

MODEL DISTRIBUSI SPASIAL NITRIT DAN NITRAT DI BADAN AIR WADUK JATILUHUR

Eko Harsono

Pusat Penelitian Limnologi-LIPI

e-mail : e_harsono@yahoo.com

Diterima redaksi : 22 November 2012, disetujui redaksi : 25 April 2013

ABSTRAK

Model distribusi spasial nitrit dan nitrat telah dikembangkan untuk mengantisipasi ancaman pencemaran peruntukan kualitas air untuk perikanan dan sumber baku air minum di badan air Waduk Jatiluhur. Parameter model dikalibrasi dan divalidasi dengan observasi konsentrasi nitrit dan nitrat badan air pada elevasi muka air yang berbeda. Kalibrasi dan validasi model menunjukkan hasil perhitungan distribusi konsentrasi spasial nitrit dan nitrat cenderung sesuai dengan observasi. Model juga telah digunakan untuk peragaan distribusi spasial pencemaran nitrit peruntukan kualitas air perikanan dan potensi eutrofik pada aneka skenario sumber beban dan elevasi muka air di badan air. Pencemaran nitrit peruntukan perikanan di badan air Waduk Jatiluhur pada elevasi muka air lebih tinggi atau sama dengan reratanya hanya terjadi di area KJA bagian hilir dan penyebabnya beban limbah KJA, sedang pada elevasi muka air lebih rendah reratanya hanya terjadi di bagian hulu waduk dan penyebabnya beban aliran keluaran Waduk Cirata. Potensi eutrofik di badan air Waduk Jatiluhur pada elevasi muka air lebih tinggi atau sama dengan reratanya terjadi di permukaan air pada semua bagian waduk dan penyebabnya beban limbah KJA serta proses nitrifikasi amonia lepasan sedimen, sedang pada elevasi muka air lebih kecil dari reratanya terjadi di permukaan air pada bagian hulu waduk dan penyebabnya beban aliran keluaran Waduk Cirata.

Kata kunci : Model distribusi spasial nitrit dan nitrat, Waduk Jatiluhur, Karamba jaring apung, pencemaran

ABSTRACT

NITRITE AND NITRATE SPATIAL DISTRIBUTION MODEL IN WATER BODIES OF JATILUHUR RESERVOIR. *The nitrite and nitrate spatial distribution model have been developed to anticipate the threat of contamination of the designation fisheries and raw water source for drinking in water bodies Jatiluhur Reservoir. Model parameters calibrated and validated with observations of nitrite and nitrate concentrations Jatiluhur Reservoir water bodies at different water level. Calibration and validation of the model shows the calculation of the spatial distribution of the concentration of nitrite and nitrate tends to correspond to the observation. The model has also been used to show the spatial distribution of nitrite and nitrate contamination in the designation water quality fisheries and potential of eutrophic at various load scenarios and water elevation of reservoir water bodies. Nitrite contamination of Jatiluhur reservoir water bodies the designation fisheries on water elevation above or equal at average, only occurs in floating net aquaculture area of the reservoir downstream caused by the load of waste floating net aquaculture plot operation, whereas the Jatiluhur reservoir water elevation on water level < at average, the nitrite contamination occurs only in the upper reservoir caused by the input load of the output flow Cirata Reservoir. The eutrophic potential of Jatiluhur reservoir water bodies on water elevation higher or equal at average, occurs in most the surface of the water reservoir caused by the load of waste floating net aquaculture plot operation and release of ammonia from the sediment reservoir, whereas the Jatiluhur reservoir water elevation at water level lower then average, the eutrophic potential occurs only in the upper reservoir caused by the input load of the outflow of flow Cirata Reservoir.*

Keywords: Nitrite and nitrate spatial distribution model, Jatiluhur reservoir, floating net fish aquaculture, pollution

PENDAHULUAN

Badan air Waduk Jatiluhur yang di antara peruntukannya untuk budidaya ikan dengan karamba jaring apung (KJA) (Garno,2002) dan sebagai sumber air baku yang akan diolah menjadi air minum untuk mencukupi kebutuhan DKI Jakarta (GHP, 2010), saat ini kandungan nitrit dan nitratnya pada tempat-tempat tertentu di badan air waduk tersebut sering melebihi ambang batas baku mutu peruntukan kualitas airnya (Andri , 2009; Evaluasi data tahun 2006 s/d 2009 dari PT Jasa Tirta). Untuk menjaga kesehatan kualitas air peruntukan dari ancaman pencemaran nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur tersebut, maka sangat diperlukan piranti (“tools”) yang dapat digunakan untuk mendiagnosa sejauh mana kesehatan distribusi spasial nitrit dan nitrat badan air Waduk Jatiluhur bagi peruntukannya, dan menyusun strategi penyehatan (sanitasi) badan air tersebut bagi peruntukannya dari pencemar nitrit dan nitrat atau operasi peruntukan tersebut yang dapat terhindar dari pencemaran nitrit dan nitrat.

Telah banyak penelitian yang menggunakan model komputer numerik distribusi spasial parameter kualitas air yang berhasil untuk mendiagnosa kesehatan badan air danau/waduk yang diakibatkan oleh pencemar, dan berhasil untuk menyusun alternatif penyehatannya (sanitasi) badan air tersebut (Cerco *et al* 1993; Gin *et al* 2001; Jin *et al* 1998; Kuo *et al*, 2003; Ha *et al*, 2008). Model tersebut pada umumnya menggunakan ‘Default’ masukan beban dari arah sumbu x atau y sistem koordinat Cartesian, proses yang terjadi di badan air adalah nitrifikasi amonia dan dinitrifikasi nitrat, serta mekanisme pendistribusian timbulan nitrit dan nitrat adalah adveksi karena arus air dan difusi karena perbedaan konsentrasi pada kondisi debit masukan/keluaran dan elevasi muka air danau konstan.

Berdasarkan data pemantauan kualitas air setiap tiga bulan dari tahun 2006 sampai dengan tahun 2009 oleh PT. Jasa Tirta, badan air Waduk Jatiluhur di bagian hulu telah mendapatkan beban masukan dari arah sumbu x atau y aliran keluaran Waduk Cirata dan anak-anak sungai sebesar 98.581,40 kg-nitrit/tahun dan nitrat 8.158.633,21 kg-nitrat/tahun. Menurut Harsono (2012), lepasan sedimen, buangan limbah KJA dan masukan beban aliran keluaran Waduk Cirata ke dalam air Waduk Jatiluhur telah menyebabkan kandungan amonia badan air waduk tersebut melebihi ambang batas baku mutu yang berlaku. Sementara itu Pepitasastri (2010) juga telah menemukan bakteri *Nitrosomona* dan *Nitrobacter* pelaku nitrifikasi amonia dengan jumlah dan rasio kedua bakteri tersebut bervariasi dari satu tempat ke tempat lain di badan air Waduk Jatiluhur. Berdasarkan hal tersebut, berarti di badan air Waduk Jatiluhur juga sedang terjadi proses nitrifikasi amonia yang memproduksi nitrit dan nitrat. Namun menurut Harsono (2011), debit aliran masukan dan keluaran serta elevasi muka air operasi Waduk Jatiluhur berubah-ubah (tidak konstan) dan telah mengakibatkan pola arus yang berubah-ubah, sehingga dapat pula mengakibatkan pola distribusi spasial nitrit dan nitrat di waduk tersebut juga berubah-ubah. Demikian pula dengan masukan beban limbah operasi KJA ke dalam badan air Waduk Jatiluhur yang dari arah sumbu z (dari permukaan air waduk), maka model-model komputer numerik distribusi spasial parameter kualitas air yang ada tersebut menjadi tidak ‘compatible’ untuk diterapkan di badan air Waduk Jatiluhur.

Harsono (2012) telah berhasil mengembangkan model komputer numerikal 2-dimensi lapis ganda amonifikasi di badan air Waduk Jatiluhur. Model tersebut selain telah memasukkan beban masukan dari arah sumbu x dan y sistem koordinat UTM, juga telah memasukkan peubah operasi waduk dan limbah dari proses produksi KJA yang

berkembang di Waduk Jatiluhur dalam ranah perhitungannya. Apabila model tersebut dikembangkan lebih lanjut, maka dapat diperoleh model yang dapat digunakan untuk piranti peraga proses dan mekanisme pendistribusian secara spasial nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur dan peubahnya. Untuk itu penelitian ini bertujuan membangun model distribusi spasial nitrit dan nitrat di Waduk Jatiluhur. Model tersebut juga akan digunakan sebagai piranti untuk mendiagnosa kesehatan badan air Waduk Jatiluhur yang diakibatkan pencemaran nitrit dan nitrat serta untuk mencari penyebab pencemaran tersebut, sehingga dapat disusun saran sanitasi untuk peruntukan badan air Waduk Jatiluhur.

BAHAN DAN METODE

Model

Distribusi spasial nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur diperagakan dengan persamaan 2-dimensi lapis ganda dari neraca massa akibat adveksi dan dispersi dalam volume terkontrol (Harsono, 2012). Model tersebut adalah sebagai berikut:

Dengan,
 $C_{(i)1}$ dan $C_{(i)k}$ = konsentrasi material i lapisan ke 1 dan ke k di air waduk (kg/m^3)
 i = 1 untuk amonia,
 i = 2 untuk nitrit dan
 i = 3 untuk nitrat;
 h_1 dan h_k = tebal lapisan ke 1 dan lapisan ke k (m) ;
 t = waktu (det) ;
 x dan y = panjang sumbu x dan y ;
 E_{x1}, E_{y1}, E_x dan E_z = parameter hidrodinamik
 E_{x1}, E_{y1} = koefisien dispersi arah sumbu x dan y di lapisan ke 1 (m^2/det),
 E_x, E_y dan E_z = koefisien dispersi arah sumbu x, y dan z di lapisan ke k (m^2/det);
 ζ = tinggi kenaikan permukaan air waduk (m);
 u_k, v_k dan w_k = kecepatan arus arah sumbu x, y dan dari bawah di lapisan air ke k (m/det) ;
 $C_{(i)}^*$ = konsentrasi material i dari lapisan bawah (kg/m^3) dimana $w_{k+1/2} > 0$ maka $C_{(i)}^* = C_{(i)k+1}$ dan jika $w_{k+1/2} < 0$ maka $C_{(i)}^* = C_{(i)k}$; serta
 $Pr_{(i)1}$ dan $Pr_{(i)k}$ = produksi bersih material i lapisan ke 1 dan lapisan ke k

Model distribusi spasial di lapisan permukaan,

$$\frac{\partial(h_1 + \zeta)C_{(i)1}}{\partial t} = - \left[\frac{\partial}{\partial x} \{ (h_1 + \zeta) C_{(i)1} \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (h_1 + \zeta) C_{(i)1} \} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ E_{x1} (h_1 + \zeta) \frac{\partial C_{(i)1}}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ E_{y1} (h_1 + \zeta) \frac{\partial C_{(i)1}}{\partial y} \right\} + E_z (C_{(i)1} - C_{(i)2}) + w_{3/2} C_{(i)}^* + Pr_{(i)1} (h_1 + \zeta) \dots \dots \dots (1)$$

Model distribusi spasial di lapisan antara,

$$\frac{\partial(h_k C_{(i)k})}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (h_k u_k C_{(i)k}) + \frac{\partial}{\partial y} (h_k v_k C_{(i)k}) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h_k \frac{\partial C_{(i)k}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h_k \frac{\partial C_{(i)k}}{\partial y} \right) + E_z (C_{(i)k-1} - C_{(i)k}) - E_z (C_{(i)k} - C_{(i)k+1}) - w_{k-1/2} C_{(i)}^* + w_{k+1/2} C_{(i)}^* + Pr_{(i)k} h_k \dots \dots \dots (2)$$

Model distribusi spasial di lapisan dasar waduk,

$$\frac{\partial(h_k C_{(i)k})}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (h_k u_k C_{(i)k}) + \frac{\partial}{\partial y} (h_k v_k C_{(i)k}) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h_k \frac{\partial C_{(i)k}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h_k \frac{\partial C_{(i)k}}{\partial y} \right) + E_z (C_{(i)k-1} - C_{(i)k}) - w_{k-1/2} C_{(i)}^* + Pr_{(i)k} h_k \dots \dots \dots (3)$$

Produksi bersih nitrit dan nitrat lapisan ke 1 dan lapisan ke k, dalam penelitian ini diformulasikan berdasarkan pada neraca massa nitrit dan nitrat dari nitrifikasi amonia, influen nitrit-nitrat dari luar badan air dan dinitrifikasi (Stumm & Morgan 1981; Wetzel 2001; Hakanson, 1995; Ha 2008). Formula produksi bersih nitrit dan nitrat tersebut adalah sebagai berikut:

$$Pr_{(2)} = f \left(\frac{W_{(2)}}{\Delta x \Delta y h_k} + f_n k_{on1} C_{(1)} - f_n k_{on2} C_{(2)} \right) \dots 4$$

$$Pr_{(3)} = f \left(\frac{W_{(3)}}{\Delta x \Delta y h_k} + f_n k_{on2} C_{(2)} - f_n k_{on3} C_{(3)} \right) \dots 5$$

Dengan

$Pr_{(2)}$ = produksi bersih nitrit dan nitrat dan $Pr_{(3)}$ ($\text{kg/m}^3/\text{det}$);

f = faktor konversi waktu dari hari ke detik;

$W_{(2)}$ = beban influen nitrit dan nitrat dan $W_{(3)}$ waduk (kg/hari);

$\Delta x, \Delta y$ = panjang sumbu x, y dan tinggi dan h_k segmen air (m);

f_n, f_{nn} = faktor pengaruh kehadiran oksigen terlarut (DO) pada proses nitrifikasi dan dinitrifikasi,

DO = 0 mg/L maka

f_{nn} = 1 ; DO > 0 mg/L maka

f_{nn} = 0 ; DO < 2 mg/L maka

f_n = 0 dan DO > 2 mg/L maka

f_n = 1 (Chapra, 1987);

$k_{on1}, k_{on2}, k_{on3}$ = parameter proses, dan k_{on3}

k_{on1} = laju oksidasi amonia menjadi nitrit (1/hari),

k_{on2} = laju oksidasi nitrit menjadi nitrat (1/hari), dan

k_{on3} = laju dinitrifikasi (1/hari).

Perhitungan model

Penyelesaian model menggunakan metode analisis numerik beda hingga (*finite difference*) skema *eksplisit back-ward*

dengan kondisi pembatas terbuka (*open boundary condition*) (Kolditz, 2002; Tsanis *at al*, 2007). Perhitungan serta aransemen data masukan dan keluaran skema numerik model tersebut menggunakan PC dengan program komputer berbahasa Fortran. Parameter ζ, u_k, v_k dan w_k diperoleh dari hasil perhitungan arus dengan persamaan kontinuitas dan momentum 2-dimensi lapis ganda (Harsono, 2011), parameter $C_{(1)}$ serta parameter hidrodinamik dan parameter proses k_{on1} diperoleh dari hasil perhitungan model numerikal 2-dimensi lapis ganda amonifikasi di Waduk Jatiluhur (Harsono, 2012), dan parameter proses k_{on2} dan k_{on3} diperoleh melalui kalibrasi dan validasi hasil perhitungan distribusi spasial nitrit dan nitrat dengan hasil observasi.

Kondisi pembatas terbuka (KP) Waduk Jatiluhur dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan pada elevasi muka air Waduk Jatiluhur saat survey lapang dilakukan, yaitu KP1 dengan elevasi muka air waduk 102 m pada saat survey lapang bulan Januari 2009, KP2 dengan elevasi 98 m pada saat survey lapang bulan Mei 2009, dan KP3 dengan elevasi muka air waduk 95 m pada saat survey lapang bulan Agustus 2009. Kondisi pembatas tersebut terdiri dari morfometri waduk, debit keluaran (debit efluen Q_{ef}) serta $W_{(2)}$ dan $W_{(3)}$.

Data KP tersebut diperoleh dengan cara sebagai berikut:

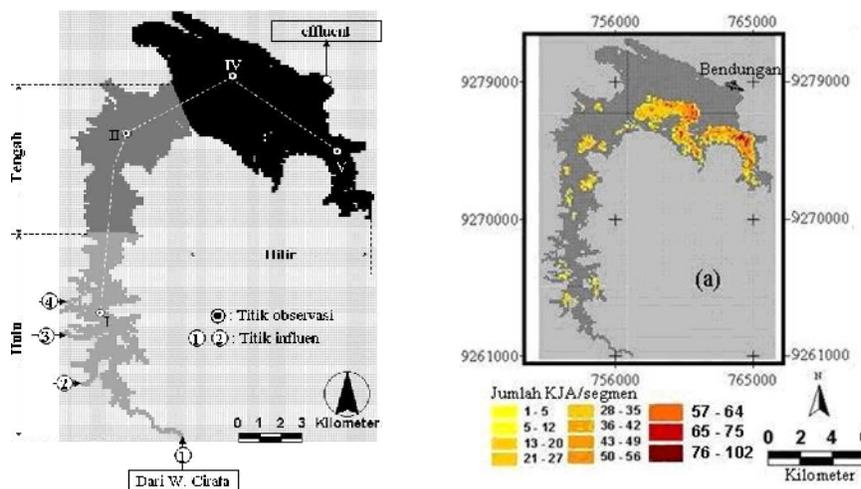
Morfometri Waduk Jatiluhur pada KP1, KP2 dan KP3, menggunakan hasil segmentasi peta batimetri. yang telah dilakukan oleh Harsono (2012), dan morfometri tiap KP tersebut di bagi menjadi 15 lapisan (Tabel 1).

Debit aliran keluar (Q_{ef}) dari Waduk Jatiluhur pada KP1, KP2 dan KP3, lokasi titik keluarannya dapat dilihat dalam Gambar 1. Debit aliran keluaran tersebut merupakan data sekunder, dan diperoleh dari Perum Jasa Tirta II Jatiluhur.

Tabel 1. Tebal lapisan tiap kondisi pembatas

Kondisi Pembatas	Kedalaman Maksimum (m)	Tebal lapisan (m) ke :														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
KP1	64.1	1	1	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	14.1
KP2	67.4	1	1	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	17.4
KP3	57.1	1	1	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	7.1

KP1,2 dan 3 : kondisi pembatas 1, 2 dan 3



Gambar 1. Lokasi titik influen, penyebaran jumlah KJA dan titik observasi di peta segmentasi Waduk Jatiluhur

Beban masukan ($W_{(2)}$ dan $W_{(3)}$) pada KP1, KP2 dan KP3 dalam penelitian ini berasal dari limbah proses produksi KJA, aliran masukan dari debit keluaran aliran Waduk Cirata dan anak sungai. Lokasi masukan beban pada peta segmentasi Waduk Jatiluhur dapat dilihat dalam Gambar 1 (Harsono 2012). Estimasi besarnya beban masukan dari limbah proses produksi KJA menggunakan metode Scmittou (Garno, 2002), dan beban aliran (influen) menggunakan formula Rasional (James 1993).

Metode Rational dalam estimasi beban masukan aliran memerlukan data debit serta konsentrasi nitrit dan nitrat aliran air yang masuk ke dalam badan air Waduk Jatiluhur. Data tersebut diperoleh dengan cara sebagai berikut:

Debit aliran beserta konsentrasi nitrit dan nitrat keluaran Waduk Cirata (Gambar 1, titik no.1), merupakan data sekunder dan

diperoleh dari Perum Jasa Tirta II Jatiluhur, sedangkan debit aliran air anak sungai beserta konsentrasi nitrit dan nitrat yang masuk ke dalam Waduk Jatiluhur (Gambar 1, titik no. 2, 3 dan 4), merupakan data primer yang diperoleh dengan cara sebagai berikut. Debit aliran diperoleh dengan cara estimasi menggunakan metode Velocity-area (Thomann, 1987), dimana kecepatan aliran airnya diukur di lapangan menggunakan alat Current-Meter tipe *Digital Current-meter Model UC-304*, dan luas penampang melintangnya diukur dari kedalaman dan lebar saluran aliran masukan dengan menggunakan pita meteran, sedangkan konsentrasi nitrit dan nitrat aliran air anak sungai yang masuk Waduk Jatiluhur, diperoleh dengan mengambil contoh air di lokasi dan waktu yang sama dengan pengukuran debit aliran. Pengambilan contoh air dilakukan dengan alat *Kemmerer water sampler* dari *Wildco*

volume 3 liter, kemudian disaring menggunakan filter 0,45µm Millipore dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis dengan metode baku untuk mendapatkan konsentrasi nitrit dan nitrat (APHA 1995).

Kalibrasi dan validasi untuk mendapatkan parameter proses menggunakan hasil perhitungan pada KP1, KP2 dan KP3. Kalibrasi menggunakan hasil perhitungan pada KP2, sedangkan validasi menggunakan hasil perhitungan pada KP1 dan KP3. Kalibrasi dan validasi tersebut dianggap selesai, jika nilai perbedaan hasil hitungan dengan observasi (ε) kurang dari 10%, dimana ε dihitung dengan formula Rasional (Walpole & Myers 1978) sebagai berikut :

$$\varepsilon = \left[\sum_1^n \frac{\sqrt{(obsv-cal)^2}}{obsv} \times 100 \right] \times \frac{1}{n} \dots\dots (6)$$

Dengan ε = nilai perbedaan; n = jumlah observasi; obsv = hasil observasi; cal = hasil perhitungan

Data observasi untuk kalibrasi dan validasi, diperoleh dengan mengambil contoh air di kedalaman air permukaan (0 – 1m), 4 m dan 8 m di Waduk Jatiluhur pada titik-titik seperti yang terlihat dalam Gambar 1. Waktu pengambilan contoh air serta metode pengambilan dan analisis laboratorium atas contoh air untuk

mendapatkan konsentrasi nitrit dan nitrat observasi tersebut adalah sebagai berikut. Waktu pengambilan contoh air observasi, bersamaan dengan waktu pengambilan contoh air untuk estimasi beban influen. Metode pengambilan serta analisis laboratorium atas contoh air untuk mendapatkan konsentrasi nitrit dan nitrat observasi juga sama seperti yang dilakukan pada contoh air influen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

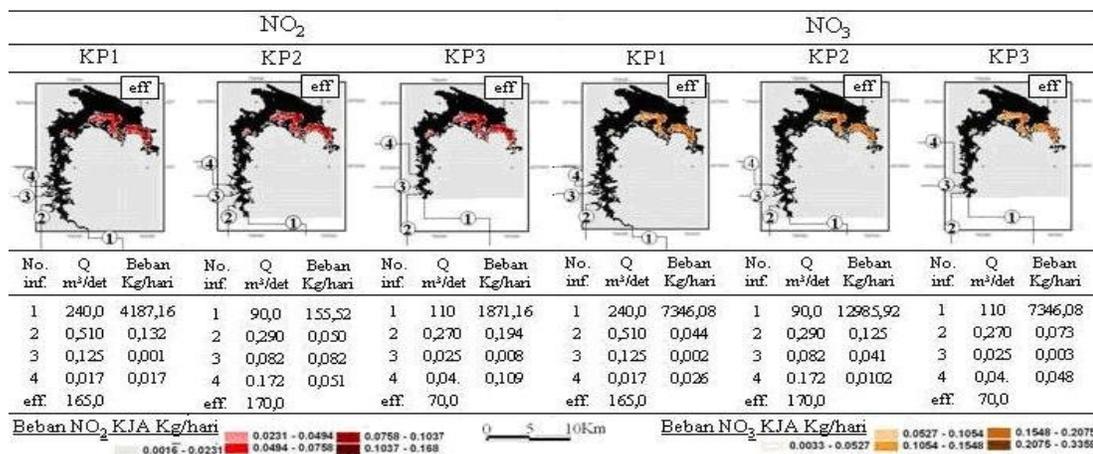
Masukan beban nitrit dan nitrat

Hasil estimasi beban nitrit (W₍₂₎) dan nitrat (W₍₃₎) dari limbah proses produksi KJA di Waduk Jatiluhur, aliran keluaran Waduk Cirata dan anak sungai yang masuk ke dalam Waduk Jatiluhur pada KP1, KP2 dan KP3 disajikan dalam Gambar 2.

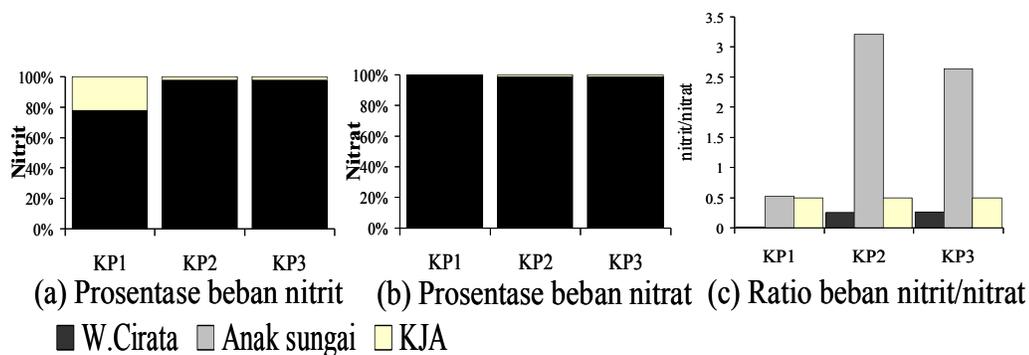
Melalui Gambar 2 dapat diperoleh prosentase dan ratio beban nitrit dan nitrat yang masuk ke dalam Waduk Jatiluhur seperti yang terlihat dalam Gambar 3.

Presesntase tertinggi beban nitrit dan nitrat yang masuk ke dalam Waduk Jatiluhur berasal dari keluaran air Waduk Cirata, kemudian disusul oleh beban limbah KJA, dan paling kecil presentasinya berasal dari aliran anak sungai (Gambar 3a; 3b).

Ratio nitrit/nitrat beban yang berasal dari keluaran air Waduk Cirata paling kecil, kemudian disusul oleh limbah KJA dan paling besar rasio nitrit/nitrat-nya berasal dari aliran anak sungai (Gambar 3c).



Gambar 2. Beban nitrit dan nitrat KP1, KP2 dan KP3 pada peta segmentasi Waduk Jatiluhur



Gambar 3. Presentase dan ratio dan beban nitrit dan nitrat yang masuk ke dalam Waduk

Rasio nitrit/nitrat dapat digunakan sebagai indikator proses nitrifikasi, makin kecil rasio tersebut menunjukkan kinerja proses nitrifikasi berjalan dengan baik, sebaliknya makin besar rasio tersebut menunjukkan kinerja proses nitrifikasi semakin tidak berjalan (Chapra, 1987). Indikator tersebut apabila diterapkan pada rasio nitrit/nitrat beban yang masuk ke dalam Waduk Jatiluhur, maka beban masukan nitrit dan nitrat aliran dari Waduk Cirata kemungkinan berasal dari produk proses nitrifikasi amonia. Sementara itu sebagian besar air Waduk Jatiluhur berasal dari Waduk Cirata. Maka dapat diperkirakan aliran keluaran Waduk Cirata juga membawa bakteri nitrifikasi ke dalam badan air Waduk Jatiluhur, sehingga anggapan proses nitrifikasi amonia menjadi nitrit dan nitrat yang sedang terjadi di air Waduk Jatiluhur dalam model yang dikembangkan penelitian ini menjadi lebih kuat.

Model distribusi spasial nitrit dan nitrat

Perhitungan distribusi spasial akumulasi nitrit dan nitrat telah berhasil dilakukan dengan waktu hitung (Δt) 3,6 detik, didapatkan hasil kalibrasi dan validasi (Gambar 4), dan model distribusi spasial nitrit dan nitrat (Gambar 5).

Perbandingan antara hasil perhitungan dan observasi pada titik yang telah ditentukan, terlihat mempunyai kecenderungan yang mirip dengan nilai perbedaan (ϵ) rata-rata di bawah 10% (Gambar 4). Kalibrasi dan validasi juga telah

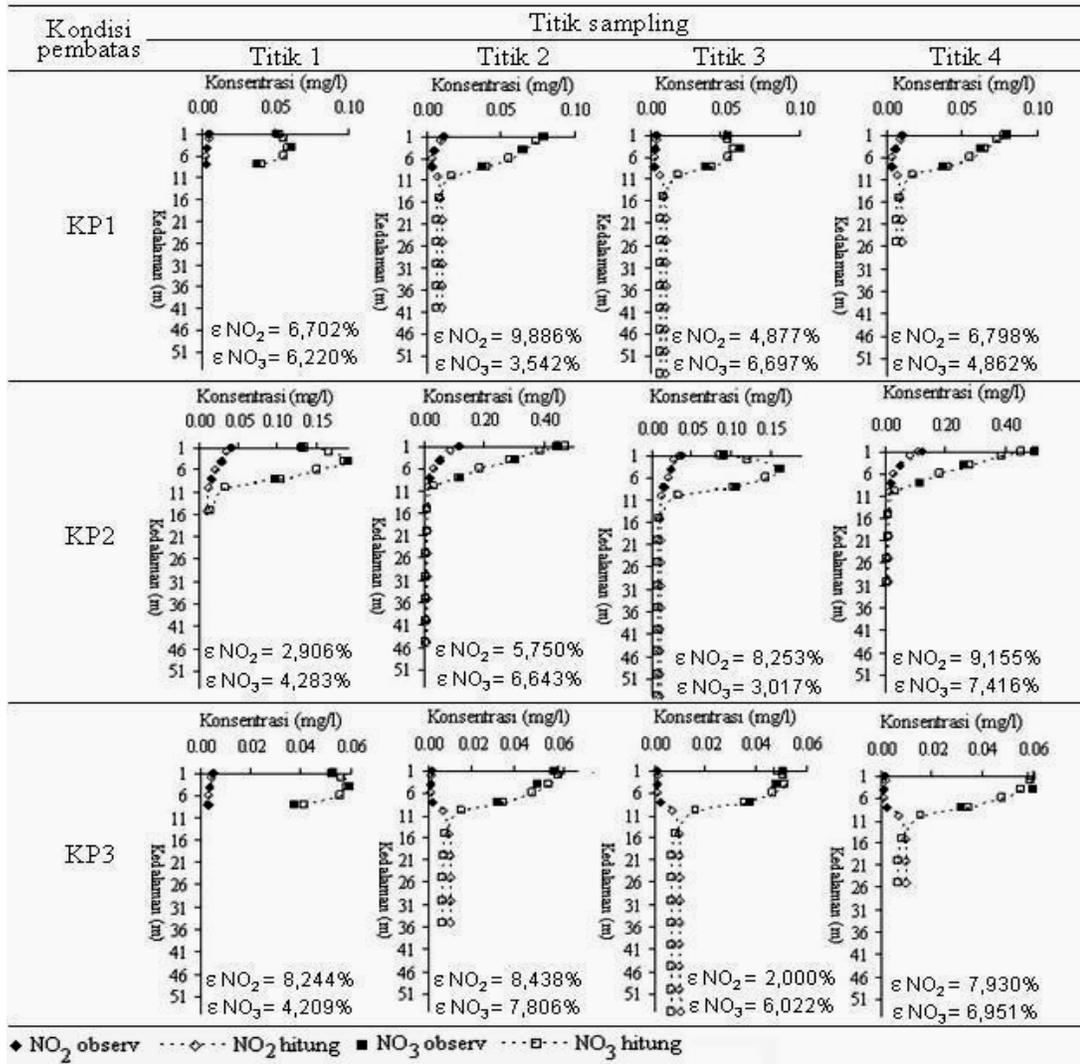
memperoleh parameter proses laju nitrifikasi nitrit menjadi nitrat (k_{on2}) 0,0112/hari serta laju dinitrifikasi (k_{on3}) 0,001/hari.

Pola distribusi spasial nitrit dan nitrat pada KP1, KP2 dan KP3 cenderung terakumulasi di bagian hulu, tengah dan hilir waduk (Gambar 5). Akumulasi Nitrit dan nitrat pada KP1 dan KP2 kedalaman 1 m, 4 m dan 8 m di badan air bagian hulu mempunyai konsentrasi terendah, dan di badan air bagian hilir mempunyai konsentrasi tertinggi, sedangkan akumulasi nitrit dan nitrat pada KP3 kedalaman 1 m, 4 m dan 8 m di badan air bagian hulu mempunyai konsentrasi tertinggi dan ke bagian hilir waduk.

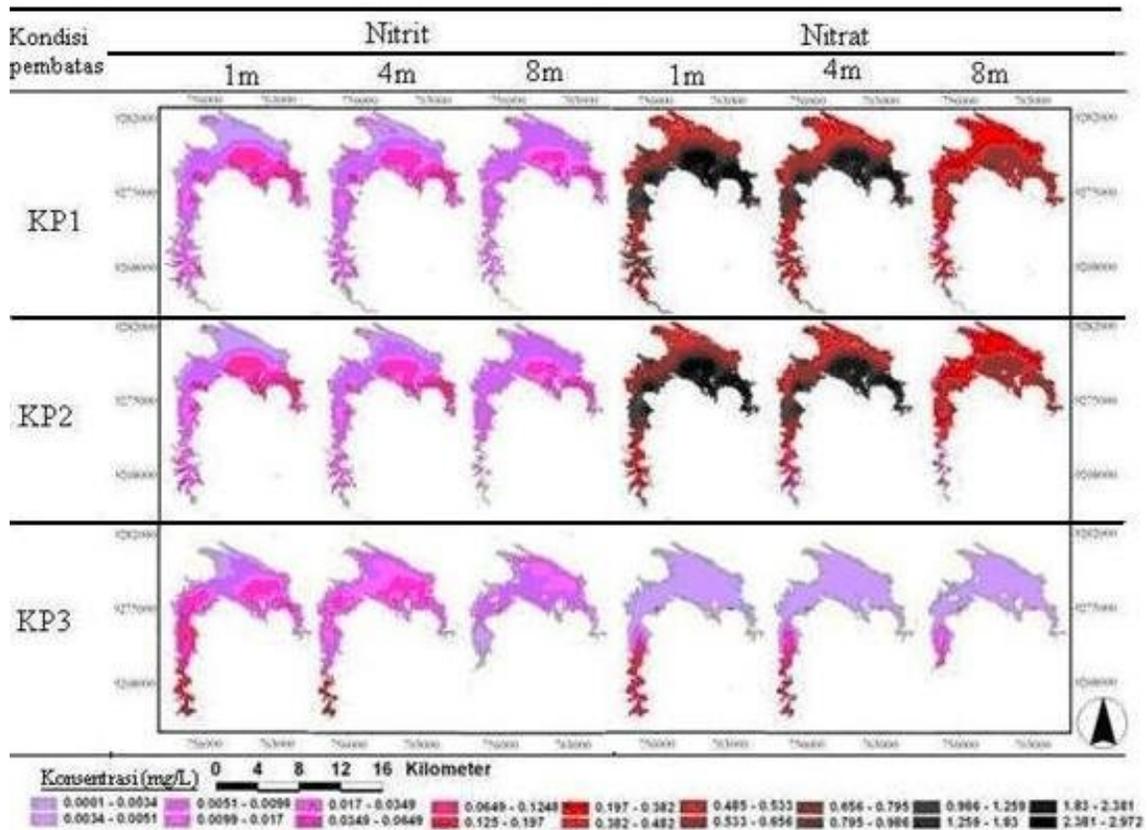
Seperti telah diuraikan sebelumnya, proses yang terjadi dalam model adalah nitrifikasi dan dinitrifikasi, dimana laju nitrifikasi amonia menjadi nitrit (k_{on1}) telah diperoleh dari hasil kalibrasi dan validasi model amonifikasi dan nilainya 0.004/hari (Harsono, 2012). Menurut Chapra (1997) proses nitrifikasi adalah aerobik murni dengan DO air disyaratkan lebih dari 2 mg/l, laju nitrifikasi tahap ke dua (k_{on2}) lebih cepat dibandingkan dengan tahap ke satu (k_{on1}), dan tipekal rasio k_{on2}/k_{on1} antara 2 sampai dengan 3. Menurut Benefield (1980) proses dinitrifikasi dapat terjadi pada DO badan air 0 mg/l, dan menurut Krenkel (1980) tipekal nilai laju dinitrifikasi (k_{on3}) antara 0,001 sampai dengan 0,048/hari. Penelitian ini telah memperoleh ratio k_{on1}/k_{on2} sebesar 2,24, apabila dibandingkan

dengan nilai tipikal maka masih berada di antara rentangnya. Begitu juga dengan hasil kalibrasi dan validasi laju dinitrifikasi k_{on3} , apabila dibandingkan dengan nilai tipikal juga masih berada di antara rentangnya. Dengan demikian hasil perhitungan distribusi spasial nitrit dan nitrat disamping

telah sesuai dengan observasi, parameter modelnya juga masih berada dalam rentang tipikal. Maka hasil perhitungan distribusi spasial nitrit dan nitrat dalam penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan dianggap dapat sebagai alat peraga.



Gambar 4. Hasil kalibrasi dan validasi



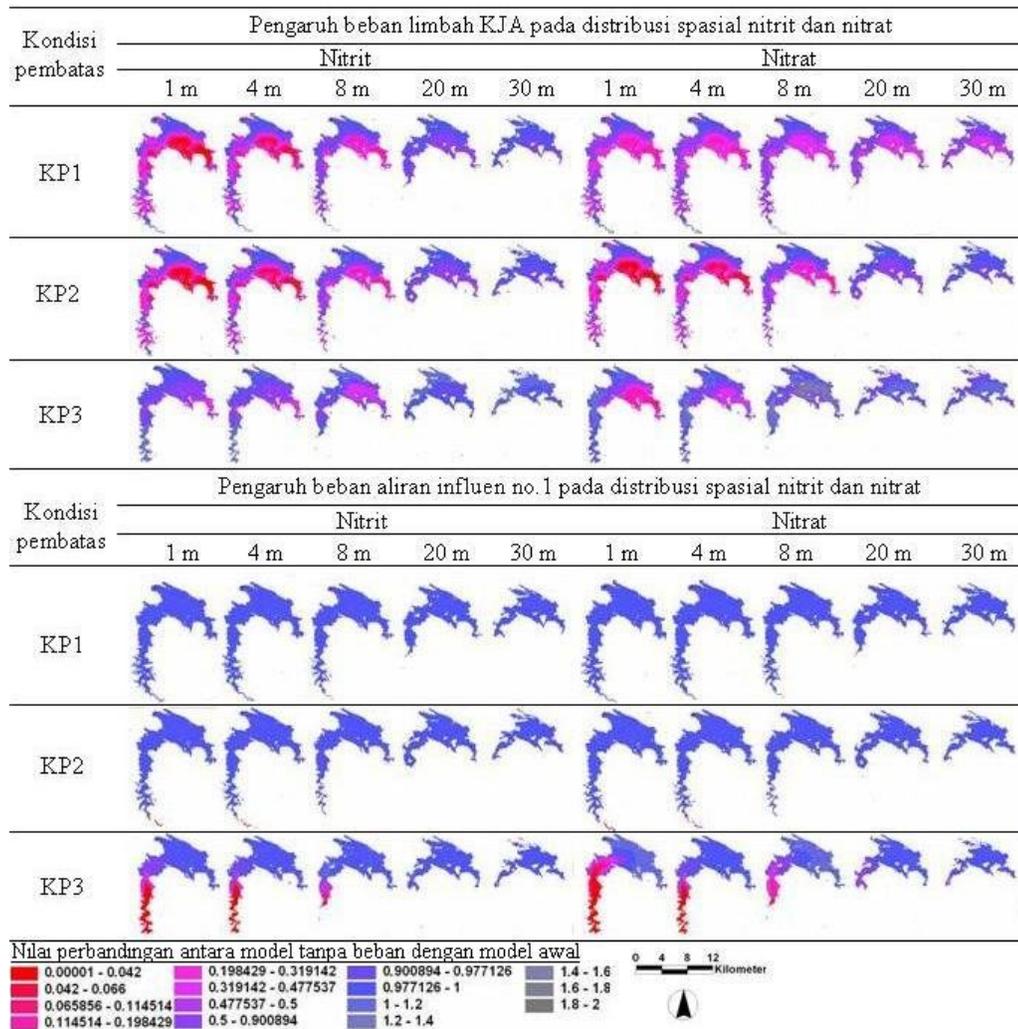
Gambar 5. Model distribusi spasial nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur

Faktor yang mempengaruhi pola distribusi spasial nitrit dan nitrat

Telah dikemukakan sebelumnya bahwa sebagian besar beban masukan ke dalam Waduk Jatiluhur berasal dari aliran keluaran Waduk Cirata dan limbah KJA, sedang sebagian kecil lainnya berasal dari aliran anak sungai. Untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap pola distribusi nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur, telah di ‘running’ distribusi spasial nitrit dan nitrat setiap KP tanpa beban-beban masukan tersebut. Hasil ‘running’ distribusi spasial nitrit dan nitrat tanpa beban kemudian dibandingkan dengan model awalnya, sehingga mendapatkan nilai perbandingan dimana semakin kecil nilai perbandingan dan areanya semakin luas berarti menunjukkan semakin besar pengaruh beban tersebut terhadap pola distribusi spasial nitrit dan nitrat di badan air.

Berdasarkan perbandingan model distribusi spasial nitrit dan nitrat antara tanpa beban dengan modelnya, ternyata pola distribusi spasial nitrit dan nitrat dipengaruhi secara berarti oleh beban yang berasal dari limbah KJA dan aliran keluaran Waduk Cirata (Gambar 6).

Pengaruh beban limbah KJA pada KP1 dan KP2 meliputi area dari bagian hilir hingga bagian hulu Waduk Jatiluhur hingga kedalaman air 30 m, sedangkan pada KP3 hanya meliputi area di bagian tengah hingga hilir Waduk Jatiluhur hingga kedalaman air 20 m. Nilai perbandingan antara model tanpa beban dengan model awalnya pada KP1 dan KP2 di area-area tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan KP3, sedangkan pengaruh beban dari aliran keluaran Waduk Cirata hanya meliputi area di bagian hulu hingga tengah Waduk Jatiluhur pada KP3 hingga kedalaman air 20 m.



Gambar 6. Pengaruh beban pada pola distribusi spasial nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur

Berdasarkan pengolahan data sekunder pemantauan operasi waduk Jatiluhur tahun 2006 s/d 2009 dari PT. Jasa Tirta Jatiluhur, elevasi muka air Waduk Jatiluhur berfluktuasi antara 90,9 m (msl) sampai dengan 105,1 m (msl) atau reratanya ± 98,0 m (msl). Menurut Harsono (2011), pola arus air Waduk Jatiluhur pada KP1 dan KP2 yang elevasi muka airnya lebih tinggi atau sama dengan rerata elevasi muka air waduk, cenderung terjadi perputaran dari hilir ke hulu, sedangkan pada KP3 yang elevasinya lebih rendah dari rerata elevasi muka air waduk, cenderung menuju ke arah titik keluaran (efluen). Kecenderungan pola

arus yang demikian itu telah mengakibatkan nitrit dan nitrat yang berasal dari limbah KJA pada KP1 dan KP2 cenderung teradveksi hingga ke arah hulu, sedang pada KP3 nitrit dan nitrat dari limbah KJA yang sebagian besar lokasinya di dekat titik efluen dengan cepat terbawa arus keluar dari waduk.

Kondisi adveksi yang demikian itu juga telah mengakibatkan aliran beban dari keluaran Waduk Cirata yang masuk ke dalam badan air Waduk Jatiluhur dari titik yang berada di bagian hulu pada KP1 dan KP2 menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi yang terbawa adveksi,

sehingga aliran beban dari keluaran Waduk Cirata yang masuk ke dalam badan air Waduk Jatiluhur tersebut cenderung menjadi pengencer konsentrasi nitrit dan nitrat badan air di bagian hulu Waduk Jatiluhur. Sedang pada KP3 yang tidak ada adveksi dari hilir ke hulu telah mengakibatkan konsentrasi nitrit dan nitrat beban dari keluaran Waduk Cirata menjadi lebih tinggi dari pada konsentrasi nitrit dan nitrat yang ada di badan air bagian hulu Waduk Jatiluhur, sehingga masukan nitrit dan nitrat yang berasal dari Waduk Cirata terlihat jelas perjalanannya dari hulu ke hilir Waduk Jatiluhur.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan di atas, ternyata pola distribusi spasial nitrit dan nitrat berubah-ubah. Pada saat elevasi muka air Waduk Jatiluhur sama dengan atau lebih tinggi dari elevasi muka air reratanya, maka pola distribusi spasial nitrit dan nitrat tersebut dipengaruhi oleh beban yang berasal dari limbah KJA. Pada saat muka air Waduk Jatiluhur lebih rendah dari reratanya, maka pola distribusi spasial nitrit dan nitrat waduk tersebut dipengaruhi oleh beban yang berasal dari aliran keluaran Waduk Cirata. Demikian juga dengan kesempatan produksi nitrit dan nitrat dari nitrifikasi, pada saat elevasi muka air Waduk Jatiluhur sama dengan atau lebih tinggi dari elevasi muka air reratanya, maka konsentrasi nitrat di seluruh badan air waduk kedalaman 1 m hingga 8 m lebih tinggi bila dibandingkan dengan nitrit. Pada saat muka air Waduk Jatiluhur lebih rendah dari reratanya maka konsentrasi nitrit di bagian hilir waduk dari kedalaman 1m hingga 8m lebih tinggi dari nitrat dan di bagian tengah hingga hilir waduk dari kedalaman 1m hingga 8m konsentrasi nitratnya cenderung lebih tinggi dari nitritnya.

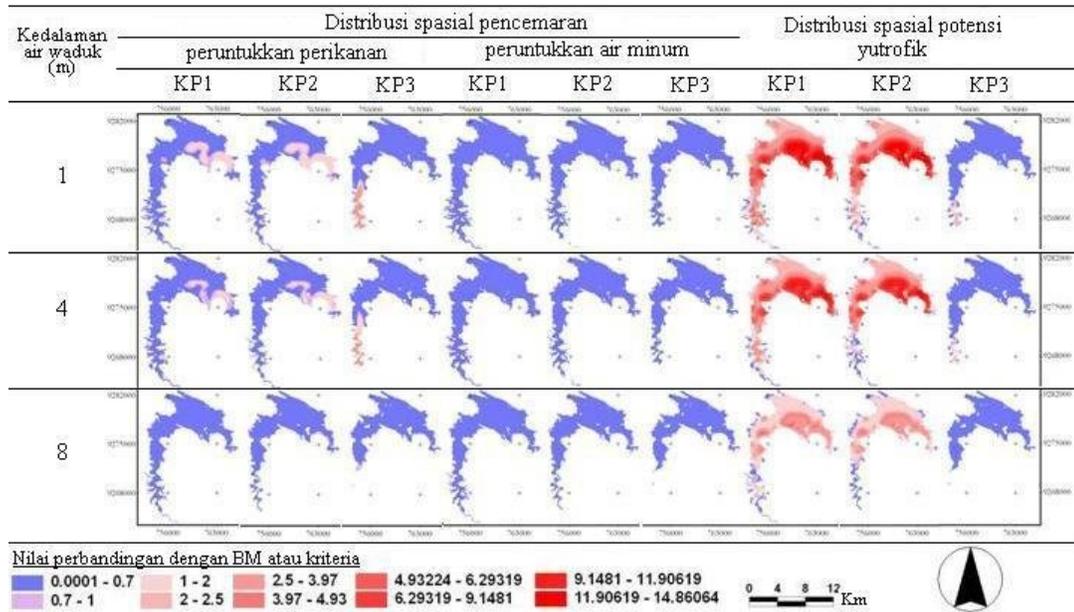
Model distribusi spasial pencemaran nitrit dan nitrat

Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa badan air Waduk Jatiluhur juga digunakan untuk budidaya

ikan dengan KJA dan telah direncanakan sebagai sumber baku air minum. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran, baku mutu (B.M) nitrit peruntukan perikanan $\leq 0,06$ mg/L, dan menurut Keputusan Menteri Kesehatan Pemerintah Republik Indonesia Menkes.416/Menkes/Per/IX/1990 nitrit untuk air minum ≤ 1 mg-N/L yang ekuivalen dengan $\leq 0,3$ mg-nitrit/L. Sementara itu menurut Chapman (1992) kandungan nitrat di perairan tergenang $> 0,2$ mg/L dapat menyebabkan kondisi eutrofik. Baku mutu dan kriteria tersebut apabila digunakan untuk evaluasi model distribusi spasial nitrit dan nitrat badan air Waduk Jatiluhur, maka dapat mengetahui lokasi-lokasi yang telah terjadi pencemaran nitrit dan yang berpotensi eutrofik (Gambar 7).

Pencemaran nitrit peruntukan perikanan terjadi pada KP1 dan KP2 kedalaman air 1m hingga 4m di area KJA bagian hilir waduk, dan pada KP3 kedalaman 1 m hingga 4 m di bagian hulu waduk. Pencemaran nitrit peruntukan air minum tidak terjadi baik pada KP1, KP2 dan KP3, sedang potensi eutrofik terjadi pada KP1 dan KP2 kedalaman air 1 hingga 8 m di sebagian besar bagian tengah hingga hilir waduk, dan pada KP3 hanya terjadi di bagian hulu waduk kedalaman 1 m hingga 4 m.

Sebagaimana diketahui bahwa distribusi spasial nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur sangat dipengaruhi oleh beban masukan dari limbah KJA dan aliran influen no.1. Maka untuk mencari alternatif pengendalian pencemaran dan pengurangan potensi eutrofik di badan air Waduk Jatiluhur telah di peragakan pencemaran dan potensi eutrofik dengan skenario konsentrasi nitrit dan nitrat aliran influen no.1 0 mg/l (KJA =1, inf.no1. = 0), skenario tidak ada KJA (KJA = 0, inf.no.1 = 1), dan dengan skenario tidak ada KJA dan konsentrasi nitrit dan nitrat aliran influen no.1 0mg/l (KJA=0,inf.no.1=0) (Gambar 8).



Gambar 7. Distribusi spasial pencemaran dan potensi eutrofik di badan air Waduk Jatiluhur

Distribusi spasial pencemaran Waduk Jatiluhur setelah pengurangan sumber beban masukan dapat dilihat pada gambar 8(a). Hasil simulasi dengan skenario $KJA = 1, inf.no. = 0$ masih menyebabkan pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan pada KP1 dan KP2 di area KJA di bagian hilir waduk kedalaman air 1m hingga 4 m, dan telah menghilangkan pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan pada KP3 kedalaman air 1m hingga 4m. Simulasi dengan skenario $KJA = 0, inf.no.1 = 1$ telah menghilangkan pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan pada KP1 dan KP2 kedalaman air 1 m hingga 4 m, dan masih menyebabkan pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan pada KP3 di bagian hulu waduk kedalaman air 1m hingga 4m. Simulasi dengan skenario $KJA = 0, inf.no.1 = 0$ telah menghilangkan pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan pada KP1, KP2 dan KP3.

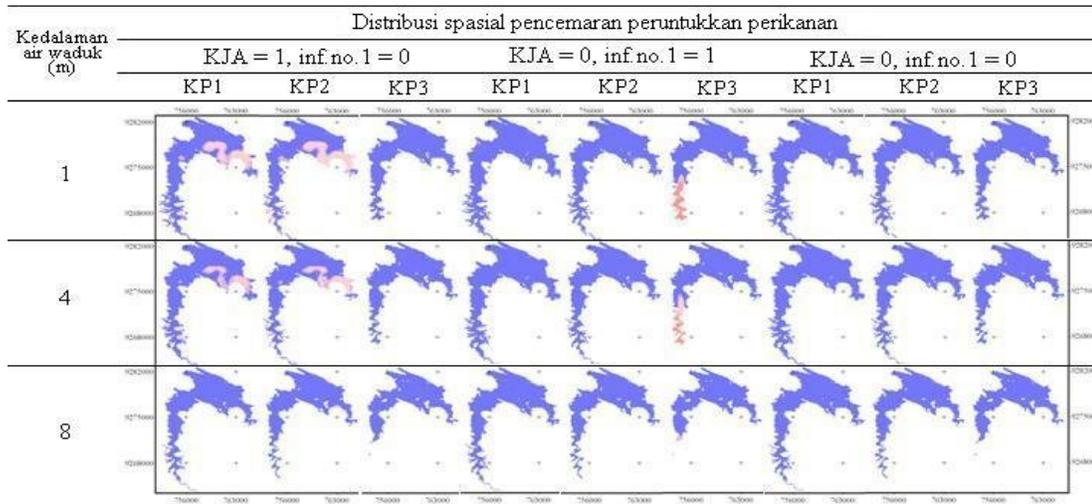
Distribusi spasial potensi eutrofik di badan air Waduk Jatiluhur setelah pengurangan sumber beban masukan dapat dilihat pada gambar 8(b). Hasil simulasi dengan skenario $KJA = 1, inf.no. = 0$ masih

menyebabkan potensi eutrofik pada KP1 dan KP2 di seluruh bagian waduk kedalaman air 1 m hingga 8 m, dan telah menghilangkan potensi eutrofik pada KP3 di bagian hulu waduk. Simulasi dengan skenario $KJA = 0, inf.no.1 = 1$ masih menyebabkan potensi eutrofik pada KP1 dan KP2 di seluruh bagian waduk kedalaman air 1 m hingga 8 m, dan pada KP3 di bagian hulu kedalaman 1 m hingga 4 m. Simulasi dengan skenario $KJA = 0, inf.no.1 = 0$ masih menyebabkan potensi eutrofik pada KP1 dan KP2 di seluruh bagian waduk kedalaman 1 m hingga 8 m, dan telah menghilangkan potensi eutrofik KP3 di bagian hulu waduk.

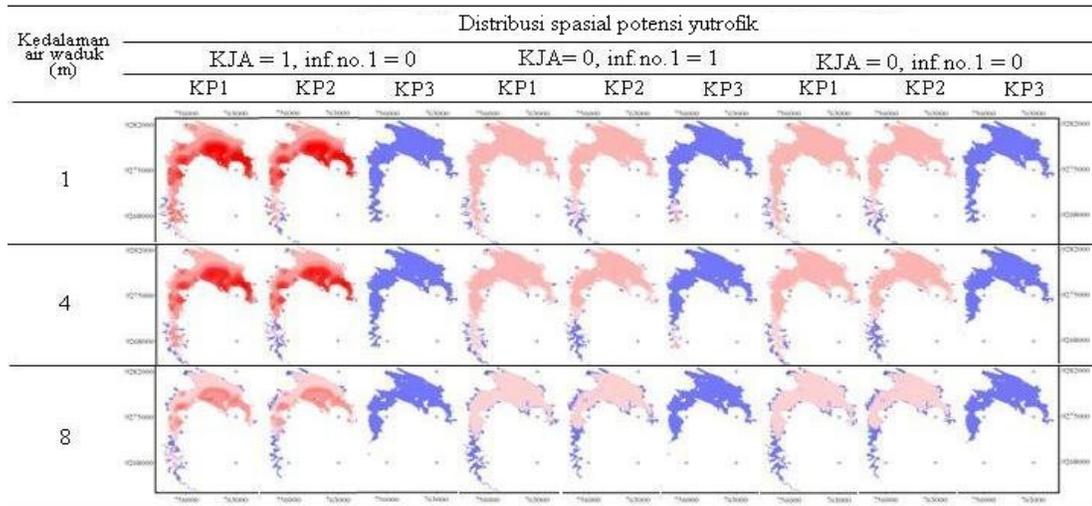
Berdasarkan hasil simulasi, ternyata kondisi pencemaran nitrit peruntukkan perikanan di badan air Waduk Jatiluhur dipengaruhi oleh sumber beban dan elevasi muka air waduk. Pada elevasi muka air waduk sama dengan atau lebih tinggi dari reratanya, pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan hanya terjadi di area KJA bagian hilir waduk dan hanya dipengaruhi oleh beban limbah KJA. Pada elevasi muka air waduk lebih rendah dari reratanya, pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air perikanan yang terjadi di bagian

hulu hanya dipengaruhi oleh beban dari aliran influen no.1. Sementara itu, ke dua sumber beban tersebut apabila dihilangkan, maka pencemaran nitrit pada peruntukan perikanan di semua elevasi muka air waduk (KP1, KP2 dan KP3) menjadi hilang. Maka dalam penurunan nitrit air Waduk Jatiluhur hingga sesuai dengan baku mutu peruntukan

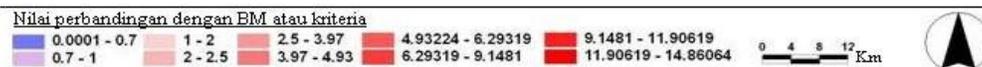
perikanan pada semua elevasi muka airnya, di area KJA bagian hilir waduk dapat dilakukan dengan pengurangan jumlah KJA, dan untuk semua bagian waduk dapat dilakukan dengan pengurangan jumlah KJA dan penurunan konsentrasi nitrit dan amonia dari influen no.1.



(a) Distribusi spasial pencemaran peruntukan perikanan pada kondisi pengurangan beban masukan



(b) Distribusi spasial potensi yutrofik pada kondisi pengurangan beban masukan



Gambar 7. Ditribusi spasial pencemaran dan potensi eutrofik di badan air Waduk Jatiluhur pada kondisi pengurangan sumber beban masukan Jatiluhur

Berdasarkan pada hasil simulasi ternyata di badan air Waduk Jatiluhur pada KP1 dan KP2 dengan pengurangan sumber beban KJA dan aliran keluaran Waduk Cirata (KJA = 0, inf.no.1 = 0) masih berpotensi eutrofik, sedang pada KP3 tidak berpotensi eutrofik. Menurut Harsono (2012), pelepasan amonia sedimen telah menyebabkan kandungan amonia di badan air Waduk Jatiluhur melebihi ambang batas baku mutu yang berlaku. Berdasarkan uraian sebelumnya, nitrifikasi di badan air Waduk Jatiluhur pada KP1 dan KP2 dapat berjalan dengan baik, maka amonia lepasan sedimen tersebut diduga yang menjadi pemasok nitrat di dalam badan air waduk tersebut. Di badan air Waduk Jatiluhur pada KP1 dan KP2 dengan skenario KJA = 0, inf.no.1 = 0 masih terjadi potensi eutrofik, sedangkan pada KP3, kesempatan nitrifikasi tidak selama pada KP1 dan KP2 dan amonia hasil pelepasan sedimen tersebut sebagian lebih cepat keluar waduk karena arus, maka pada KP3 dengan skenario KJA = 0, inf.no.1 = 0 tidak terjadi potensi eutrofik. Dengan demikian, munculnya potensi eutrofik di Waduk Jatiluhur di setiap elevasi muka air sama dengan atau melebihi elevasi muka air reratanya cenderung tidak dapat dicegah, yang dapat dilakukan hanya dengan peringatan dini eutrofik jika elevasi muka air telah mendekati elevasi muka air reratanya.

KESIMPULAN

Model distribusi spasial nitrit dan nitrat badan air Waduk Jatiluhur dapat digunakan untuk peragaan proses nitrifikasi dan dinitrifikasi, serta adveksi dan dispersi dari masukan beban yang berasal dari lepasan ammonia sedimen, limbah KJA, aliran keluaran Waduk Cirata dan aliran anak sungai.

Dengan menggunakan model tersebut, ternyata faktor-faktor penyebab pencemaran nitrit peruntukan kualitas air perikanan dan potensi eutrofik adalah sebagai berikut:

- a. Pencemaran nitrit peruntukan perikanan di badan air pada elevasi muka air lebih tinggi atau sama dengan reratanya hanya terjadi di area KJA bagian hilir dan penyebabnya beban limbah KJA, sedang pada elevasi muka air lebih rendah reratanya hanya terjadi di bagian hulu waduk dan penyebabnya beban aliran keluaran Waduk Cirata.
- b. Potensi eutrofik pada elevasi muka air lebih tinggi atau lebih rendah reratanya terjadi di permukaan air pada semua bagian waduk dan penyebabnya beban limbah KJA serta proses nitrifikasi amonia lepasan sedimen, sedang pada elevasi muka air < reratanya terjadi di permukaan air pada bagian hulu waduk dan penyebabnya beban aliran keluaran Waduk Cirata.

Berdasarkan pada kesimpulan tersebut, maka dalam rangka sanitasi karena pencemaran nitrit di badan air Waduk Jatiluhur peruntukan budidaya ikan dengan KJA dapat disarankan sebagai berikut:

1. alternatif 1 yaitu, pengurangan jumlah KJA dan reduksi beban dari aliran keluaran Waduk Cirata
2. alternatif 2 yaitu, budidaya ikan dengan KJA dapat dilakukan hanya di bagian hilir Waduk Jatiluhur dengan jumlah lebih sedikit dari yang ada saat ini.
3. alternatif 3 yaitu, budidaya ikan dengan KJA dapat dilakukan hanya di bagian hilir Waduk Jatiluhur pada elevasi muka air lebih kecil reratanya.

Dalam rangka menghindari akibat dampak negatif eutrofik kelebihan nitrat di permukaan air Waduk Jatiluhur dalam berbudidaya ikan dengan KJA dapat dilakukan hanya di bagian hilir Waduk Jatiluhur pada saat elevasi muka air lebih rendah reratanya

DAFTAR PUSTAKA

- Andri H., W.H.T Didik, & P.A Lismining, 2009, Nitrogen anorganik terlarut (DIN) di Waduk Ir.H. Djuanda Jawa Barat, *Prosiding Semnaskan UGM 2009*, Jogjakarta: MSB-11.
- APHA., 1995, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. American Water Public Health Association. American Water Work Association. Water Environment Federation, Washington: 1100pp.
- Benefield, L.D., & C.W. Randall, 1980, Biological Process Design for Wastewater Treatment. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J: 526pp.
- Cerco, C.F., & T. Cole., 1993, Three-Dimensional Eutrophication Model of Chesapeake Bay. *J. Envir. Eng.* 119: 1006-1025.
- Chao, X.B., Y.F. Jia & F.D. Shields Jr, 2004, Three Dimensional Numerical Simulation of Flow and Mass Transport in a Shallow Oxbow Lake. World Water & Environmental Resources Congress 2004, ASCE, Salt Lake City.
- Chapra. S.C., 1997, Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill. New York: 844 pp.
- Garno. Y.S., 2002, Beban Pencemar Limbah Perikanan Budidaya dan Eutrofikasi di Perairan Waduk DAS Citarum, *Jurnal Teknologi Lingkungan P3TL—BPPT*. 2(2): 112 – 120.
- GHD, 2010., Jatiluhur Pipeline and Water Treatment Plant Pre-feasibility Study, Indonesia Infrastructure Initiative, Jakarta.
- Gin, K. Y. H., Q.Y. Zhang, E.S. Chan & L.M. Chou, 2001, Three-Dimensional Ecological Eutrophication Model for Singapore. *J. Envir. Engrg.* 127: 928-937.
- Ha S.R., & J.Y. Lee, 2008, Application of CE-QUAL-W2 Model to Eutrophication Simulation in Daecheong Reservoir Stratified by Turbidity Storm, *Proceeding of Taal 2007*, The 12th World Lake Conference :824-833.
- Hakanson. L., & R.H. Peters, 1995, Predictive limnology, Methods for Predictive Modelling SPB, Academic Publishing, Amsterdam, Netherland, 464pp.
- Harsono. E., 2011, Kajian Hubungan Antara Fitoplankton dengan Kecepatan Arus Akibat Operasi Waduk Jatiluhur, *Jurnal Biologi Indonesia*, 7(1): 99-120.
- Harsono. E., 2012, Model Numerikal 2-Dimensi Lapis Ganda Amonifikasidi Waduk Jatiluhur, *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 38(1): 81-93.
- James A., 1993., An Introduction to Water Quality Modeling, second edition, John Wiley & Sons, Chichester: 311pp.
- Jin, K.R., R.T. James, W.S. Lung, D.P. Loucks, R.P. Park & T.S. Tisdale, 1998, Assessing Lake Okeechobee Eutrophication with Water-quality Models. *J. Water Resour. Plng. And Mgmt.* 124: 22-30.
- Kolditz. O., 2002., Computational Methods in Environmental Fluid Mechanics, Springer, Berlin: 378pp.
- Krenkel P.A., & V. Novotny, 1980, Water Quality Management, Academic Press, London: 582pp.
- Kuo, J.T., W.C. Liu, R.T. Lin, W.S. Lung, M.D. Yang & S.C. Chu. 2007. Water Quality Modeling for The Feitsui Reservoir in Northern Taiwan, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 39(3): 671-687.

- Pepitasari K., 2010, Vertical Stratification of Nitrifying Bacteria and Prediction of Trophic Status Floating Net Cages (karamba jala apung) in Waduk Jatiluhur, *Degree Program in Microbiology School of Life Sciences and Technology-ITB*.
- Stumm.W., & J.J. Morgan., 1981, Aquatic Chemistry. John Wiley & Sons. New York: 780pp.
- Thomann R.V., 1987, Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper & Row, New York: 644pp.
- Tsanis J.W., H. Sheng & C. Alco., 2007, Environmental Hydraulics, Hydrodynamic and Pollutant Transport Modelling of Lakes and Coastal Waters, Elsevier, Amsterdam:360pp.
- Walpole R.E., & R.H. Myers., 1978, Probability and Statistic for Engineers and Scientists, Second edition, Macmollan Publishing, New York:621 pp.
- Wetzel R.G., 2001, Limnology of Lake and River Ecosystems, Third Edition, Academic Press, San Diego:1006 pp.