

# Pemodelan Dinamik dan Simulasi Siklus Nitrogen pada Kolam Pembesaran Lele

Kesni Savitri, Zulfansyah, Jecky Asmura, Hari Rionaldo

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
zulfansyah@unri.ac.id

## Abstract

*Nitrogen is an important element in aquatic environments. Utilization of nitrogen contained in the feed as a source of energy and simultaneously toxic to aquatic systems, especially in catfish ponds. The nitrogen concentration in the form ammonia is toxic to catfish if it higher than lethal dose 0,6 mg N/l, so the nitrogen concentration in the form of ammonia has to be kept at low value, below 0.6 mg N/l. The interactions between various nitrogen are complex and difficult to analysis. However, it can be described by a mathematical model. So the dynamic modeling and simulation aimed to predicting the nitrogen dynamics and study the effect of variations in enviromental management is a % protein in feed, feed rate, and water exchange rate on nitrogen dynamics. In this research variation % protein feed used were 20%,30% and 40%. Variations feed rate based on fish weight were 2,9%, 3,9% and 4,9% and water exchange rate used were 5%, 10% and 15%. The data conditions of catfish pond and initial value of nitrogen concentration were obtained from literature. Nitrogen dynamics model which formed a system of ordinary differential equation 1 was solved by Runge-Kutta order 4 method. Models was implemented using Matlab. The result accumulation N-NH<sub>3</sub> of All variations of pond management below of N-NH<sub>3</sub> toxicity limit for catfish is < 0.6 mg N/l. However, the concentration of N-NH<sub>3</sub> should be kept from 0,02 to 0,08 mg N / l. So the recomended management treatment is giving 20% protein, 2,9% feed rate and 15% rate of water exchange.*

**Keywords :** Nitrogen dynamics, modeling and simulation, catfish pond.

## Abstrak

Nitrogen merupakan elemen penting bagi sistem perairan. Pemanfaatan nitrogen yang terdapat dalam pakan sebagai sumber energi secara simultan juga merupakan toksik bagi lingkungan kolam, khususnya kolam pembesaran lele. Konsentrasi nitrogen dalam bentuk ammonia merupakan toksik bagi ikan lele jika melebihi batas lethal yaitu 0,6 mg N/l, sehingga konsentrasi nitrogen dalam bentuk ammonia harus dijaga di bawah 0,6 mg N/l. Interaksi berbagai bentuk nitrogen di kolam sangat komplek dan sulit untuk diketahui. Namun sistem yang komplek dapat dideskripsikan dengan model matematis. Sehingga pemodelan dinamik dan simulasi siklus nitrogen bertujuan untuk memprediksi dinamika nitrogen serta mempelajari pengaruh variasi manajemen lingkungan kolam yaitu % protein, laju pengumpanan pakan dan laju *water exchange* terhadap dinamika nitrogen. Variasi % protein pakan yang diberikan adalah 20%, 30% dan 40%. Selanjutnya variasi laju pengumpanan pakan berdasarkan berat ikan yaitu 2,9%, 3,9% , 4,9% dan variasi laju *water exchange* yang digunakan adalah 5%, 10% dan 15%. Data kondisi kolam dan nilai awal konsentrasi nitrogen diperoleh dari literatur. Model dinamika nitrogen yang terbentuk merupakan sistem persamaan differensial orde 1 yang diselesaikan dengan metode Runge kutta orde 4. Model diimplementasikan menggunakan Matlab. Semua variasi manajemen kolam menghasilkan akumulasi N-NH<sub>3</sub> di bawah batas toksisitas N-NH<sub>3</sub> bagi pembesaran lele yaitu < 0,6 mg N/l. Namun konsentrasi N-NH<sub>3</sub> sebaiknya dijaga 0,02-0,08 mg N/l. Sehingga perlakuan manajemen yang direkomendasikan adalah pemberian 20% protein, 2,9% laju pengumpanan dan 15% laju *water exchange*.

**Kata kunci :** Dinamika nitrogen, pemodelan dan simulasi, kolam pembesaran lele.

## 1 Pendahuluan

Budidaya lele saat ini banyak digemari karena mudah dikembangbiakkan, pertumbuhannya relatif cepat, serta memiliki daya tahan tubuh dan nilai ekonomis yang tinggi. Selain itu ikan lele banyak dikonsumsi karena memiliki kadar gizi yang tinggi. Rata-rata komposisi lele adalah sebagai berikut: protein 17,7%, lemak 4,8%, mineral 1,2 %, karbohidrat 0,3%, dan air 76 % [Astawan, 2008]. Budidaya lele yang berkembang saat ini dilakukan di kolam dengan sistem intensif. Pada budidaya intensif, lele dipelihara dengan kepadatan tinggi dan seluruh nutrisi diperoleh dari pakan

buatan dengan kadar protein yang tinggi. Pemberian protein tinggi dilakukan untuk memaksimalkan pertumbuhan ikan lele. Namun pemberian pakan berlebih dapat meningkatkan kadar ammonia (NH<sub>3</sub>) pada metabolisme protein sebagai ekskresi ikan.

Selain dari ekskresi ikan, ammonia juga bersumber dari sisa pakan yang tidak termakan. Pemberian pakan yang tidak optimal menyebabkan semakin banyaknya sisa pakan yang tidak termakan dan tertumpuk di lingkungan dan endapan kolam sebagai bahan organik nitrogen. Tumpukan bahan organik ini selanjutnya terdekomposisi menjadi ammonia (NH<sub>3</sub>). Ammonia merupakan toksik bagi ikan jika melebihi batas lethal

yaitu 0,6 mg/l dan menyebabkan lingkungan kolam tercemar [Hargreaves *et al.*, 2001]. Efek racun yang ditimbulkan ammonia bisa menyebabkan kerusakan insang pada ikan yang berdampak terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan. Sehingga kualitas air di lingkungan kolam harus dijaga agar akumulasi nitrogen dapat diminimalisir.

Untuk mengendalikan akumulasi nitrogen di lingkungan kolam, maka perlu dilakukan suatu upaya manajemen lingkungan kolam. Upaya meminimalisir akumulasi nitrogen dapat dilakukan tiga tinjauan variasi yaitu kadar protein pakan, laju pemberian pakan dan laju *water exchange* sehingga kondisi optimal kualitas air dapat diketahui. Interaksi berbagai bentuk nitrogen di kolam sangat kompleks dan sulit untuk diketahui. Namun sistem yang kompleks pada kolam pembesaran lele dapat dideskripsikan melalui model matematis.

Pemodelan siklus nitrogen pada kolam ikan telah dipelajari oleh Kochba *et al.* [1994] dan Jimenez-Montealegre *et al.* [2002]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model-model yang dibentuk bisa digunakan untuk memperkirakan pengaruh manajemen pengelolaan ikan terhadap akumulasi nitrogen dalam kolam. Model yang dibentuk memperkirakan kadar nitrogen dalam kolam yang dipengaruhi manajemen kolam seperti konsentrasi protein dalam pakan, laju pengumpanan pakan, dan laju *water exchange* (pertukaran air).

Model transformasi nitrogen pada kolam intensif dikembangkan oleh Kochba *et al.* [1994] dengan melihat pengaruh pertukaran air terhadap kadar nitrogen dalam kolam. Tetapi model yang dibentuk hanya memperkirakan kadar  $\text{NH}_3$  dalam air tanpa menghitung akumulasi nitrogen lain yang terbentuk sebagai nitrogen anorganik. Kemudian model tersebut dikembangkan lebih lanjut oleh Jimenez-Montealegre *et al.* [2002] dengan melihat transformasi nitrogen melalui proses nitrifikasi, denitrifikasi dan amonifikasi untuk memperkecil error perhitungan akibat adanya akumulasi nitrogen pada endapan.

Jika model yang dikembangkan oleh Jimenez-Montealegre *et al.* [2002] dan Kochba *et al.* [1994] disintesa akan menjadi suatu model dinamik kadar nitrogen dalam kolam yang bisa memperkirakan pengaruh proses-proses transformasi nitrogen dan manajemen kolam. Model yang terbentuk mungkin dapat digunakan pada kolam pembesaran lele untuk memperkirakan akumulasi nitrogen kolam. Pengaruh kadar protein pada umpan, laju umpan, laju pertukaran air, akan disimulasi untuk mengetahui kondisi optimum yang dapat meminimalkan akumulasi nitrogen pada kolam.

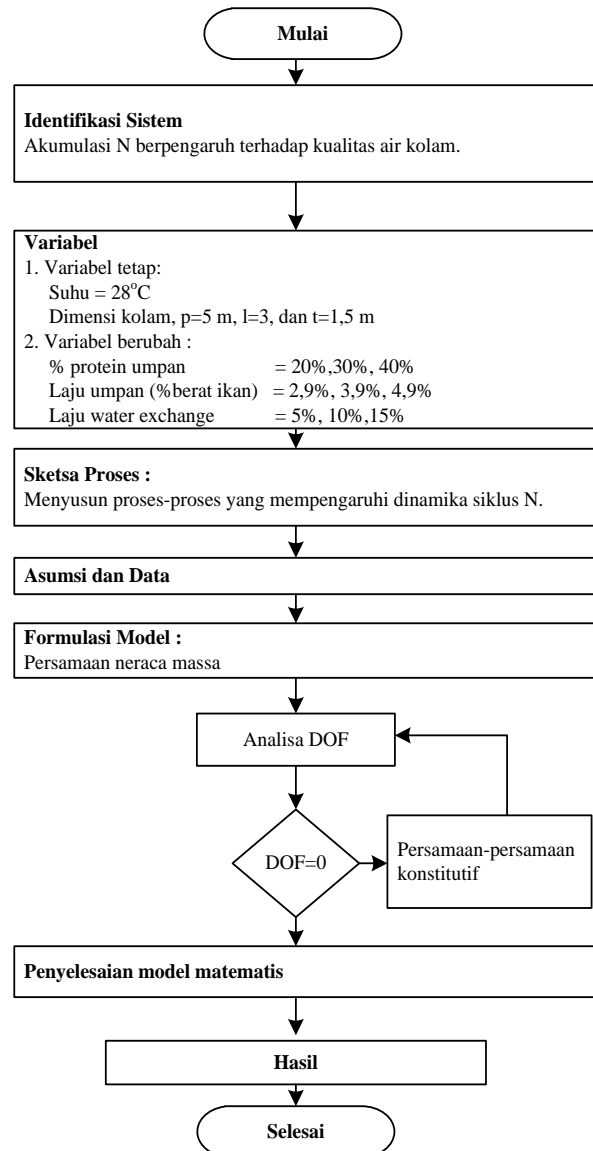
## 2 Metode Penelitian

Langkah awal menyusun model adalah mengidentifikasi sistem, membuat sketsa sistem yang mewakili sistem yang sebenarnya dan menetapkan asumsi. Selanjutnya memformulasi model-model yang berkaitan dengan sistem. Data dan variabel diperoleh dari penelitian sebelumnya. Prosedur penyusunan model dan

simulasi dinamika nitrogen secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

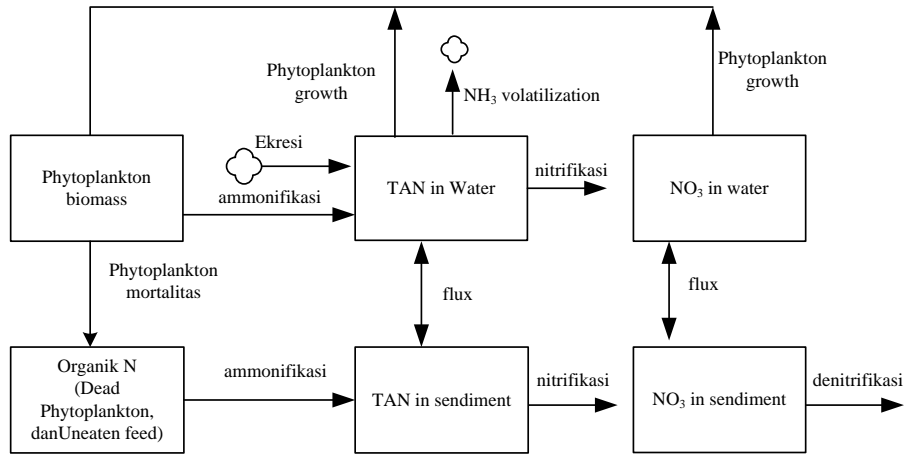
### 2.1 Identifikasi Sistem

Kualitas air dipengaruhi oleh dinamika siklus nitrogen di dalam kolam. Nitrogen terakumulasi dalam bentuk nitrogen ammonia ( $\text{N-NH}_3$ ), nitrogen ammonium ( $\text{N-NH}_4$ ), nitrogen nitrat ( $\text{N-NO}_3$ ) pada air dan endapan kolam, nitrogen organik dan nitrogen fitoplankton. Proses yang mempengaruhi transformasi nitrogen antara lain, amonifikasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Prosedur pemodelan dan simulasi dinamika nitrogen

Variabel tetap yang digunakan adalah dimensi kolam dengan panjang 5 m, lebar 3 m dan tinggi 1,5 m. Suhu rata-rata pembesaran lele adalah 28°C. Dimensi kolam dan suhu ditetapkan sebagai variabel tetap berdasarkan data penelitian Rohmana [2009]. Sedangkan variabel bebas pada penelitian ini adalah laju input (g/hr), kadar protein umpan (%), dan laju *water*



**Gambar 2.** Blok diagram transformasi nitrogen

exchange ( $h^{-1}$ ). Variasi laju input pakan berdasarkan % berat ikan yaitu 2,9%, 3,9% dan 4,9% untuk melihat laju input yang optimum untuk akumulasi nitrogen. Variasi % protein pakan yang digunakan adalah 20%, 30% dan 40%. Variasi laju *water exchange* yang digunakan adalah 5%, 10% dan 15%.

Asumsi yang digunakan untuk menyusun model dinamik nitrogen adalah sebagai berikut:

1. Nitrogen dalam pakan yang dicerna oleh ikan adalah sebesar 40% ( $a_{npu} = 40\%$ ) dan 60% dibuang ke badan kolam sebagai hasil ekresi dan *uneaten feed* [Lovell, 1988].
2. Waktu pembersaran lele hingga panen adalah 3 bulan atau 90 hari sehingga waktu simulasi adalah 90 hari ( $tf = 90$  day).
3. Kondisi batas Oksigen terlarut pada air dan endapan adalah  $> 2$  mg/l ( $a_{DO_{wat}} = 4,2$  mg/l, dan  $a_{DO_{sed}} = 4,2$  mg/l) [Rohmana, 2009].
4. Kondisi batas pH pada air dan endapan adalah  $> 2$  ( $a_{pH_{wat}} = 6,8$  dan  $a_{pH_{sed}} = 6,6$ ) [Rohmana, 2009].
5. Luas kolam adalah  $15 m^2$  dengan kedalaman kolam 1,5 m [Rohmana, 2009]

## 2.2 Formulasi Model

Persamaan neraca massa dinamika nitrogen dapat dilihat pada persamaan (1) hingga (8) :

$$\frac{ds_{NH_3, wat}}{dt} = r_{ekskresi} - r_{volatilitas} - r_{fluks} - r_{water\_exchange} \quad (1)$$

$$\frac{ds_{NH_4, water}}{dt} = r_{amonifwat} - r_{phytopgrowth} - r_{fluks} - r_{nitrifwat} - r_{water\_exchange} \quad (2)$$

$$\frac{ds_{NO_3, water}}{dt} = r_{nitrifwat} - r_{water\_exchange} - r_{phytopgrowth} - r_{fluks} \quad (3)$$

$$\frac{ds_{NH_3, sed}}{dt} = r_{fluksNH_3} \quad (4)$$

$$\frac{ds_{NH_4, sed}}{dt} = r_{amonifsed} + r_{fluksNH_4} - r_{nitrifsed} \quad (5)$$

$$\frac{ds_{NO_3, sed}}{dt} = r_{nitrifsed} + r_{fluks} - r_{denitrif} \quad (6)$$

$$\frac{ds_{Norganik}}{dt} = r_{unean} - r_{amonifsed} - r_{water\_exchange} + r_{phytopmortalitas} \quad (7)$$

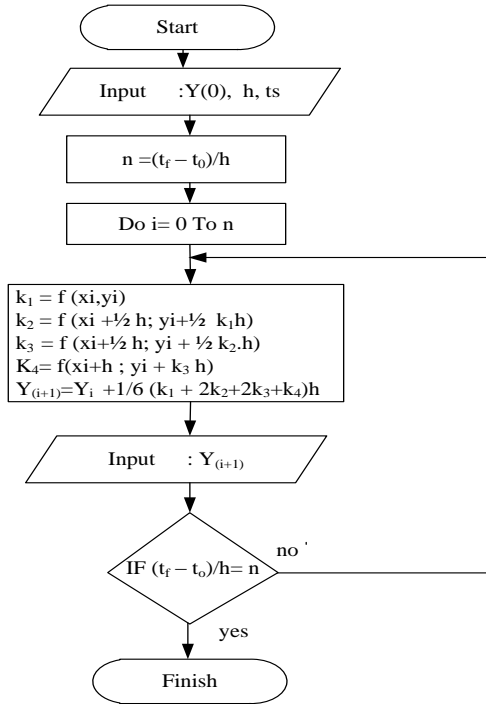
$$\frac{ds_{phytopbiomass}}{dt} = r_{phytopgrowth} - r_{phytopmortalitas} \quad (8)$$

Setelah model disusun, langkah selanjutnya adalah menganalisa nilai *degree of freedom* (DOF). Persamaan untuk menghitung nilai DOF dapat dilihat pada persamaan (9).

$$Number\ Degree\ Of\ Freedom(N_{DOF}) = Number\ Of\ variables - Number\ Of\ Equation \quad (9)$$

## 2.3 Metode Simulasi

Model digunakan untuk mempelajari perilaku suatu sistem. Langkah awal simulasi adalah menentukan metode penyelesaian model. Pada penelitian ini, penyelesaian model menggunakan metode Runge-kutta order 4. Algoritma umum metode Runge-kutta order 4 dalam penyelesaian model dapat dilihat pada Gambar 3. Model dinamik nitrogen pada penelitian ini terdiri dari persamaan-persamaan differensial biasa (PDB) orde 1. Persamaan differensial orde 1 ini diselesaikan secara simultan dengan pendekatan numerik. Metode Runge Kutta orde 4 dipilih karena metode ini merupakan metode penyelesaian persamaan differensial yang paling teliti [Luknanto, 2001]. Matlab memberikan kemudahan dalam penyelesaian metode Runge kutta orde 4 yaitu menggunakan fungsi Ode45.



**Gambar 3.** Algoritma Runge-Kutta Order 4 [Chapra *et al.*, 1998]

### 3 Hasil dan Pembahasan

Pemodelan dinamika nitrogen dilakukan untuk mengetahui profil konsentrasi siklus nitrogen pada kolam pembesaran lele, serta pengaruh manajemen kolam terhadap dinamika nitrogen. Pemodelan ini meliputi penurunan-penurunan neraca massa transformasi nitrogen beserta asumsi yang digunakan, serta aplikasi model tersebut dalam Matlab. Pada model dinamika nitrogen, hanya ditinjau dari perpindahan massa saja, sehingga aspek yang mempengaruhi ialah neraca massa. Fenomena perpindahan yang secara simultan ini mempengaruhi konsentrasi nitrogen di kolam lele selama masa pembesaran.

#### 3.1 Pemodelan Dinamika Nitrogen

Dinamika N-NH<sub>3</sub> pada air ( $S_{NH_3water}$ ) dipengaruhi oleh laju ekskresi, volatilitas dan fluks. Persamaan reaksi-reaksi yang mempengaruhi dinamika N-NH<sub>3</sub> pada air dapat dilihat pada persamaan (10) hingga (12).

$$r_{ekskresi} = a_{noms} (1 - a_{npu}) a_{nf} \% P.F \quad (10)$$

$$r_{volatilitas} = P_{volatilitas} S_{NH_3water} \quad (11)$$

$$r_{fluksnh3} = -P_{porosity} \left( P_{NH_3dif} \right) \left( \frac{S_{NH_3sed} - S_{NH_3wat}}{1000} \right) \left( \frac{1000}{24 P_{waterdepth}} \right) \quad (12)$$

Dinamika N-NH<sub>4</sub> pada air dipengaruhi oleh laju pertumbuhan fitoplankton, laju amonifikasi, laju nitrifikasi, laju *water exchange*, dan fluks. Persamaan reaksi-reaksi yang mempengaruhi dinamika N-NH<sub>4</sub> pada air dapat dilihat pada persamaan (13) hingga (17):

$$r_{fluksNH_4} = -P_{porosity} P_{NH_4dif} \left( \frac{S_{NH_4sed} - S_{NH_4wat}}{1000} \right) \left( \frac{1000}{24 P_{waterdepth}} \right) \quad (13)$$

$$r_{phytopgrowth} = P_{max\ growth} a_{light} a_{nutrilium} S_{phytobiom} \quad (14)$$

Pertumbuhan fitoplankton dipengaruhi oleh konstanta pertumbuhan fitoplankton, keterbatasan cahaya dan nutrisi. Keterbatasan cahaya dan nutrisi diperoleh dari persamaan Lambert Beer (15) dan Michael Menten (16).

$$a_{light} = \left( \frac{2.178 a_{phoper}}{a_{totlex} P_{waterdepth}} \right) \exp \left( -\frac{a_{decisor}}{P_{radop}} \exp(-a_{totlex} P_{waterdepth}) \right) - \exp \left( -\left( \frac{a_{decisor}}{P_{radop}} \right) \right) \quad (15)$$

$$a_{nutrilium} = \frac{S_{NH_3wat} + S_{NH_4wat} + S_{NO_3wat}}{(S_{NH_3wat} + S_{NH_4wat} + S_{NO_3wat}) + P_{kn}} \quad (16)$$

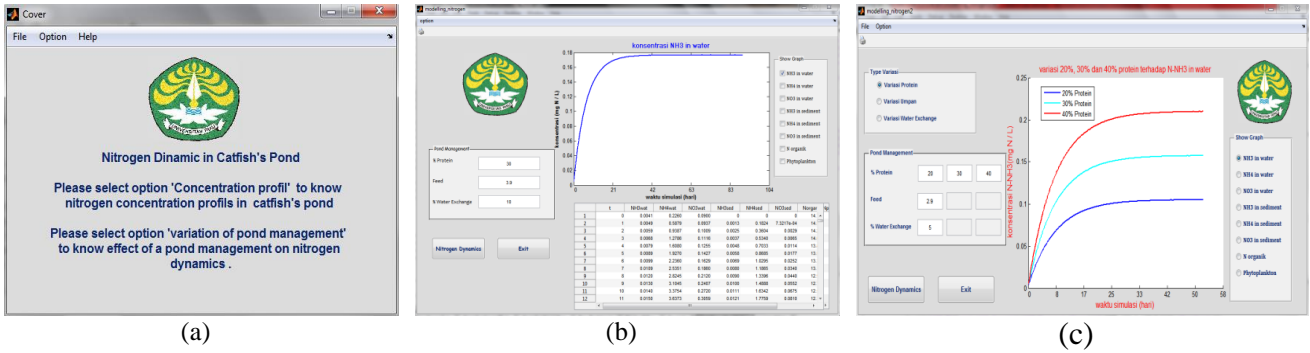
$$r_{amonifwat} = P_{amonifwat} S_{Norganik} \quad (17)$$

$$r_{nitriwat} = P_{nitriwat} \times S_{NH_4wat} \quad (18)$$

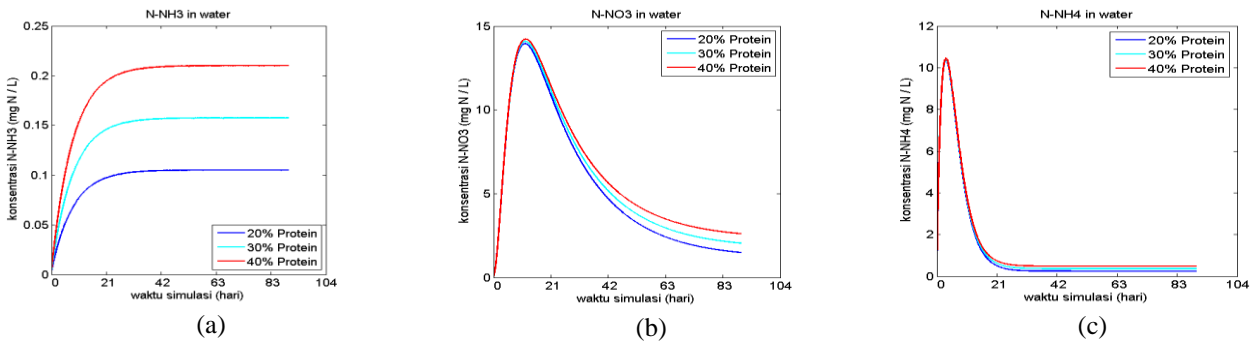
Dinamika N-NO<sub>3</sub> pada air dipengaruhi oleh laju pertumbuhan fitoplankton, laju laju nitrifikasi, laju pertukaran air, dan fluks. Persamaan reaksi-reaksi yang mempengaruhi dinamika N-NH<sub>4</sub> pada air dapat dilihat pada persamaan (14), (15), (16), dan (18).

$$r_{fluksNO_3} = -P_{porosity} P_{NO_3dif} \left( \frac{S_{NO_3sed} - S_{NO_3wat}}{1000} \right) \left( \frac{1000}{24 P_{waterdepth}} \right) \quad (19)$$

Dinamika N-NH<sub>3</sub> pada endapan hanya bergantung dari laju fluks N-NH<sub>3</sub> sehingga persamaannya:



Gambar 4. Tampilan program dinamika nitrogen (a) cover (b) profil konsentrasi dan (c) variasi manajemen kolam



Gambar 5 Pengaruh variasi protein terhadap konsentrasi (a) N-NH<sub>3</sub>, (b) N-NH<sub>4</sub>, (c) N-NO<sub>3</sub> pada air

$$\frac{d_{NH_3sed}}{dt} = -p_{porosity} P_{NH_3dif} \left( \frac{S_{NH_3sed} - S_{NH_3wat}}{1000} \right) \left( \frac{1000}{24 p_{waterdepth}} \right) \quad (20)$$

Dinamika N-NH<sub>4</sub> pada endapan dipengaruhi oleh laju amonifikasi, laju nitrifikasi dan fluks. Persamaan reaksi-reaksi yang mempengaruhi dinamika N-NH<sub>4</sub> pada endapan dapat dilihat pada persamaan (13),(21) dan (22).

$$r_{amonifsed} = P_{amonifsed} \cdot S_{organiksed} \quad (21)$$

$$r_{nitrifsed} = P_{nitrifsed} \times S_{NH_4sed} \quad (22)$$

Dinamika N-NO<sub>3</sub> pada endapan dipengaruhi oleh laju nitrifikasi, fluks dan denitrifikasi. Persamaan reaksi denitrifikasi dapat dilihat pada persamaan (23) :

$$r_{denitrifsed} = P_{denitrifsed} \cdot S_{NO_3sed} \quad (23)$$

Dinamika N organik dipengaruhi oleh laju pakan yang tidak termakan (*uneaten*), amonifikasi dan denitrifikasi. Persamaan reaksi yang mempengaruhi akumulasi nitrogen organik ialah sebagai berikut :

$$r_{unean} = a_{nf} (1 - p_{digpr}) \%protein F(1 - a_{uneaten}) \quad (24)$$

$$r_{phytomortalitas} = P_{mrphyto} \times S_{phytobiom} \quad (25)$$

Dinamika N fitoplankton dipengaruhi oleh laju pertumbuhan dan kematian fitoplankton, sehingga

dengan mensubstitusi persamaan (14), (15), (16) dan (24) persamaan dinamika N fitoplankton yang terbentuk dapat dilihat pada Pers. 26.

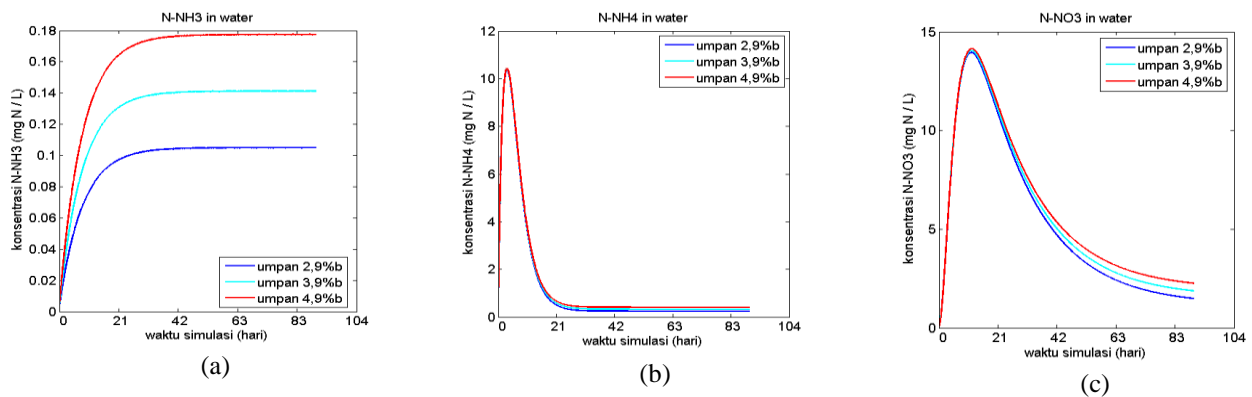
$$\frac{dS_{phytobiom}}{dt} = P_{max\ growth} a_{light} a_{nutritium} S_{phytobiom} - (P_{mrphyto} S_{phytobiom}) \quad (26)$$

### 3.2 Pemodelan dengan Aplikasi Matlab

Penyelesaian model menggunakan metode Runge Kutta Orde 4 dengan aplikasi fungsi ODE45 Matlab. Selanjutnya untuk menginputkan variasi didalam model, maka digunakan *Graphical User Interface* (GUI) Matlab.

Gambar 4a menampilkan halaman muka program dinamika nitrogen (*figure 1* GUI). Menu *option* figure ini menyediakan pilihan untuk melanjutkan ke figure konsentrasi profil (*figure 2*) atau variasi manajemen kolam (*figure 3*)

*Figure* konsentrasi profil (*figure 2*) digunakan untuk mengetahui profil konsentrasi pada kolam lele. *Figure* ini terdiri dari 3 buah *edit text* yang berfungsi untuk menginputkan variasi manajemen kolam yaitu nilai % protein, laju pengumpanan dan *water exchange*. Dapat dilihat pada Gambar 4b terdapat *axes* dan *table* yang dapat dijalankan dengan menekan tombol *pushbutton* Dinamika N. Selanjutnya terdapat pilihan pada *checkbox* untuk menentukan dinamika nitrogen yang akan diplot.



**Gambar 6** Pengaruh variasi laju pengumpanan terhadap konsentrasi (a)N-NH<sub>3</sub>, (b)N-NH<sub>4</sub>, (c) N- NO<sub>3</sub> pada air

Menu *option* pada *figure* konsentrasi profil menyediakan pilihan untuk kembali pada halaman muka atau beralih ke *figure* variasi manajemen kolam Gambar 4c menampilkan *figure* variasi manajemen kolam. Pada *figure* ini terdiri dari 3 *option*, yaitu variasi protein, laju pengumpanan dan *water exchange*.

### 3.3 Simulasi

#### 3.3.1 Pengaruh % protein

Protein merupakan sumber energi pertumbuhan ikan dengan peningkatan % protein 30% menjadi 35% berat. ikan pada saat panen juga meningkat hingga 12% [Jimenez-Montealegre *et al*, 2002]. Namun peningkatan % protein mengakibatkan dinamika nitrogen selama periode pemsaran juga meningkat. Perubahan % protein berpengaruh kecil terhadap dinamika nitrogen organik dan nitrogen fitoplankton sehingga grafik tidak dapat ditampilkan. Gambar 5a menunjukkan konsentrasi N-NH<sub>3</sub> air meningkat dari 0,09 mg N l<sup>-1</sup>, 0,14 mg N l<sup>-1</sup> hingga 0,19 mg N l<sup>-1</sup> pada protein 20%, 30% dan 40% selama 3 minggu pemsaran. Peningkatan konsentrasi nitrogen terjadi karena % protein berpengaruh langsung terhadap laju ekskresi ikan. Sehingga dengan meningkatnya % protein maka laju ekskresi ikan akan meningkat yang berpotensi meningkatkan akumulasi N-NH<sub>3</sub> pada air dan endapan. Hasil yang sama diperoleh dari Buttle *et al*. [1995] yang mempelajari pengaruh % protein terhadap laju amonia pada kolam *African Catfish*. Konsentrasi N-NH<sub>3</sub> pada pemberian protein 41% adalah 0,084 mgN/g/h dan meningkat hingga 0,0168 mgN/g/h pada 49% protein. Selanjutnya pemodelan nitrogen yang dilakukan Jimenez-Montealegre *et al*. [2002] juga memperoleh akumulasi TAN atau *Total Ammonia Nitrogen* pada kolam nila meningkat akibat pengaruh peningkatan % protein. Akumulasi TAN pada pengumpanan 25% protein ialah 0,5 mg N l<sup>-1</sup>, dengan menaikkan 10% dari % protein semula, akumulasi TAN meningkat menjadi 1,5 mgNl<sup>-1</sup>. Konsentrasi N-NH<sub>3</sub> pada endapan memiliki kecenderungan peningkatan yang sama dengan N-NH<sub>3</sub> pada air.

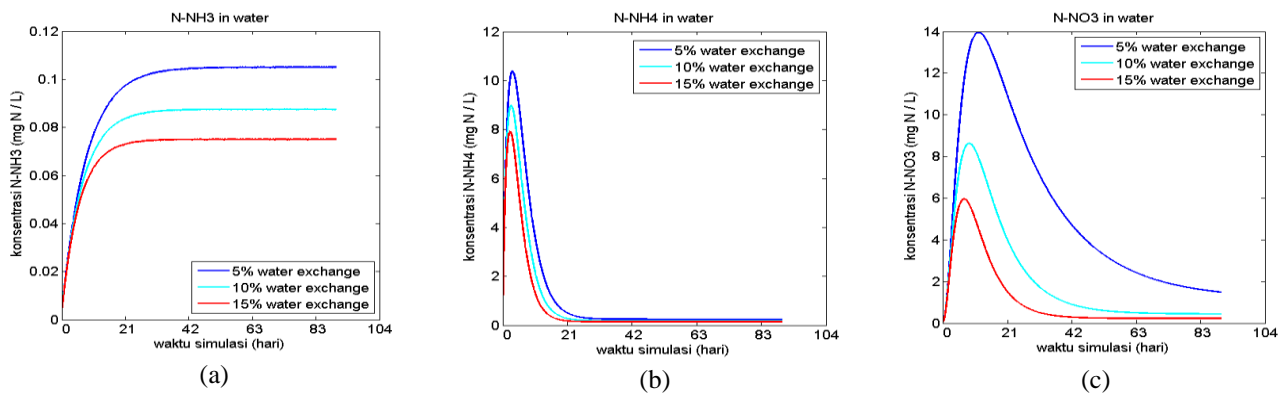
Peningkatan konsentrasi N-NH<sub>3</sub> akibat kenaikan % protein, juga mempengaruhi konsentrasi N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>

di air dan endapan. Gambar 5b menunjukkan konsentrasi N-NH<sub>4</sub> di air meningkat dari 0,38 mg N l<sup>-1</sup>, 0,443 mg N l<sup>-1</sup> hingga 0,50 pada protein 20%, 30% dan 40% selama 3 minggu pemsaran.

Sedangkan konsentrasi N-NH<sub>4</sub> di endapan memiliki kecenderungan peningkatan yang sama dengan N-NH<sub>4</sub> di air, yaitu meningkat dari 0,58 mg N l<sup>-1</sup>, 0,62 mg N l<sup>-1</sup> hingga 0,67 pada protein 20%, 30% dan Selanjutnya kenaikan konsentrasi N-NH<sub>4</sub> mengakibatkan konsentrasi N-NO<sub>3</sub> di air dan endapan meningkat. Peningkatan terjadi karena hasil konversi N-NH<sub>4</sub> menjadi N-NO<sub>3</sub> oleh bakteri nitrifikasi semakin banyak. Gambar 5c menunjukkan konsentrasi N-NO<sub>3</sub> di air meningkat dari 10,56 mg N l<sup>-1</sup>, 10,71 mg N l<sup>-1</sup> hingga 10,87 pada protein 20%, 30% dan 40% selama 3 minggu pemsaran. Sedangkan konsentrasi N-NO<sub>3</sub> di endapan meningkat dari 5,83 mg N l<sup>-1</sup>, 5,92 mg N l<sup>-1</sup> hingga 6,07 pada protein 20%, 30% dan 40% selama 3 minggu pemsaran.

#### 3.3.2 Pengaruh Laju Pengumpanan

Sama halnya dengan protein, laju pengumpanan juga mempengaruhi berat perolehan ikan saat panen. Namun peningkatan laju pengumpanan mengakibatkan akumulasi nitrogen selama periode pemsaran juga meningkat. Jika laju pengumpanan terlalu tinggi maka akan mengakibatkan hasil metabolisme atau ekresi ikan dan sisa pakan tidak termakan menjadi besar Sehingga dengan meningkatnya laju pemberian pakan maka akan meningkatkan akumulasi nitrogen di kolam dan endapan [Jimenez-Montealegre *et al.*, 2002]. Namun laju pengumpanan berpengaruh kecil terhadap dinamika nitrogen organik dan nitrogen fitoplankton sehingga grafik tidak dapat ditampilkan. Pada Gambar 6a akumulasi N-NH<sub>3</sub> meningkat dari 0,097 mg N l<sup>-1</sup>, 0,13 mg N l<sup>-1</sup> hingga 0,16 mg N l<sup>-1</sup> pada laju pengumpanan 2,9%, 3,9% dan 4,9% berat. Peningkatan konsentrasi N-NH<sub>3</sub> terjadi karena laju ekskresi ikan dipengaruhi oleh laju pengumpanan pakan. Hasil yang sama ditunjukkan oleh Pruszynski [2003] yang mempelajari pengaruh laju pengumpanan terhadap laju ekskresi *African Catfish*. Konsentrasi N-NH<sub>3</sub> meningkat dari 0,014 mg N/ g/h, 0,023 mg N/g/h hingga 0,0337 mg N/g/h pada laju



**Gambar 7** Pengaruh variasi *water exchange* terhadap konsentrasi (a) N-NH<sub>3</sub>, (b) N-NH<sub>4</sub>, (c) N-NO<sub>3</sub> pada air

pengumpanan 2%, 3% dan 4% berat. Peningkatan laju pengumpanan secara tidak langsung juga mempengaruhi akumulasi N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> di air dan endapan.

Gambar 6b menunjukkan akumulasi N-NH<sub>4</sub> di air meningkat dari 0,38 mg N/l, 0,423 mg N/l hingga 0,467 mg N/l pada laju pengumpanan 2,9%, 3,9% dan 4,9% berat selama 3 minggu pembesaran. Sedangkan akumulasi N-NH<sub>4</sub> di endapan memiliki kecenderungan peningkatan yang sama dengan N-NH<sub>4</sub> di air, yaitu meningkat dari 0,58 mg N/l, 0,614 mg N/l hingga 0,642 mg N/l pada laju pengumpanan 2,9%, 3,9% dan 4,9% berat selama 3 minggu pembesaran. Selanjutnya kenaikan konsentrasi N-NH<sub>4</sub> mengakibatkan konsentrasi N-NO<sub>3</sub> di air dan endapan meningkat. Peningkatan terjadi karena hasil konversi N-NH<sub>4</sub> menjadi N-NO<sub>3</sub> oleh bakteri nitrifikasi semakin banyak. Gambar 6c menunjukkan konsentrasi N-NO<sub>3</sub> di air meningkat dari 10,56 mg N l<sup>-1</sup>, 10,67 mg N l<sup>-1</sup> hingga 10,71 pada laju pengumpanan 2,9%, 3,9% dan 4,9% berat selama 3 minggu pembesaran. Sedangkan konsentrasi N-NO<sub>3</sub> di endapan memiliki kecenderungan peningkatan yang sama dengan N-NO<sub>3</sub> di air, yaitu meningkat dari 5,83 mg N l<sup>-1</sup>, 5,92 mg N l<sup>-1</sup> hingga 6,07 pada protein 20%, 30% dan 40% selama 3 minggu pembesaran.

### 3.3.3 Pengaruh laju *water exchange*

Treatment kolam dengan pertukaran air (*water exchange*) bertujuan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan (*evaporation*). Namun jumlah air yang hilang akibat penguapan dan perembesan tidak diperhitungkan didalam model. Penambahan air baru pada kolam menyebabkan konsentrasi nitrogen didalam kolam menjadi berkurang. *Water exchange* berpengaruh terhadap dinamika nitrogen di dalam kolam, tetapi pada nitrogen organik dan fitoplankton tidak berpengaruh besar.

Gambar 7a menunjukkan akumulasi N-NH<sub>3</sub> di air dan endapan mengalami penurunan akibat kenaikan *water exchange*. Akumulasi N-NH<sub>3</sub> turun dari 0,093 mg N/l, 0,0848 mg N/l hingga 0,0737 mg N/l pada pemberian laju *water exchange* 5%, 10% dan 15%. Kochba *et al.* [1994] memperoleh respon dinamika nitrogen turun akibat kenaikan *water exchange*.

Akumulasi nitrogen turun dari 6 mg N/l hingga 3,2 mg N/l pada *water exchange* 10% dan 20%

Pengaruh *water exchange* juga terlihat pada akumulasi N-NH<sub>4</sub> dan N-NO<sub>3</sub> di air dan endapan. Gambar 7b menunjukkan akumulasi N-NH<sub>4</sub> di air turun dari 0,267 mg N l<sup>-1</sup>, 0,1446 mg N l<sup>-1</sup> hingga 0,0933 mg N l<sup>-1</sup> pada pemberian laju *water exchange* 5%, 10% dan 15%. Sedangkan akumulasi N-NH<sub>4</sub> di endapan memiliki kecenderungan penurunan yang sama dengan N-NH<sub>4</sub> di air yaitu turun dari 0,413 mg N l<sup>-1</sup>, 0,33 mg N l<sup>-1</sup> hingga 0,275 mg N l<sup>-1</sup> pada pemberian laju *water exchange* 5%, 10% dan 15%. Selanjutnya Gambar 7c menunjukkan akumulasi N-NO<sub>3</sub> di air turun dari 9,574 mg N l<sup>-1</sup>, 3,0925 mg N l<sup>-1</sup> hingga 1,031 mg N l<sup>-1</sup> pada pemberian laju *water exchange* 5%, 10% dan 15%. Sedangkan akumulasi N-NO<sub>3</sub> di endapan memiliki kecenderungan penurunan yang sama dengan N-NH<sub>4</sub> di air, turun dari 5,294 mg N l<sup>-1</sup>, 4,56 mg N l<sup>-1</sup> hingga 4,00 mg N l<sup>-1</sup> pada pemberian laju *water exchange* 5%, 10% dan 15%

## 4. Kesimpulan

Model yang dikembangkan pada penelitian ini dapat memprediksi perubahan akumulasi nitrogen akibat pengaruh variasi manajemen kolam. Hasil simulasi menunjukkan semua variasi manajemen kolam menghasilkan akumulasi N-NH<sub>3</sub> di bawah batas toksisitas N-NH<sub>3</sub> yaitu < 0,6 mg N/l. Namun konsentrasi yang sebaiknya dijaga 0,02-0,08 mg N/l. Sehingga perlakuan manajemen yang direkomendasikan adalah pemberian 20% protein, 2,9% laju pengumpanan dan 15% *water exchange*.

## Daftar Pustaka

- Astawan, 2008, Lele Bantu Pertumbuhan Janin [internet], <http://cyberman.cbn.net.id>, [diakses 22 Februari 2012].
- Avnimelech, Y., Mozes, dan N., Webwr, B., 1992, Effects of Aeration and Mixing on Nitrogen and Organic Matter Transformations in Simulated Fish Ponds. *Aquacultur Eng.* 11, p 157-169.
- Buttle, L.G., Uglow, R.F., dan Cowx, I.G., 1995, Effect of dietary protein on the nitrogen excretion

and growth of the African catfish, *Clarias gariepinus*, *Aquat. living Resour.*, 8: 407-414.

Chapra, S.C., dan Canale R.P., 1998, *Numerical Methods for Engineers With Programming and Software Application*, Edisi ketiga, Singapore : McGraw-hill.

Hargreaves, J.A. dan S. Kucuk. 2001. Effects of diel un-ionized ammonia fluctuations on juvenile hybrid striped bass, channel catfish, and blue tilapia. *Aquaculture* 195:163-181.

Jimenez-Montealegre, R., Verdegem, M.C.J., van Dam, A., dan Verreth, J.A.J., 2002, Conceptualization and Validation of a Dynamic Model for the Simulation of Nitrogen Transformations and Fluxes in Fish Pond, *Ecological Modelling*, 147, 123-152.

Kochba, M., Diab, S., dan Avnimelech, Y., 1994. Modelling of nitrogen transformation in intensively aerated fish pond, *Aquaculture*, 120, 95-104.

Li, Y.H., dan Gregory, S., 1974, Diffusion of ions in seawater and in deep-sea sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 703-714.

Lovell, T. 1988. Nutrition and Feeding of Fish. *Van Nostrand Reinhold*, New York, USA.

Luknanto, D., 2001, Metoda Numerik. <http://luk.staff.ugm.ac.id/numerik/MetodaNumerik.pdf>, [diakses 29 Juni 2012]

Pruszyński, T., 2003, Effects of feeding on ammonium excretion and growth of the African catfish (*Clarias gariepinus*) fry, *Czech J. Anim. Sci.*, 48: 106-112

Rohmana, D., 2009, *Konversi Limbah Budidaya Ikan Lele, Clarias Sp Menjadi Biomassa Bakteri Heterotrof untuk Perbaikan Kualitas Air dan*

*Makanan Udang Galah, Macrobrachium rosenbergii*, Thesis Fakultas Perikanan IPB, Bogor [Tidak dipublikasikan].

### Simbol

$a_{light}$	= faktor keterbatasan cahaya (0-1)
$a_{nutrim}$	= faktor keterbatasan nutrisi (0-1)
$a_{phoper}$	= photoperiod (0-1)
$a_{totlex}$	= total light extinction
$S_{NH_3, wat}$	= konsentrasi N-NH <sub>3</sub> pada air (mg N l <sup>-1</sup> )
	= konsentrasi N-NH <sub>3</sub> pada endapan (mg N l <sup>-1</sup> )
$S_{NH_4, sed}$	= konsentrasi N-NH <sub>4</sub> pada endapan (mg N l <sup>-1</sup> )
$S_{NH_4, wat}$	= konsentrasi N-NH <sub>4</sub> pada air (mg N l <sup>-1</sup> )
$r_{fluksnh3}$	= laju fluks NN-H <sub>3</sub> (mg N l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
$r_{volatilitas}$	= laju penguapan N-NH <sub>3</sub> (mg N l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
$P_{digpr}$	= koefisien digestibility protein (%)
$P_{kn}$	= konstanta half saturation nitrogen (mg N l <sup>-1</sup> )
$P_{mrphyto}$	= laju kematian fitoplankton (h <sup>-1</sup> )
$P_{nitrised}$	= laju nitrifikasi pada endapan (h <sup>-1</sup> )
$P_{NH_3, dif}$	= konstanta difusi NH <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )
$P_{radop}$	= intensitas saturasi cahaya (0-1)
$P_{porosity}$	= konstanta porositas tanah (m)
$P_{volatilitas}$	= konstanta penguapan N-NH <sub>3</sub> (h <sup>-1</sup> )