan dan dilakukan pada kedalaman 0,2 m, 5 m dan dasar air waduk.

Segmentasi dilakukan berdasarkan pada peta batimetri hasil pengukuran tahun 2002 oleh Indonesia Power Cirata yang digambar kembali dengan interval kontur 1m (Gambar 2). Sedang muka air yang

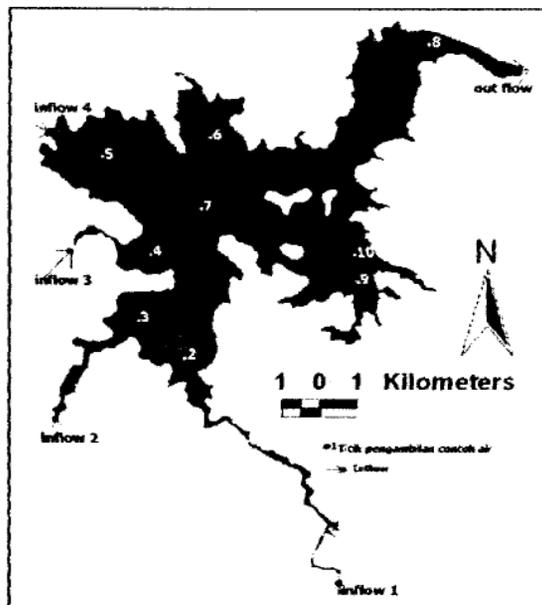
digunakan pada kedudukan 219 m msl (*mean sea level*; di atas permukaan laut). Berdasarkan pada kedudukan muka air tersebut, dengan Arc View Gis 3.3 dapat dibuat peta genangan dan grit (segmen). Untuk menghindari kesalahan numerikal, dalam penentuan dimensi segmen mempertimbangkan step waktu hitungan (Δt) dan kedala manmaksimum sebagai berikut,

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{maks}}}$$

Δx = panjang arah x dari segmen (m),

h_{maks} = kedalaman waduk maksimum (m),

g = gaya gravitasi bumi (m/dt^2).



Gambar 1. Stasiun Pemantau Kualitas Air dan Debit inflow

Jumlah dan tebal lapisan badan air waduk, ditetapkan berdasarkan pertimbangan domain ke dalaman rata-rata karamba jaring apung (± 2 m) dan kedalaman maksimum badan air waduk pada ketinggian muka air 219 m msl.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, jumlah lapisan tiap-tiap segmennya dapat ditentukan. Sedangkan tebal dan jumlah lapisan pada kedalaman waduk maksimum adalah seperti dalam tabel 1.

Beban inflow material dari sungai pemasok utama didekati dengan formula sebagai berikut,

$$W = C_{inf} \times Q_{inf}$$

C_{inf} = konsentrasi (DO, D-COD, NH_3 , NO_2 , NO_3 , T-N, PO_4 , TP) di air sungai pemasok ($mg.l^{-1}$),

Q_{inf} = debit sungai pemasok ($m^3.det^{-1}$).

C_{inf} dilakukan dengan pengambilan contoh air menggunakan metode Grap pada lokasi seperti dalam gambar 1. Kemudian contoh air dianalisis di laboratorium menggunakan metode standard.

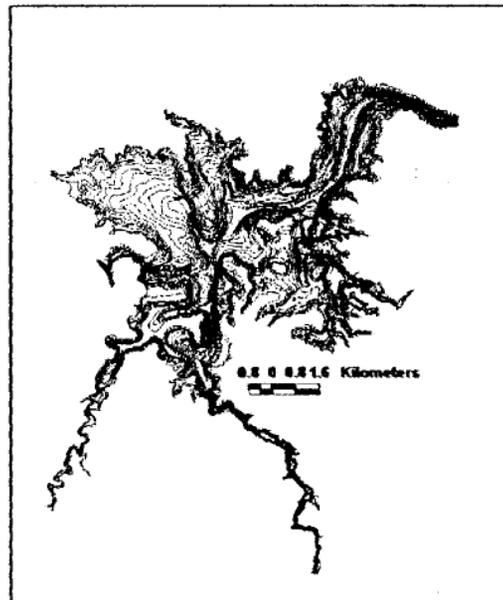
Sedang Q_{inf} diukur di titik pengambilan contoh air. Waktu pengukuran debit ini bersamaan dengan pengambilan

contoh air. Estimasi debit inflow menggunakan metode velocity-Area method, dimana kecepatan aliran diukur dengan Current-meter dan luas penampang diestimasi secara metode Mid-section.

Untuk kalibrasi model, dalam penelitian ini telah dilakukan pengukuran fluktuasi DO selama 24 jam dengan dengan Water Quality Logger (interval 5 menit) dan lama penyinaran matahari dengan Lux-meter di titik 7 (Gambar 1). Sedang kalibrasi distribusi mendatar dilakukan dengan observasi dari pengukuran DO menggunakan DO-meter di lokasi-lokasi terpilih (lihat Gambar 1).

Tabel 1. Tebal Lapisan air Waduk Cirata

Lapis ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tebal (m)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	5	5	5	10	10	10	10	29
Kedalam (m)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	19	24	29	39	49	59	69	98



Gambar 2. Batrimetri Waduk Cirata

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada umumnya DO air permukaan Waduk Cirata di siang hari masih memenuhi syarat baku mutu yang berlaku (≥ 3 mg/l) (Gambar 3). Di permukaan air hingga kedalaman tempat cahaya matahari masih dapat menembus, merupakan habitat fitoplankton berklorofil (berfotosintesis). Siang hari terjadi proses fotosintesis fitoplankton yang menghasilkan DO, sehingga kandungan DO air waduk pada waktu ini dapat terangkat. Hal ini semakin kelihatan pada bulan-bulan kemarau dimana matahari jarang tertutup awan. Pada bulan-bulan ini proses fotosintesis yang terjadi dapat berlangsung dengan baik, sehingga kandungan DO cenderung tinggi hingga mencapai super jenuh atau melebihi DO jenuh (± 9 mg/l).

Hasil pengukuran kedalaman sechi disk di waduk ini, pada umumnya ± 3 m. Hal ini menunjukkan kemampuan cahaya matahari menembus badan air waduk Cirata hanya sebatas kedalaman sechi disk tersebut, sehingga dapat dikatakan habitat fitoplankton yang berfotosintesis juga setebal badan air ini. Indikasi tersebut kelihatan dari hasil pemantauan DO di kedalaman 5 m yang umumnya telah menyusut bila dibandingkan dengan DO permukaan air (0,2 m). Kondisi DO air pada kedalaman 5 m ini, dapat diduga berasal dari adanya pergerakan DO ke bawah (dari lapisan permukaan) karena difusi dan adveksi.

Pada kedalaman air waduk 5 m relatif masih dekat dengan lapisan permukaan (zona permukaan), maka penyusutan DO dari permukaan relatif masih kecil. Sebaliknya di dasar waduk yang mempunyai kedalaman dari permukaan cukup dalam. Dasar waduk merupakan tempat terakumulasinya semua endapan organik sehingga kebutuhan DO untuk membusukan semakin besar. Maka kandungan DO air waduknya semakin kecil.

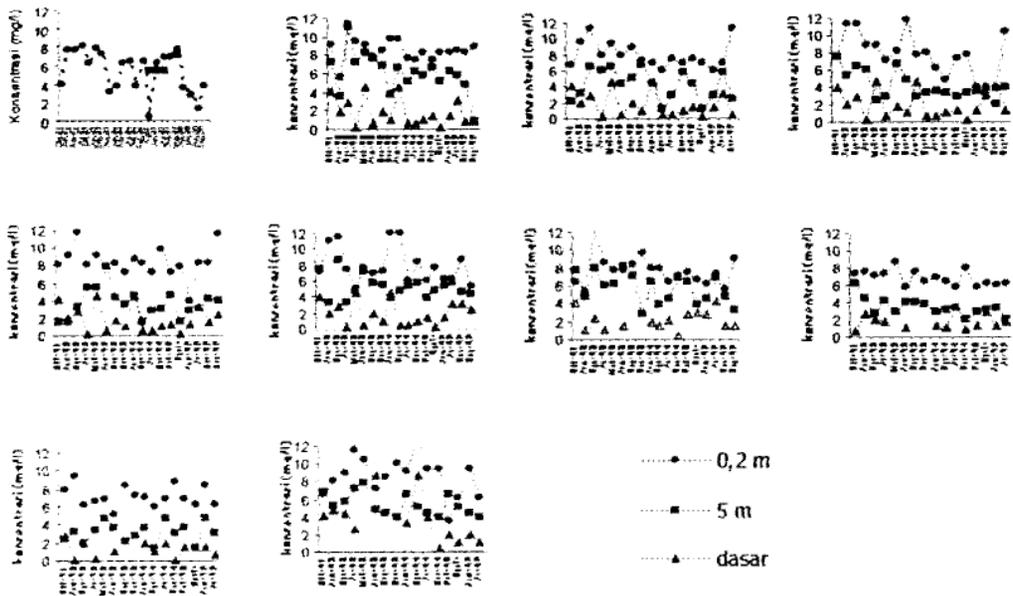
Hasil pemantauan DO siang hari tersebut (Gambar 3), untuk peruntukkan budidaya ikan dengan jaring apung (kedalaman jaring ± 2 m) masih memenuhi syarat dan tidak bermasalah. Namun Seperti halnya telah diuraikan sebelumnya, masalah DO air terjadi karena kurangnya cahaya matahari di siang hari yang menyebabkan defisitnya DO di malam hari dan mencapai titik kritis pada pagi hari.

Segmentasi yang telah dilakukan melalui uji-salah (*trial an error*) pada peta batimetri dengan tinggi muka air 219 m msl (Gambar 4), diperoleh dimensi segmen $i = j = 175$ m. Segmen pada arah i sebanyak 97 segmen dan pada arah j sebanyak 82 segmen, sehingga keseluruhan segmen permukaan 7954 dengan volume $1.927.026.063$ m³ (Gambar 5).

Dari hasil estimasi volume air dari peta batimetri kedudukan muka air 219 dengan metode luas-tinggi kontur, diperoleh volume air $1.947.143.926$ m³. Bila dibandingkan ke dua volume tersebut, perbedaannya hanya 1,03 %, sehingga segmentasi dapat dianggap bisa mewakili morfometri waduk

Berdasarkan segmentasi tersebut (Gambar 5), dapat diidentifikasi arah in-out flow, yaitu dengan cara, searah i positif dinotasikan dengan 2 dan negatif -2, searah j positif dinotasikan dengan 1 dan negatif -1. Koordinat dan arah aliran in-out flow disajikan dalam tabel 2. Sedangkan hasil pengukuran debit dan analisis beban material yang diteliti dapat dilihat dalam (gambar 6).

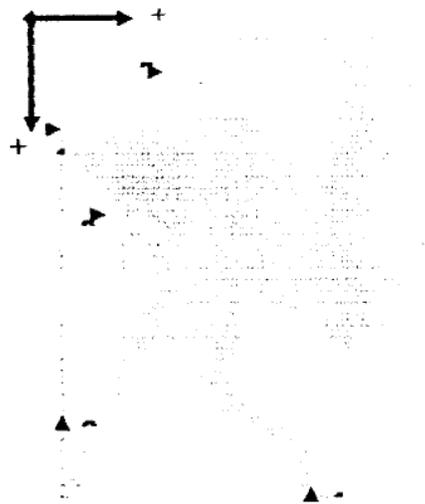
Titik in-flow utama yang mempunyai pengaruh paling besar pada badan air Waduk Cirata adalah titik 2 dan titik 3 atau sungai Citarum dan Sungai Cisokan (Gambar 6). Begitu juga dengan beban material yang diteliti, ke dua sungai tersebut dapat dianggap penyumbang beban material pencemar utama di badan air Waduk Cirata.



Gambar 3. DO Air tiap Stasiun Pemantau di. Waduk Cirata



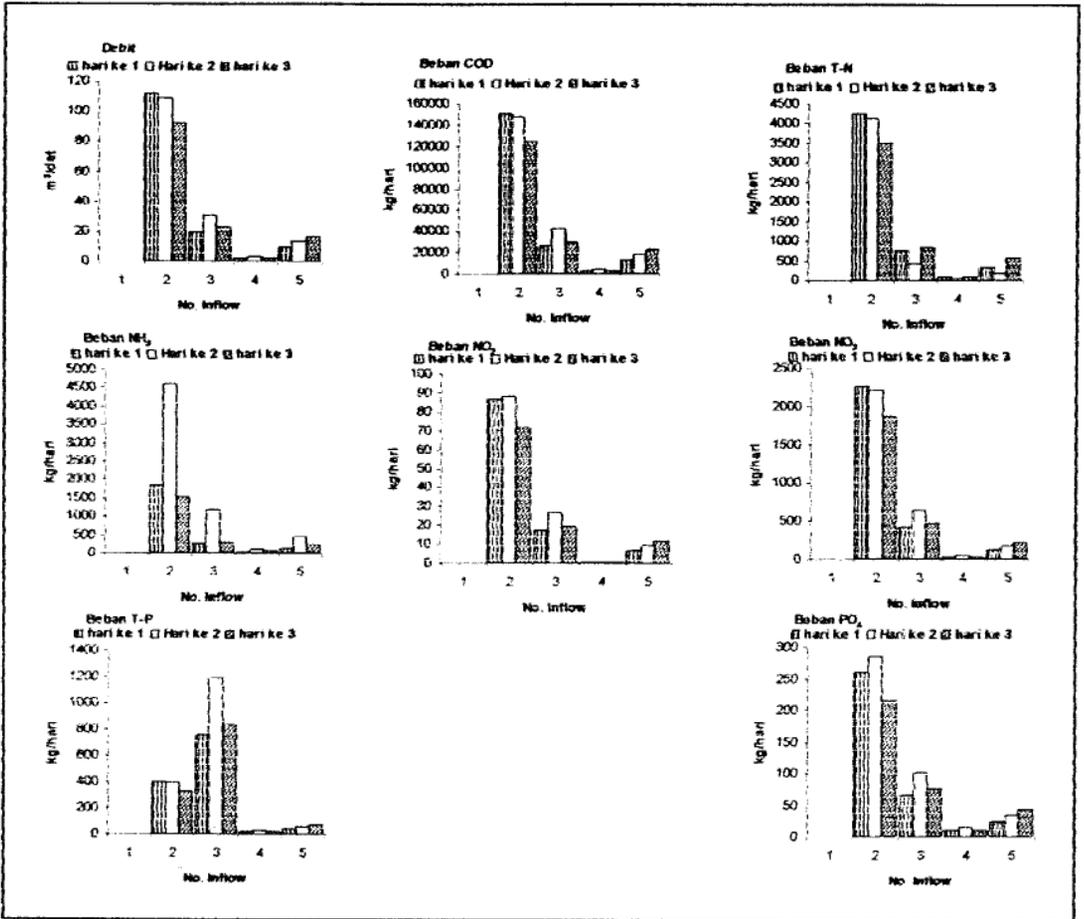
Gambar 4. Peta Genangan Waduk Pada Ketinggian Muka Air 219 m msl



Gambar 5. Hasil Segmentasi Badan Air Waduk Cirata

Berdasarkan kondisi tersebut, debit in-flow pada saat pengambilan contoh air ada kecenderungan menurun. Kecenderungan

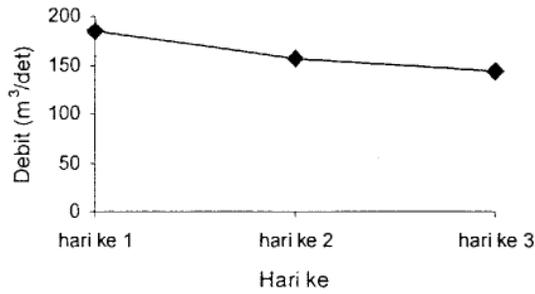
tersebut juga terlihat pada debit out-flow hasil pemantauan PT. Indonesia Power Cirata (Gambar 7).



Gambar 6. Tabel Debit dan Beban Inflow Ke Dalam Waduk Cirata Pada Saat Survey.

Tabel 2. Koordinat Inflow dan Outflow

No.	Koordinat		Arah	Lapisan
	i	j		
1	41	33	-2	0
2	96	53	-2	0
3	87	2	-2	0
4	38	11	1	0
5	20	2	1	0

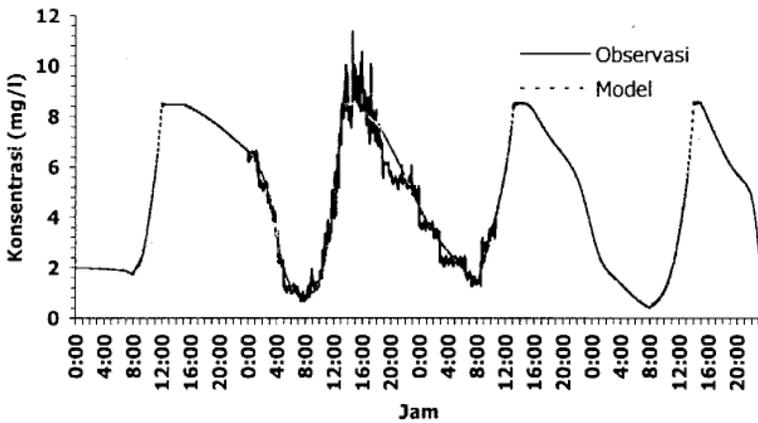


Gambar 7. Tabel Debit out-flow Waduk Cirata Pada Saat Survey.

Menggunakan kondisi pembatas (*boundary condition*) di atas dan program komputer yang telah disusun, maka dapat dilakukan kalibrasi dengan metode coba salah (*trial and error*) dengan hasil observasi untuk mendapatkan parameter-parameter model. Hasil model fluktuasi 24 jam DO air Waduk Cirata yang telah terkalibrasi dengan hasil observasi di lokasi

pengukuran 7 atau koordinat (i,j) 32,33 (Gambar 8), memiliki kecenderungan yang sama dengan model hasil perhitungan yang telah dilakukan.

Dari hasil perhitungan tersebut, parameter model yang telah diperoleh baik secara kalibrasi maupun mengacu pada pustaka disajikan dalam tabel 3



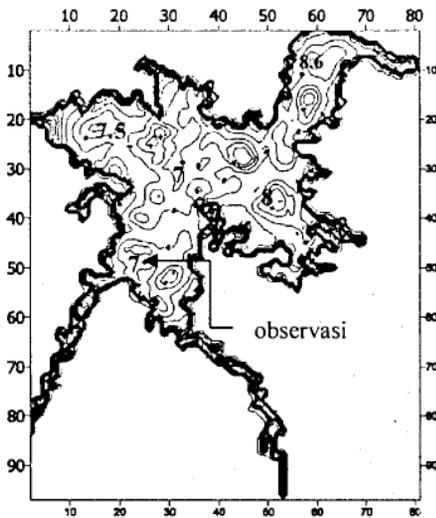
Gambar 8. Model Fluktuasi 24 Jam DO Air Waduk Cirata (pada titik koordinat I = 32, j = 33)

Tabel 3. Parameter Model

Parameter	satuan	Nilai
k_a	1/hari	0,005
d_p	1/hari	0,05
r_{po}	mg O ₂ /mg berat kering klorofil-a	0,8
d_p	1/hari	0,05
G_{maks}	hari ⁻¹	1,8
k_d	1/hari	0,005
k_{n1}	1/hari	0,07
k_{n2}	1/hari	0,1
r_{in}	kg.hari ⁻¹ .m ⁻²	0,7
a_p		1,72
k_{mn}	mg/l	0,01
k_{mp}	mg/l	0,01
I_s	cal/cm ² /hari	350

Distribusi DO hasil perhitungan secara mendatar pada lapisan kesatu maupun vertikal (penampang $i = 30$, $j =$

11~60) secara perhitungan (Gambar 9 & Gambar 10) mempunyai kecenderungan yang mirip dengan hasil observasi.



Gambar 9. Distribusi Mendatar DC Air Waduk Cirata Pada Lapisan ke 1 Jam 13.⁰⁰ (hari ke 3)



Gambar 10. Distribusi Vertikal DO air Waduk Cirata pada Penampang $i = 30$, $j = 11\sim 60$ jam 13.⁰⁰ (hari ke 3)

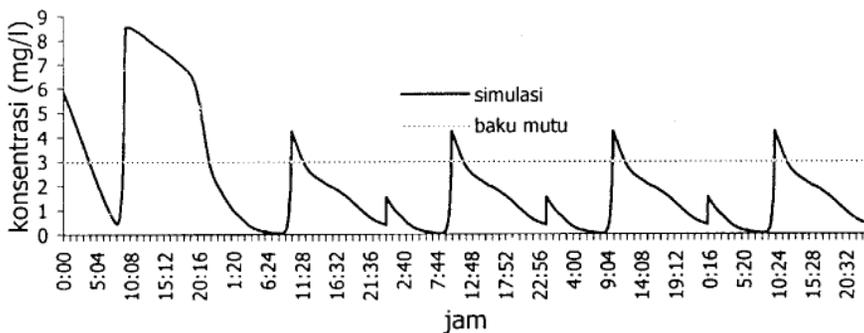
Berdasarkan pada hasil kalibrasi model di atas, maka model dapat digunakan untuk melakukan simulasi dari suatu skenario. Dalam penelitian ini, skenario yang dicoba mendasarkan pada fenomena yang teramati oleh penunggu jaring apung, yaitu selama tiga hari berturut-turut matahari tertutup awan yang mana lama penyinaran matahari hanya dua jam (kira-kira jam $9^{00} \sim 11^{00}$) setiap harinya. Untuk mendapatkan kestabilan hitungan, maka skenario yang dicoba selama lima hari dengan fenomena yang sama. Yaitu apabila kondisi muka air dan inflow seperti saat observasi, namun selama lima hari berturut-turut matahari tertutup awan sehingga lama penyinaran matahari tiap harinya hanya 2 jam yaitu dari jam 9^{00} sampai dengan 11^{00} . Maka diperoleh hasil fluktuasi lima hari dari DO waduk Cirata pada titik 7 atau (i,j) 32,33 seperti dalam gambar 11.

Pada hari pertama, kandungan DO air pada titik (33, 32) masih di atas baku mutu dengan waktu cukup lama yaitu dari jam $8^{00} \sim 22^{00}$. Namun setelah hari ke dua dan seterusnya, kandungan DO air melebihi baku mutu pada titik itu hanya selama 2 jam ($8^{00} \sim 10^{00}$) (Gambar 11). Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat juga, kandungan DO air kritis di waduk Cirata terjadi pada jam $7^{00} \sim 8^{00}$. Berdasarkan keluaran hasil simulasi

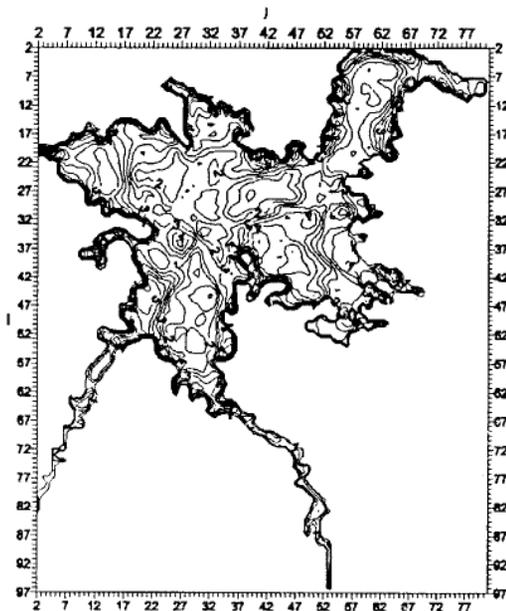
pada distribusi mendatar dan vertikal pada malam hari yang digambarkan pada gambar 12 dan 13, kondisi kritis DO tersebut terjadi hampir di seluruh segmen.

Melihat kondisi kandungan DO air hasil simulasi tersebut, dapat difahami apabila ikan budidaya jaring apung dengan kepadatan yang cukup tinggi di Waduk Cirata itu akan terancam kehidupannya.

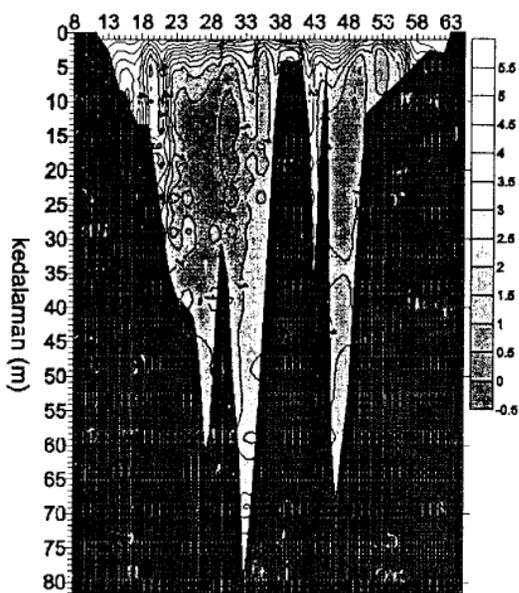
Mengingat modus kematian ikan secara massal di waduk ini yang kejadiannya sebagian besar terjadi pada permulaan musim penghujan. Pada kondisi yang demikian biasanya terjadi *blooming* fitoplankton, karena lama penyinaran matahari cukup lama dan waktu tinggal air di waduk juga lebih lama (*saving storage*). Sehingga pada pergantian musim kemarau ke penghujan ini dapat terjadi fenomena yang mengancam kehidupan ikan budidaya. Yaitu kejadian selama tiga hari berturut-turut lama penyinaran matiharinya hanya satu jam, dan biasanya pada saat yang demikian kecepatan anginnya sangat kecil mendekati nol m/det. Pada kondisi yang demikian dan mendasarkan pada analogi hasil simulasi di atas, ikan budidaya di jaring apung awalnya akan mabuk (istilah petani ikan) dan akhirnya secara massal akan mati karena kekurangan oksigen.



Gambar 11. Fluktuasi 24 jam DO selama lima hari hasil simulasi pada titik (i,j) 32,33 di Waduk Cirata



Gambar 12. Distribusi Mendatar DO Air Waduk Cirata Pada Lapisan ke 1 Jam 3.⁰⁰ (hari ke 3)



Gambar 13. Distribusi Vertikal DO air Waduk Cirata pada Penampang $i = 30, j = 11-60$ jam 3.⁰⁰ (hari ke 3)

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil monitoring kandungan DO air di Waduk Cirata, hanya memberi gambaran kondisi DO air di siang hari pada saat pengukuran dilakukan. Hasil perhitungan dengan model dapat memperagakan kecenderungan fluktuasi 24 jam DO air di waduk Carita. Model yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk menstransfer data lama penyinaran matahari menjadi informasi fluktuasi 24 jam DO air waduk dan dapat untuk mengetahui kondisi DO di malam hingga dini hari. Hasil simulasi dari skenario awal yang telah dilakukan dapat menjadi peragaan yang baik untuk menduga penyebab kematian ikan secara massal di waduk Carita.

Saran berdasarkan hasil penelitian ini adalah: i) Monitoring kandungan DO sebaiknya ditingkatkan menjadi monitoring selama 24 jam di titik dimana area tersebut jaring apungnya paling padat; ii) Penelitian lebih lanjut mengenai simulasi DO dengan model yang telah disusun dengan skenario-

skenario pada kondisi pembatas, inflow, outflow dan berbagai-bagai jam penyinaran matahari, sehingga dapat disusun informasi yang dapat digunakan pencegahan preventif dari kematian ikan secara massal pada budidaya jaring apung di Waduk Cirata; iii) Secara tentatif dapat direkomendasikan untuk mencegah kematian ikan tersebut, dapat dilakukan dengan mempersiapkan mesin aerator yang dapat digunakan apabila gejala cuaca mengarah ke lama penyinaran matahari yang pendek dalam beberapa hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapra C.S., 1997, Surface Water-Quality Modeling, Mc Graw-Hill, New York, 844pp
- Dorch M.S. and R.S. Chapman., 1990, Integrating Time-Varying, Three-Dimensional Hydrodynamic Model Output For Chesapeake By Water quality Model, *Proc. Estuarine and Coastal modeling*, (Ed.

- M.L.Spaulding), ASCE, New York, 76-82.
- Eko H. and Hendro W., 2001, Water Temperatur Modeling of lake Ranau, Sumatra Island, *Proc. Asia-Pacific Workshop on Ecohydrology*, (Ed. Peter Hehanussa & Gadis Sri Haryani), IHP-V, UNESCO Jakarta Office.
- Johnson, B.H. and Kim K.W.,1990, Development of Three-dimensional Hydrodinamic Model of Chesapeake Bay, *Proc Estuarine and Coastal Modeling*, (Ed. M.L.Spaulding), ASCE, New York, 79 – 87.
- Kreyszig E., 1988, *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley, New York,1294pp
- Olson M.R., 1990, *Essential of Engineering Fluid Mechanics* , Harper & Row, New York, 667pp
- Thomann V.T., 1987, *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper & Row, New york, 644 pp