

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

Berdasarkan data pemantauan kualitas air setiap tiga bulan dari tahun 2006 sampai dengan tahun 2009 oleh PT. Jasa antara peruntukannya untuk budidaya ikan Tirta, badan air Waduk Jatiluhur di bagian dengan karamba jaring apung (KJA) hulu telah mendapatkan beban masukan dari (Garno, 2002) dan sebagai sumber air baku arah sumbu x atau y aliran keluaran Waduk yang akan diolah menjadi air minum untuk Cirata dan anak-anak sungaisebesar mencukupi kebutuhan DKI Jakarta (GHP, 98.581,40 kg-nitrit/tahun dan nitrat 2010), saat ini kandungan nitrit dan nitratnya 8.158.633,21 kg-nitrat/tahun. Menurut pada tempat-tempat tertentu di badan air Harsono (2012), lepasan sedimen, buangan waduk tersebut sering melebihi ambanglimbah KJA dan masukan beban aliran batas baku mutu peruntukan kualitas airnya keluaran Waduk Cirata ke dalam air Waduk (Andri, 2009; Evaluasi data tahun 2006 s/d Jatiluhur telah menyebabkan kandungan 2009 dari PT Jasa Tirta). Untuk menjaga amonia badan air waduk tersebut melebihi kesehatan kualitas air peruntukan dari ambang batas baku mutu yang berlaku. ancaman pencemaran nitrit dan nitrat di Sementara itu Pepitasastri (2010) juga telah badan air Waduk Jatiluhur tersebut, maka menemukan bakteri *Nitrosomona* dan sangat diperlukan piranti (*tools*) yang *Nitrobacter* pelaku nitrifikasi amonia dengan dapat digunakan untuk mendiagnosa sejauh jumlah dan rasio kedua bakteri tersebut mana kesehatan distribusi spasial nitrit dan nitrat bervariasi dari satu tempat ke tempat lain di badan air Waduk Jatiluhur. Berdasarkan hal peruntukannya, dan menyusun strategi tersebut, berarti di badan air Waduk penyehatan (sanitasi) badan air tersebut juga sedang terjadi proses peruntukannya dari pencemar nitrit dan nitrifikasi amonia yang memproduksi nitrit nitrat atau operasi peruntukan tersebut yang dan nitrat. Namun menurut Harsono (2011), dapat terhidar dari pencemaran nitrit dan debit aliran masukan dan keluaran serta elevasi muka air operasi Waduk Jatiluhur.

Telah banyak penelitian yang berubah-ubah (tidak konstan) dan telah menggunakan model komputer numerik mengakibatkan pola arus yang berubah-distribusi spasial parameter kualitas air yang berubah, sehingga dapat pula mengakibatkan berhasil untuk mendiagnosa kesehatan badan air dan pola distribusi spasial nitrit dan nitrat di air danau/waduk yang diakibatkan oleh waduk tersebut juga berubah-ubah. pencemar, dan berhasil untuk menyusur Demikian pula dengan masukan beban alternatif penyehatannya (sanitasi) badan air limbah operasi KJA ke dalam badan air tersebut (Cercot *et al* 1993; Ginet *et al* 2001; Waduk Jatiluhur yang dari arah sumbu z Jin *et al* 1998; Kuo *et al*, 2003; Haet *et al*, (dari permukaan air waduk), maka model-2008). Model tersebut pada umumnya model komputer numerik distribusi spasial menggunakan 'Default' masukan beban parameter kualitas air yang ada tersebut dari arah sumbu x atau y sistem koordinat menjadi tidak *compatible* untuk diterapkan Cartesian, proses yang terjadi di badan air badan air Waduk Jatiluhur. adalah nitrifikasi amonia dan denitrifikasi Harsono (2012) telah berhasil nitrat, serta mekanisme pendistribusian mengembangkan model komputer numerikal timbulan nitrit dan nitrat adalah adveksi 2-dimensi lapis ganda amonifikasi di badan karena arus air dan difusi karena perbedaan air Waduk Jatiluhur. Model tersebut selain konsentrasi pada kondisi debit telah memasukkan beban masukan dari arah masukan/keluaran dan elevasi muka air sumbu x dan y sistem koordinat UTM, juga danau konstan. telah memasukkan peubah operasi waduk dan limbah dari proses produksi KJA yang

berkembang di Waduk Jatiluhur dalam ranah Dengan, perhitungannya. Apabila model tersebut $C_{(i)1}$ dan $C_{(i)k}$ = konsentrasi material di lapisan ke 1 dan ke k di air waduk (kg/m^3) dikembangkan lebih lanjut, maka dapat diperoleh model yang dapat digunakan untuk piranti peraga proses dan mekanisme pendistribusian secara spasial nitrit dari nitrat di badan air Waduk Jatiluhur dan h_1 dan h_k = tebal lapisan ke 1 dan lapisan ke k (m); Untuk itu penelitian ini bertujuan membangun model distribusi spasial nitrit dan nitrat di Waduk Jatiluhur. x dan y = panjang sumbu x dan y ; 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.

E_{x1}, E_{y1}, E_z = parameter hidrodinamik
 E_x, E_y, E_z = koefisien dispersi arah sumbu x dan y di lapisan ke 1 (m^2/det),
 E_x, E_y = 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 dan dari bawah di lapisan air 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

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:

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 dengan kondisi pembatas terbuka (open boundary condition) (Kolditz, 2002; Tsanis penelitian ini diformulasikan berdasarkan *et al*, 2007). Perhitungan serta aransemen pada neraca massa nitrit dan nitrat dari data masukan dan keluaran skema numerik nitrifikasi amonia, influen nitrit-nitrat dari model tersebut menggunakan PC dengan luar badan air dan dinitrifikasi (Stumm & Morgan 1981; Wetzel 2001; Hakanson, 1995; Ha 2008). Formula produksi bersih hasil perhitungan arus dengan persamaan nitrit dan nitrat tersebut adalah sebagai berikut:

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

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

Dengan

$Pr_{(2)}$ = produksi bersih nitrit dan nitrat dan $Pr_{(3)}$ (kg/m³/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 ting 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 > 0mg/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} = 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*

...4 model numerikal 2-dimensi lapis ganda (Harsono, 2011), parameter ζ dan parameter hidrodinamik dan parameter proses k_{n1} diperoleh dari hasil perhitungan amonifikasi di Waduk Jatiluhur (Harsono, 2012), dan parameter proses k_{n2} dan k_{n3} 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 lapangan dilakukan, yaitu KP1 dengan elevasi muka air waduk 102 m pada saat survey lapangan bulan Januari 2009, KP2 dengan elevasi 98 m pada saat survey lapangan bulan Mei 2009, dan KP3 dengan elevasi muka air waduk 95 m pada saat survey lapangan bulan Agustus 2009. Kondisi pembatas tersebut terdiri dari morfometri waduk, debit keluaran (debit efluen Q_f) serta $W_{(2)}$ dan $W_{(3)}$. Data KP tersebut diperoleh dengan cara sebagai berikut:

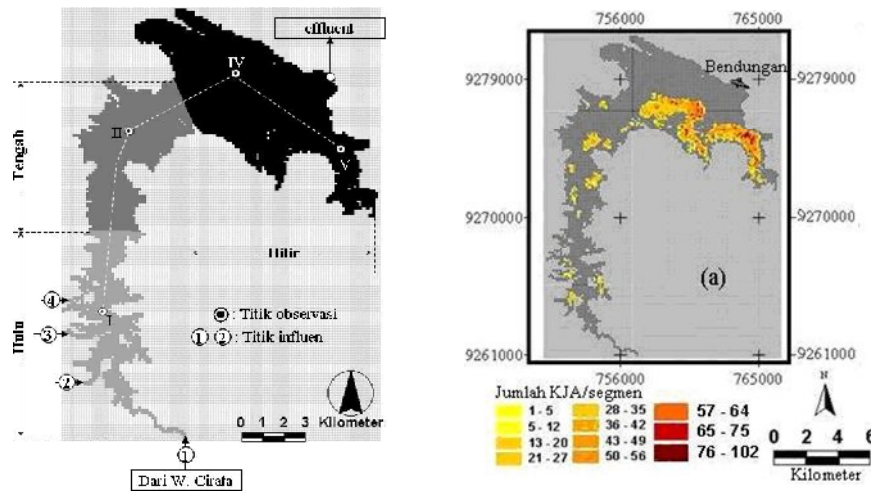
Morfometri Waduk Jatiluhur pada KP1, KP2 dan KP3, menggunakan hasil segmentasi peta batimetri. yang telah dilakukan oleh Harsono (2012), dan morfometri tiap KP tersebut di bagi menjadi 15 lapisan (Tabel 1).

Debit aliran keluar (Q_f) 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 pemb

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	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 diperoleh dari Perum Jasa Tirta II Jatiluhur, KP1, KP2 dan KP3 dalam penelitian ini sedangkan debit aliran air anak sungai berasal dari limbah proses produksi KJA, beserta konsentrasi nitrit dan nitrat yang aliran masukan dari debit keluaran aliran masuk ke dalam Waduk Jatiluhur (Gambar Waduk Cirata dan anak sungai. Lokasi 1, titik no. 2, 3 dan 4), merupakan data masukan beban pada peta segmentasi primer yang diperoleh dengan cara sebagai Waduk Jatiluhur dapat dilihat dalam berikut. Debit aliran diperoleh dengan cara Gambar 1 (Harsono 2012). Estimasi menggunakan metode Velocity-besarnya beban masukan dari limbah proses (Thomann, 1987), dimana kecepatan produksi KJA menggunakan metode aliran airnya diukur di lapangan Scmittou (Garno, 2002), dan beban aliran menggunakan alat Current-Meter tipe (influen) menggunakan formula Rasional *Digital Current-meter Model UC-304*, dan (James 1993).

Metode Rational dalam estimasi kedalaman dan lebar saluran aliran masukan beban masukan aliran memerlukan data dengan menggunakan pita meteran, debit serta konsentrasi nitrit dan nitrat aliran sedangkan konsentrasi nitrit dan nitrat aliran air yang masuk ke dalam badan air Waduk air anak sungai yang masuk Waduk Jatiluhur. Data tersebut diperoleh dengan Jatiluhur, diperoleh dengan mengambil cara sebagai berikut:

Debit aliran beserta konsentrasi nitrit dengan pengukuran debit aliran. dan nitrat keluaran Waduk Cirata (Gambar Pengambilan contoh air dilakukan dengan 1, titik no.1), merupakan data sekunder dan alat *Kemmerer water sampler* dari *Wildco*

volume 3 liter, kemudian disaring menggunakan filter 0,45µm Millipore dan observasi tersebut adalah sebagai berikut. dibawa ke laboratorium untuk dianalisis Waktu pengambilan contoh air observasi, dengan metode baku untuk mendapatkan bersamaan dengan waktu pengambilan konsentrasi nitrit dan nitrat (APHA 1995). contoh air untuk estimasi beban influen.

Kalibrasi dan validasi untuk Metode pengambilan serta analisis mendapatkan parameter proses laboratorium atas contoh air untuk menggunakan hasil perhitungan pada KP1, mendapatkan konsentrasi nitrit dan nitrat KP2 dan KP3. Kalibrasi menggunakan hasil observasi juga sama seperti yang dilakukan perhitungan pada KP2, sedangkan validasi pada contoh air influen. menggunakan hasil perhitungan pada KP1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Masukan beban nitrit dan nitrat

dianggap selesai, jika nilai perbedaan hasil hitungan dengan observasi (kurang dari Hasil estimasi beban nitrit (W₍₂₎) dan 10%, dimana ε dihitung dengan formula nitrat (W₍₃₎) dari limbah proses produksi Rasional (Walpole & Myers 1978) sebagai 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.

nerikut :

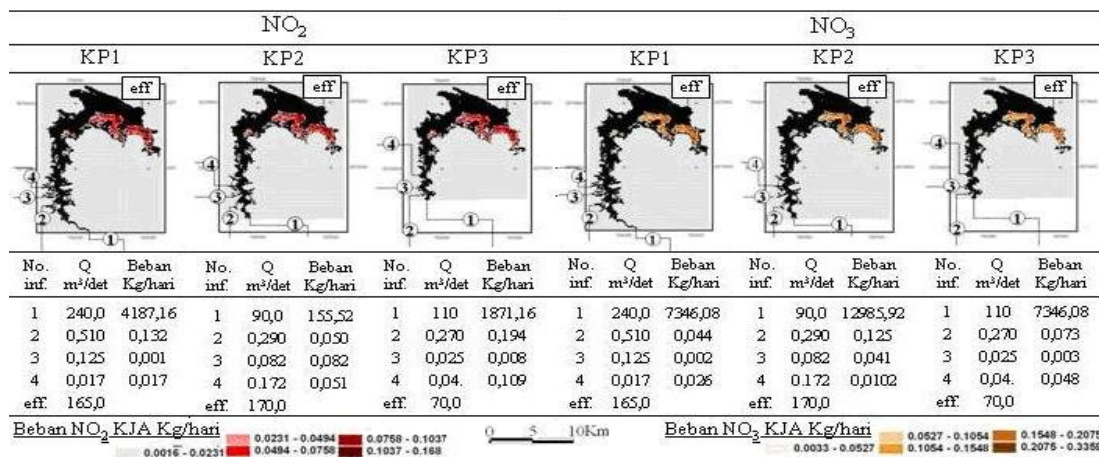
$$\varepsilon = \left[\sum_{1}^n \frac{\sqrt{(obsv-cal)^2}}{obsv} \times 100 \right] \times \frac{1}{n} \dots\dots\dots (6)$$

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

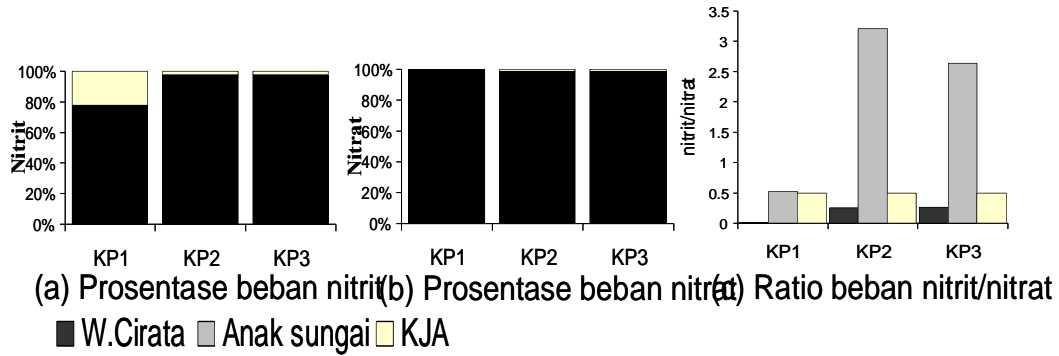
Dengan ε = nilai perbedaan; n = jumlah Presentase tertinggi beban nitrit dan observasi; obsv = hasil observasi; cal = hasil hitungan nitrat yang masuk ke dalam Waduk Jatiluhur perhitungan berasal dari keluaran air Waduk Cirata,

Data observasi untuk kalibrasi dan kemudian disusul oleh beban limbah KJA, validasi, diperoleh dengan mengambil dan paling kecil persentasenya berasal dari contoh air di kedalaman air permukaan (0 – aliran anak sungai (Gambar 3a; 3b). 1m), 4 m dan 8 m di Waduk Jatiluhur pada

Ratio nitrit/nitrat beban yang berasal titik-titik seperti yang terlihat dalam dari keluaran air Waduk Cirata paling kecil, Gambar 1. Waktu pengambilan contoh air kemudian disusul oleh limbah KJA dan serta metode pengambilan dan analisis paling besar rasio nitrit/nitrat-nya berasal laboratorium atas contoh air untuk 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 memperoleh parameter proses laju sebagai indikator proses nitrifikasi, makin nitrifikasi nitrit menjadi nitrat (k_{n2}) kecil rasio tersebut menunjukkan kinerja proses nitrifikasi berjalan dengan baik, 0,0112/hari serta laju dinitrifikasi (k_{n3}) sebaliknya makin besar rasio tersebut menunjukkan kinerja proses nitrifikasi berjalan dengan baik, 0,001/hari.

Pola distribusi spasial nitrit dan nitrat menunjukkan kinerja proses nitrifikasi pada KP1, KP2 dan KP3 cenderung semakin tidak berjalan (Chapra, 1987).terakumulasi di bagian hulu, tengah dan hilir Indikator tersebut apabila diterapkan pada waduk (Gambar 5). Akumulasi Nitrit dan rasio nitrit/nitrat beban yang masuk ke nitrat pada KP1 dan KP2 kedalaman 1 m, 4 dalam Waduk Jatiluhur, maka bebanm dan 8 m di badan air bagian hulu masukan nitrit dan nitrat aliran dari Waduk mempunyai konsentrasi terendah, dan di Cirata kemungkinan berasal dari produk badan air bagian hilir mempunyai proses nitrifikasi amonia. Sementara itu konsentrasi tertinggi, sedangkan akumulasi sebagian besar air Waduk Jatiluhur baras nitrit dan nitrat pada KP3 kedalaman 1 m, 4 dari Waduk Cirata. Maka dapat diperkirakan dan 8 m di badan air bagian hulu aliran keluaran Waduk Cirata juga mempunyai konsentrasi tertinggi dan ke membawa bakteri nitrifikasi ke dalam badan bagian hilir waduk.

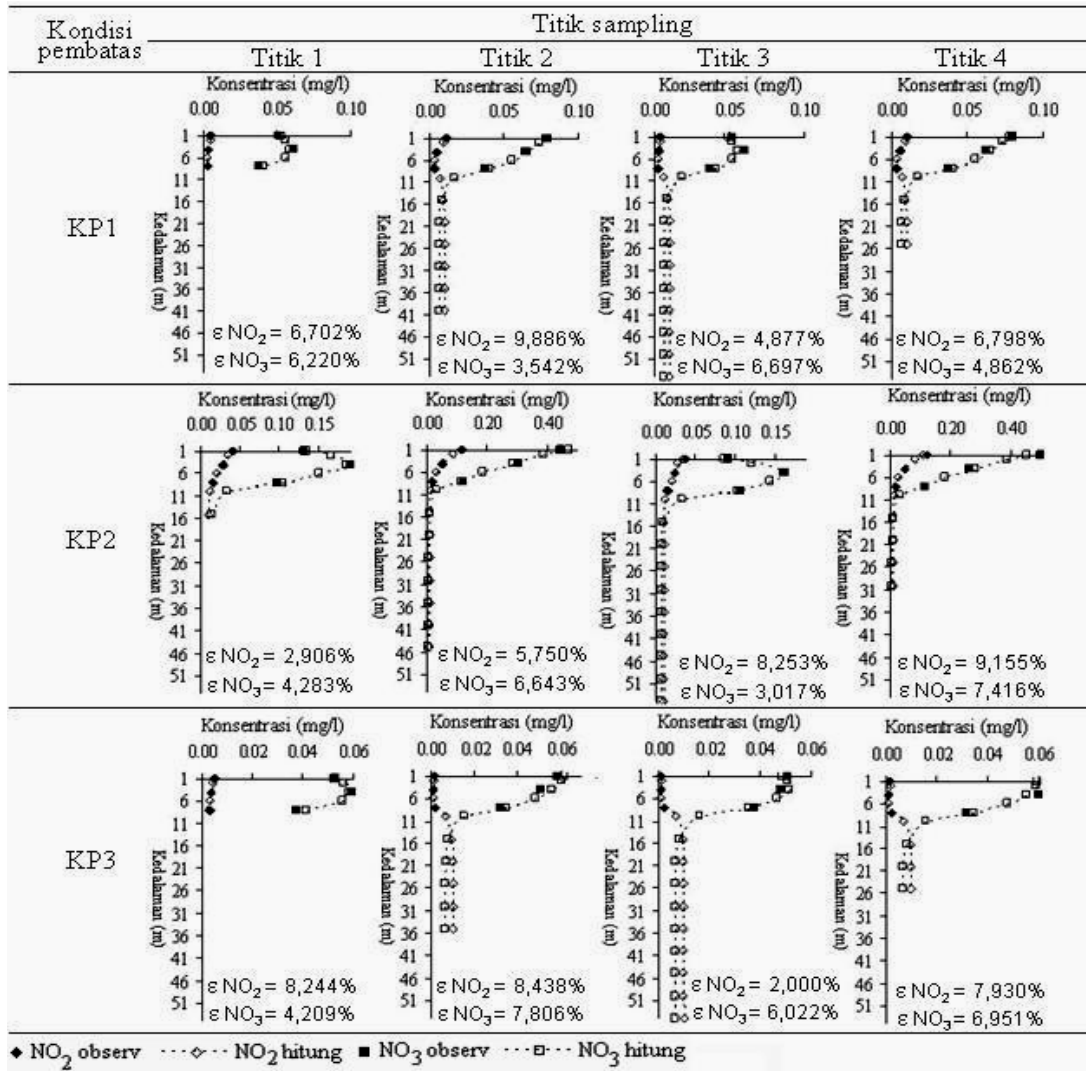
air Waduk Jatiluhur, sehingga anggapan Seperti telah diuraikan sebelumnya, proses nitrifikasi amonia menjadi nitrit dan proses yang terjadi dalam model adalah nitrat yang sedang terjadi di air Waduk nitrifikasi dan dinitrifikasi, dimana laju Jatiluhur dalam model yang dikembangkan nitrifikasi amonia menjadi nitrit (k_{n1}) telah penelitian ini menjadi lebih kuat.

Model distribusi spasial nitrit dan nitrat

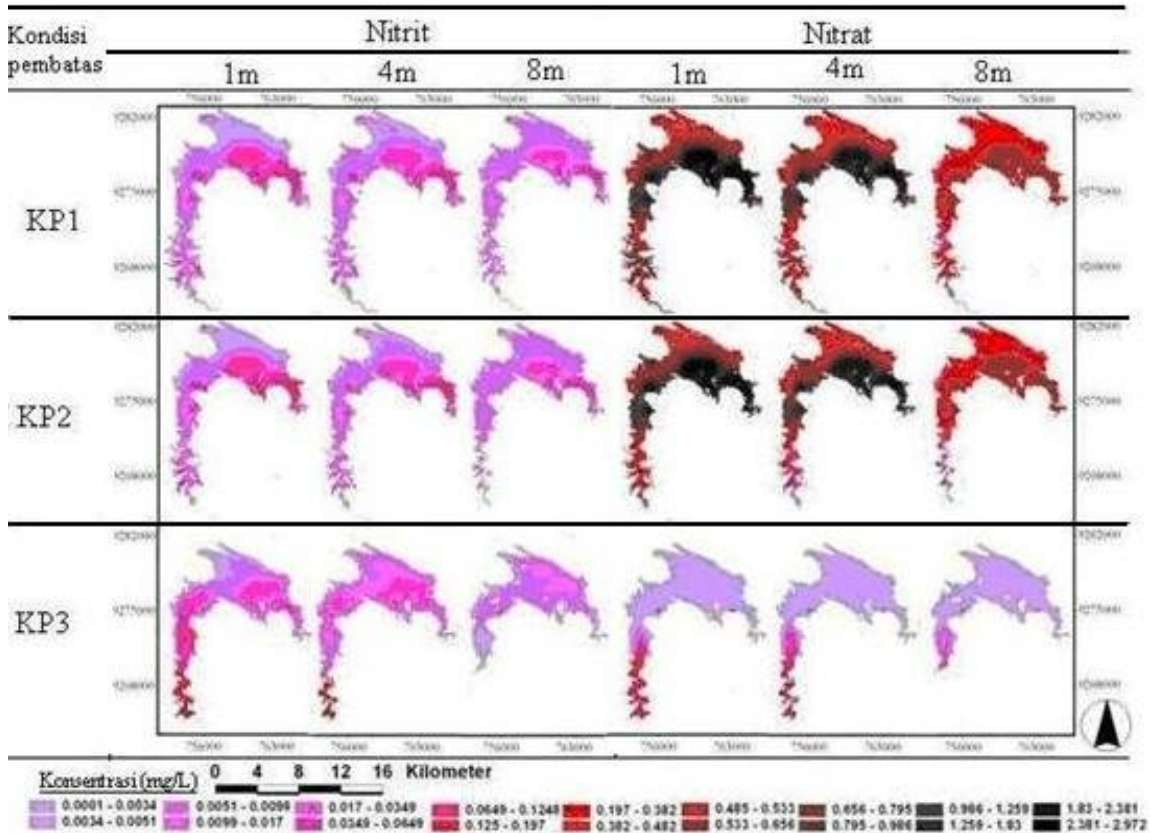
Perhitungan distribusi spasial proses nitrifikasi adalah aerobik murni akumulasi nitrit dan nitrat telah berhasil dengan DO air disyaratkan lebih dari 2 mg/l, dilakukan dengan waktu hitung Δt 3,6 laju nitrifikasi tahap ke dua (k_{n2}) lebih detik, didapatkan hasil kalibrasi dan validasi cepat dibandingkan dengan tahap ke satu (Gambar 4), dan model distribusi spasial (k_{on1}), dan tipekal rasio k_{n2}/k_{on1} antara 2 nitrit dan nitrat (Gambar 5). sampai dengan 3. Menurut Benefield (1980)

Perbandingan antara hasil perhitungan proses dinitrifikasi dapat terjadi pada DO dan observasi pada titik yang telah badan air 0 mg/l, dan menurut Krenkel ditentukan, terlihat mempunyai (1980) tipekal nilai laju dinitrifikasi (k_{n3}) kecenderungan yang mirip dengan nilai antara 0,001 sampai dengan 0,048/hari. perbedaan (ϵ) rata-rata di bawah 10% Penelitian ini telah memperoleh ratio (Gambar 4). Kalibrasi dan validasi juga telah k_{on1}/k_{on2} sebesar 2,24, apabila dibandingkan

dengan nilai tipikal maka masih berada ditelah sesuai dengan observasi, parameter antara rentangnya. Begitu juga dengan hasil modelnya juga masih berada dalam rentang kalibrasi dan validasi laju dinitrifikasi k_{NO_3} tipikal. Maka hasil perhitungan distribusi apabila dibandingkan dengan nilai tipikal spasial nitrit dan nitrat dalam penelitian ini juga masih berada di antara rentangnyadapat dipertanggungjawabkan secara Dengan demikian hasil perhitungan ilmiah dan dianggap dapat sebagai alat distribusi spasial nitrit dan nitrat disamping peraga.



Gambar 4. Hasil kalibrasi dan validasi



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

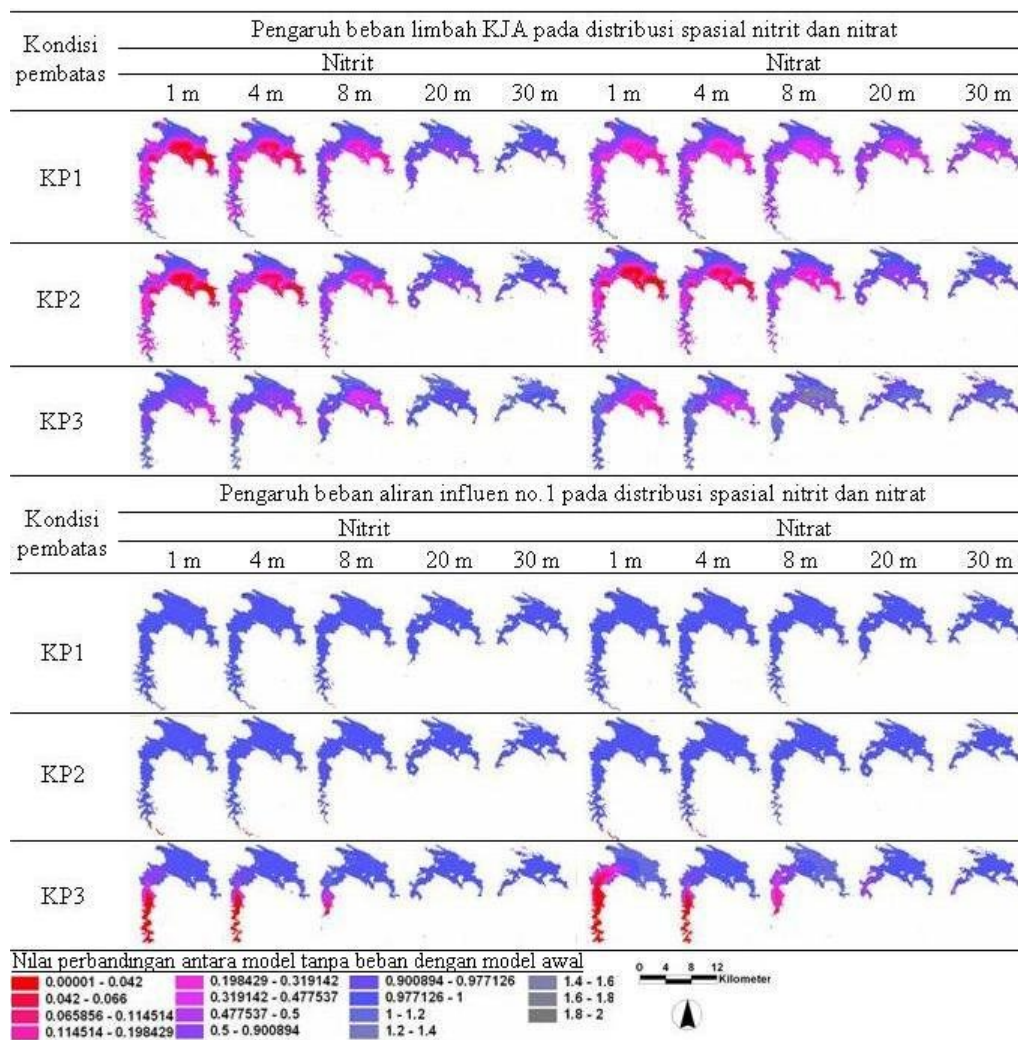
Faktor yang mempengaruhi pola distribusi spasial nitrit dan nitrat

Telah dikemukakan sebelumnya bahwa sebagian besar beban masukan dalam Waduk Jatiluhur berasal dari aliran keluaran Waduk Cirata dan limbah KJA, limbah KJA dan aliran anak sungai. Untuk mengetahui faktor

Berdasarkan perbandingan model distribusi spasial nitrit dan nitrat antara tanpa beban dengan modelnya, ternyata pola distribusi spasial nitrit dan nitrat dipengaruhi oleh beban yang berasal dari

Waduk Cirata dan limbah KJA, limbah KJA dan aliran anak sungai. Untuk mengetahui faktor pengaruh beban limbah KJA pada pola distribusi nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur, telah dilakukan simulasi perbandingan antara model tanpa beban dengan model dengan beban masukan tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaruh beban limbah KJA pada pola distribusi nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur pada kedalaman air 30 m, sedangkan pada kedalaman air 20 m.

Pengaruh beban limbah KJA pada pola distribusi nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur pada kedalaman air 30 m, sedangkan pada kedalaman air 20 m. Nilai perbandingan kemudian dibandingkan dengan model awalnya, sehingga mendapatkan nilai perbandingan dimana semakin kecil nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan perbandingan dan areanya semakin luas dengan KP3, sedangkan pengaruh beban dari aliran anak sungai. Untuk mengetahui faktor pengaruh beban limbah KJA pada pola distribusi nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur pada kedalaman air 30 m, sedangkan pada kedalaman air 20 m. Nilai perbandingan kemudian dibandingkan dengan model awalnya, sehingga mendapatkan nilai perbandingan dimana semakin kecil nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan perbandingan dan areanya semakin luas dengan KP3, sedangkan pengaruh beban dari aliran anak sungai. Untuk mengetahui faktor pengaruh beban limbah KJA pada pola distribusi nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur pada kedalaman air 30 m, sedangkan pada kedalaman air 20 m. Nilai perbandingan kemudian dibandingkan dengan model awalnya, sehingga mendapatkan nilai perbandingan dimana semakin kecil nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan perbandingan dan areanya semakin luas dengan KP3, sedangkan pengaruh beban dari aliran anak sungai.



Gambar 6. Pengaruh beban pada pola distribusi sinitrit dan nitrat di badan air Wad Jatiluhur

Berdasarkan pengolahan data arus yang demikian itu telah mengakibatkan sekunder pemantauan operasi waduk nitrit dan nitrat yang berasal dari limbah Jatiluhur tahun 2006 s/d 2009 dari PT. JasaKJA pada KP1 dan KP2 cenderung Tirta Jatiluhur, elevasi muka air Waduk teradveksi hingga ke arah hulu, sedang pada Jatiluhur berfluktuasi antara 90,9 m (msl) KP3 nitrit dan nitrat dari limbah KJA yang sampai dengan 105,1 m (msl) atau reratanya sebagian besar lokasinya di dekat titik efluen ± 98,0 m (msl). Menurut Harsono (2011), dengan cepat terbawa arus keluar dari pola arus air Waduk Jatiluhur pada KP1 dan waduk. KP2 yang elevasi muka airnya lebih tinggi Kondisi adveksi yang demikian itu atau sama dengan rerata elevasi muka air juga telah mengakibatkan aliran beban dari waduk, cenderung terjadi perputaran dari keluaran Waduk Cirata yang masuk ke hilir ke hulu, sedangkan pada KP3 yang dalam badan air Waduk Jatiluhur dari titik elevasinya lebih rendah dari rerata elevasi yang berada di bagian hulu pada KP1 dan muka air waduk, cenderung menuju ke arah KP2 menjadi lebih rendah bila dibandingkan titik keluaran (efluen). Kecenderungan pola dengan konsentrasi yang terbawa adveksi,

sehingga aliran beban dari keluaran Waduk Cirata dengan KJA dan telah direncanakan sebagai sumber baku air minum. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.20 Tahun 1990 tentang Pengendalian pencemaran air di bagian hulu Waduk Jatiluhur. Sedangkan baku mutu (B.M) nitrit pada KP3 yang tidak ada adveksi dari hilir peruntukan perikanan $\leq 0,06$ mg/L, dan ke hulu telah mengakibatkan konsentrasi menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.416/Menkes/Per/IX/1990 nitrit konsentrasi nitrit dan nitrat yang ada di untuk air minum ≤ 1 mg-N/L yang ekuivalen badan air bagian hulu Waduk Jatiluhur, dengan $\leq 0,3$ mg-nitrit/L. Sementara itu sehingga masukan nitrit dan nitrat yang menurut Chapman (1992) kandungan nitrat berasal dari Waduk Cirata terlihat jelas di perairan tergenang $> 0,2$ mg/L dapat perjalanannya dari hulu ke hilir Waduk menyebabkan kondisi eutrofik. Baku mutu Jatiluhur dan kriteria tersebut apabila digunakan

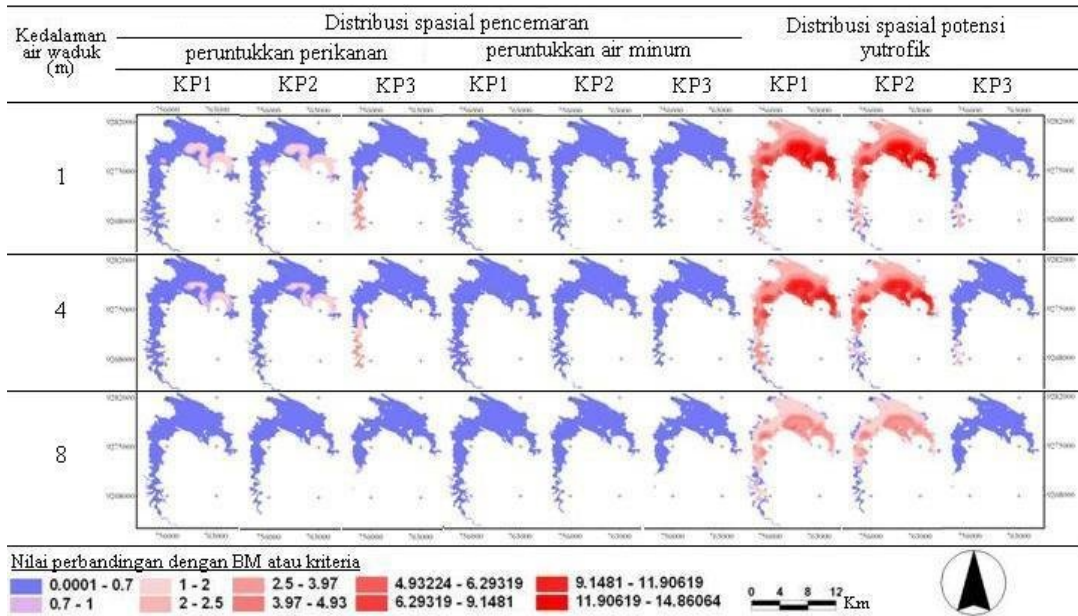
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan untuk evaluasi model distribusi spasial nitrit dan nitrat di atas, ternyata pola distribusi dan konsentrasi badan air Waduk Jatiluhur, maka spasial nitrit dan nitrat berubah-ubah. Pada saat elevasi muka air Waduk Jatiluhur sama dengan atau lebih tinggi dari elevasi muka air Waduk Jatiluhur, maka pola distribusi spasial pencemaran nitrit dan nitrat tersebut dipengaruhi oleh peruntukan terjadi pada KP1 dan KP2 beban yang berasal dari limbah KJA. Pada kedalaman air 1m hingga 4m di area KJA saat muka air Waduk Jatiluhur lebih rendah bagian hilir waduk, dan pada KP3 dari reratanya, maka pola distribusi spasial kedalaman 1 m hingga 4 m di bagian hulu nitrit dan nitrat waduk tersebut dipengaruhi waduk. Pencemaran nitrit peruntukkan air oleh beban yang berasal dari aliran keluaran minimum tidak terjadi baik pada KP1, KP2 dan Waduk Cirata. Demikian juga dengan KP3, sedang potensi eutrofik terjadi pada kesempatan produksi nitrit dan nitrat dari KP1 dan KP2 kedalaman air 1 hingga 8 m di nitifikasi, pada saat elevasi muka air Waduk sebagian besar bagian tengah hingga hilir Jatiluhur sama dengan atau lebih tinggi dari waduk, dan pada KP3 hanya terjadi di elevasi muka air reratanya, maka konsentrasi bagian hulu waduk kedalaman 1 m hingga 4

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 Waduk Jatiluhur sangat dipengaruhi oleh reratanya maka konsentrasi nitrit di bagian beban masukan dari limbah KJA dan aliran hilir waduk dari kedalaman 1m hingga 8m influen no.1. Maka untuk mencari alternatif lebih tinggi dari nitrat dan di bagian tengah pengendalian pencemaran dan pengurangan hingga hilir waduk dari kedalaman 1m potensi eutrofik di badan air Waduk hingga 8m konsentrasi nitratnya cenderung Jatiluhur telah di peragakan pencemaran dan lebih tinggi dari nitritnya. 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

Sebagaimana diketahui bahwa distribusi spasial nitrit dan nitrat di badan air Waduk Jatiluhur sangat dipengaruhi oleh reratanya maka konsentrasi nitrit di bagian beban masukan dari limbah KJA dan aliran hilir waduk dari kedalaman 1m hingga 8m influen no.1. Maka untuk mencari alternatif lebih tinggi dari nitrat dan di bagian tengah pengendalian pencemaran dan pengurangan hingga hilir waduk dari kedalaman 1m potensi eutrofik di badan air Waduk hingga 8m konsentrasi nitratnya cenderung Jatiluhur telah di peragakan pencemaran dan lebih tinggi dari nitritnya. 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

Model distribusi spasial pencemaran nitrit dan nitrat

Seperti telah dikemukakan skenario tidak ada KJA dan konsentrasi nitrit sebelumnya bahwa badan air Waduk dan nitrat aliran influen no.1 0mg/l Jatiluhur juga digunakan untuk budidaya (KJA=0, inf.no.1=0) (Gambar 8).

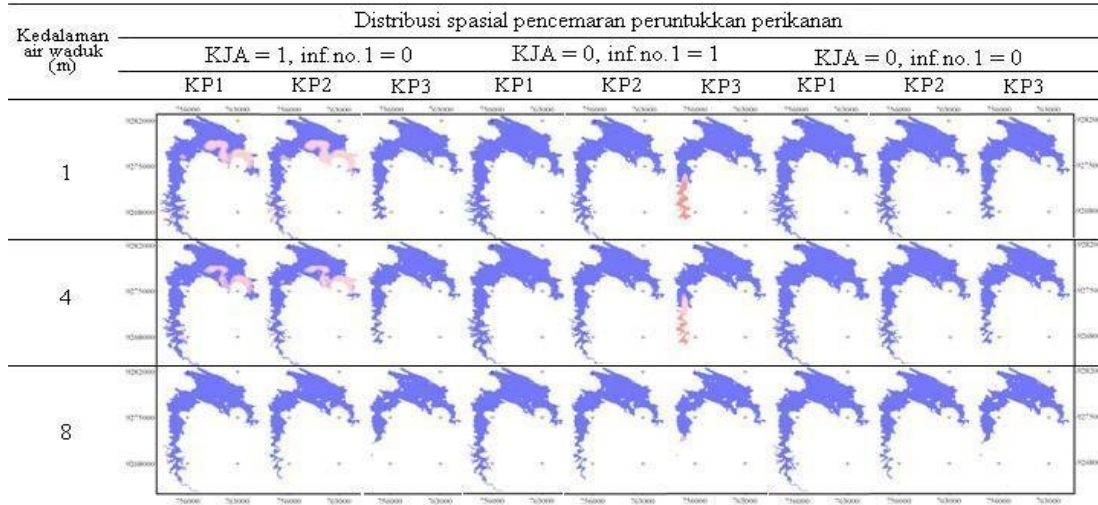


Gambar 7. Distribusi spasial pencemaran dan potensi eutrofik di badan air Waduk Jatiluhur

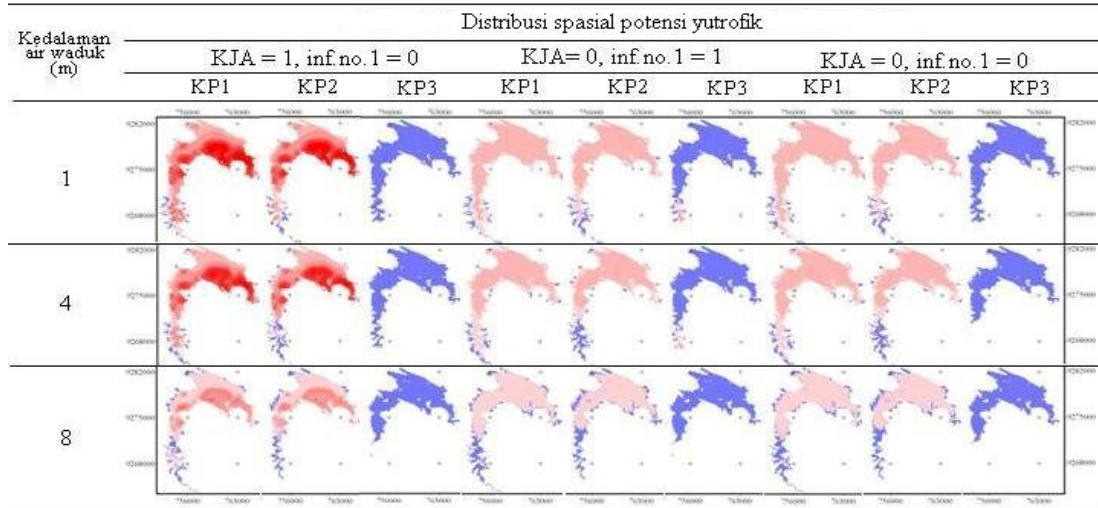
Distribusi spasial pencemaran menyebabkan potensi eutrofik pada KP1 dan Waduk Jatiluhur setelah pengurangan KP2 di seluruh bagian waduk kedalaman air sumber beban masukan dapat dilihat pada 1 m hingga 8 m, dan telah menghilangkan gambar 8(a). Hasil simulasi dengan skenario potensi eutrofik pada KP3 di bagian hulu KJA = 1, inf.no. = 0 masih menyebabkan waduk. Simulasi dengan skenario KJA = 0, pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air inf.no.1 = 1 masih menyebabkan potensi perikanan pada KP1 dan KP2 di area KJA eutrofik pada KP1 dan KP2 di seluruh di bagian hilir waduk kedalaman air 1 m bagian waduk kedalaman air 1 m hingga 8 m hingga 4 m, dan telah menghilangkan m, dan pada KP3 di bagian hulu kedalaman pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air 1 m hingga 4 m. Simulasi dengan skenario perikanan pada KP3 kedalaman air 1 m KJA = 0, inf.no.1 = 0 masih menyebabkan hingga 4 m. Simulasi dengan skenario KJA = potensi eutrofik pada KP1 dan KP2 di 0, inf.no.1 = 1 telah menghilangkan seluruh bagian waduk kedalaman 1 m pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air hingga 8 m, dan telah menghilangkan perikanan pada KP1 dan KP2 kedalaman air potensi eutrofik KP3 di bagian hulu waduk. 1 m hingga 4 m, dan masih menyebabkan Berdasarkan hasil simulasi, ternyata pencemaran nitrit peruntukkan kualitas air kondisi pencemaran nitrit peruntukkan perikanan pada KP3 di bagian hulu waduk perikanan di badan air Waduk Jatiluhur kedalaman air 1 m hingga 4 m. Simulasi dipengaruhi oleh sumber beban dan elevasi dengan skenario KJA = 0, inf.no.1 = 0 telah muka air waduk. Pada elevasi muka air menghilangkan pencemaran nitrit waduk sama dengan atau lebih tinggi dari peruntukkan kualitas air perikanan pada KP1, rata-rata, pencemaran nitrit peruntukkan KP2 dan KP3. kualitas air perikanan hanya terjadi di area

Distribusi spasial potensi eutrofik di KJA bagian hilir waduk dan hanya badan air Waduk Jatiluhur setelah dipengaruhi oleh beban limbah KJA. Pada pengurangan sumber beban masukan dapat elevasi muka air waduk lebih rendah dari dilihat pada gambar 8(b). Hasil simulasi rata-rata, pencemaran nitrit peruntukkan dengan skenario KJA = 1, inf.no. = 0 masih kualitas air perikanan yang terjadi di bagian

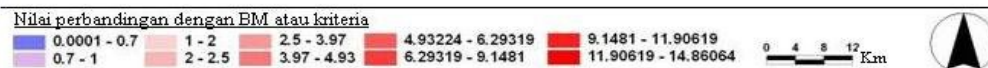
hulu hanya dipengaruhi oleh beban dariperikanan pada semua elevasi muka airnya, aliran influen no.1. Sementara itu, ke duadi area KJA bagian hilir waduk dapat sumber beban tersebut apabila dihilangkandilakukan dengan pengurangan jumlah KJA, maka pencemaran nitrit pada peruntukardan untuk semua bagian waduk dapat perikanan di semua elevasi muka air wadukdilakukan dengan pengurangan jumlah KJA (KP1, KP2 dan KP3) menjadi hilang. Maka dan penurunan konsentrasi nitrit dan amonia dalam penurunan nitrit air Waduk Jatiluhur dari influen no.1. hingga sesuai dengan baku mutu peruntukan



(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 Jatilu 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 tersebut, maka dalam rangka sanitasi karena pelepasan sedimen tersebut sebagian lebih cepat keluar waduk karena arus, maka pada KP3 dengan skenario KJA = 0, inf.no.1 = 0 KJA dapat disarankan sebagai berikut: 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 permukaan air Waduk Jatiluhur dalam dari masukan beban yang berasal dari budidaya ikan dengan KJA dapat lepasan ammonia sedimen, limbah KJA, dilakukan hanya di bagian hilir Waduk aliran keluaran Waduk Cirata dan aliran Jatiluhur pada saat elevasi muka air lebih rendah reratanya anak sungai.

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

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.

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 budidaya 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*, Yogyakarta: 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.
- Benfield, 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 Amonifikasi 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 Tsanis 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.
- 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.