

## PEMODELAN DINAMIK FITOPLANKTON MENGGUNAKAN MODEL NUTRIEN-FITOPLANKTON-ZOOPLANKTON

(Dynamic Modelling of Phytoplankton using Nutrient-Phytoplankton-Zooplankton Model)

NADIAH ABU BAKAR<sup>1</sup>, ROKIAH@ROZITA AHMAD<sup>2</sup>, AZMIN SHAM RAMBELY<sup>3</sup> &  
SHUHAIMI-OTHTMAN M.<sup>4</sup>

### ABSTRAK

Kadar pertumbuhan fitoplankton yang berlebihan boleh membawa impak yang negatif kepada ekosistem di Tasik Chini. Walau bagaimanapun, fitoplankton merupakan komponen penting dalam jaringan makanan akuatik. Oleh itu, kajian terhadap kepekatan fitoplankton dalam Tasik Chini adalah penting agar dapat memantau keadaan ekosistem tasik. Kajian ini bertujuan untuk membangunkan model matematik dinamik yang sesuai bagi fitoplankton di Tasik Chini dengan menggunakan model nutrien-fitoplankton-zooplankton, serta untuk mengenal pasti bahawa input nutrien adalah faktor kawalan bagi model ini. Persamaan pembezaan biasa (PPB) digunakan untuk simulasi model fitoplankton di Tasik Chini. Model fitoplankton ini terdiri daripada kepekatan nutrien ( $Nu$ ), fitoplankton ( $F$ ) dan zooplankton ( $Z$ ). Sistem PPB ini diselesaikan dengan kaedah Runge-Kutta-Fehlberg, menggunakan perisian Maple 13. Model  $NuFZ$  yang dibangunkan ini memilih input nutrien sebagai parameter bifurkasi, iaitu model ini dikawal oleh input nutrien. Hasil kajian menunjukkan bahawa kesan daripada peningkatan input nutrien ke dalam sistem tasik telah menyebabkan sistem menjadi tidak stabil dan kepadatan fitoplankton berubah-ubah. Model ini berguna untuk membantu dalam pemahaman populasi fitoplankton di Tasik Chini.

*Kata kunci:* Persamaan pembezaan biasa; model fitoplankton; Tasik Chini

### ABSTRACT

The widespread growth rate of phytoplankton can cause negative impact to the ecosystem in Tasik Chini. However, phytoplankton are important component in the aquatic food web. Thus, the study on the concentration of phytoplankton in Tasik Chini is essential in order to monitor the ecosystem of the lake. The aim of this study is to develop appropriate dynamic mathematical model of phytoplankton in Tasik Chini by using nutrient-phytoplankton-zooplankton model and to determine the nutrient input as the controlling factor in this system. Ordinary differential equations (ODE) are used to simulate the model of phytoplankton in Tasik Chini. The phytoplankton model is governed by the concentration of nutrient ( $Nu$ ), phytoplankton ( $F$ ) and zooplankton ( $Z$ ). The ODE system settled down by using Runge-Kutta-Fehlberg method with Maple 13.  $NuFZ$  model is developed by choosing nutrient input as bifurcation parameter, that is the model is nutrient controlled. The results show that the lake system becomes unstable and the phytoplankton density start to oscillate when nutrient input in the system is increasing. This model is useful in assisting the understanding of phytoplankton populations in Tasik Chini.

*Keywords:* Ordinary differential equations; phytoplankton model; Tasik Chini

## 1. Pengenalan

Tasik Chini merupakan tasik semula jadi yang kedua terbesar di Malaysia selepas Tasik Bera, dan kedua-duanya terletak di negeri Pahang, Semenanjung Malaysia. Selama lebih 30 tahun pelancong telah datang melawat Tasik Chini untuk memancing, berkayak, berkhemah, melawat penempatan orang asli dan penjelajahan hutan (Toriman *et al.* 2004). Shuhaimi-Othman dan

Lim (2006) menyatakan bahawa pada tahun 1995, satu baraj telah dibina di Kuala Sungai Chini untuk menampung air tasik bagi tujuan pelancongan. Empangan tersebut telah menyebabkan pengaliran air tasik menjadi kurang dinamik. Ekoran daripada pembinaan baraj di Sungai Chini, serta peningkatan aktiviti manusia seperti pertanian, perlombongan dan pembalakan, ekosistem semula jadi Tasik Chini mula menunjukkan tanda-tanda kemerosotan, seperti sebaran tumbuhan ekor kucing akuatik (*Cabomba furcata*), kemerosotan kualiti air, pengurangan tumbuhan teratai, pengurangan jumlah ikan serta peningkatan bakteria koliform dan *E. coli*. Ali (2008) menyatakan bahawa berdasarkan imej satelit yang dikeluarkan oleh Pusat Remote Sensing Negara (MACRES) keluasan tasik itu sudah mengecil hampir separuh dalam tempoh lima tahun lalu, manakala lebih dua puluh sungai pembekal juga didapati kering.

Fitoplankton merupakan penyumbang kepada bekalan oksigen di akuatik. Fitoplankton mengambil nutrien dan karbon dioksida daripada air dan menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis. Kebiasaannya, kadar pertumbuhan fitoplankton adalah perlahan, tetapi jika kandungan nutrien berlebihan ia boleh menjadi rebak. Semasa puncak rebak, kebanyakan fitoplankton akan mati dan tenggelam ke dasar tasik, dan seterusnya diurai oleh bakteria. Pada waktu malam pula, apabila proses fotosintesis ini berhenti, fitoplankton dan tumbuhan akuatik yang lain akan menghasilkan karbon dioksida dan menggunakan oksigen. Kesemua proses tersebut mengurangkan oksigen terlarut yang diperlukan oleh ikan-ikan dan organisma yang lain. Sebilangan kecil daripada spesies fitoplankton juga menghasilkan neurotoksin. Neurotoksin ini dipindahkan dalam jaring makanan yang boleh memberi kesan malah boleh membunuh bentuk hidupan yang lebih tinggi seperti zooplankton, ikan, burung dan juga manusia yang memakan haiwan ini secara langsung atau tidak langsung (Beachapedia 2012).

Antara kajian yang telah dijalankan mengenai model fitoplankton adalah Edwards dan Brindley (1999) yang mengkaji tabiat dinamik oleh model populasi plankton yang disimulasi oleh kepekatan nutrien, fitoplankton dan zooplankton pada lapisan bercampur dalam lautan. Model ini terdiri daripada tiga persamaan pembezaan biasa. Teknik analisis dan berangka digunakan dengan memfokuskan ke atas kewujudan dan sifat kestabilan serta ayunan tanpa daya (kitaran had). Ayunan ini terbit daripada bifurkasi Horf. Hasil kajian bagi diagram bifurkasi dibandingkan dengan kajian yang lepas, iaitu kematian zooplankton yang telah disimulasikan melalui fungsi kuadratik.

Edwards dan Yool (2000), menyatakan bahawa pemilihan sebutan kematian zooplankton boleh meninggalkan impak yang besar pada model dinamik plankton. Banyak perhatian yang telah diberikan bagi pilihan bentuk fungsian yang digunakan. Sebab utamanya adalah pengaruh daripada Steele dan Henderson (1992). Hasil kajian Edwards dan Yool (2000) adalah sama dan menguatkan lagi kesimpulan yang dibuat oleh Steele dan Henderson.

Kajian yang dibuat oleh Ruan (2001), menggunakan model interaksi plankton-nutrien dengan kedua-dua kitaran nutrien seketika dan kitaran nutrien tertunda. Sistem ini terdiri daripada tiga komponen, iaitu fitoplankton, zooplankton dan nutrien terlarut. Kestabilan tempatan bagi keseimbangan telah dianalisis. Keseimbangan positif telah kehilangan keseimbangannya apabila kepekatan input nutrien melebihi nilai genting dan bifurkasi Horf berlaku. Hal ini merangsang populasi plankton menjadi tidak seimbang.

Gentleman dan Neuheimer (2008) menerangkan bahawa tindak balas ragutan yang berlainan boleh memberikan pengaruh yang berbeza ke atas model dinamik, dan amalan-amalan biasa boleh membataskan model disebabkan oleh pencirian yang salah pada tingkah laku pemakanan. Didapati bahawa fungsi balasan memainkan peranan sebagai paksi dalam model plankton.

Jørgensen (2010) mengkaji model-model tasik yang telah diterbitkan dalam tempoh lima tahun sebelum ini, terutamanya dalam pemodelan ekologi. Kajian beliau menunjukkan bahawa struktur model dinamik dan gabungan antara hidrodinamik dan model ekologi telah

meningkat penggunaannya. Proses tambahan dalam kes kajian yang spesifik adalah penting, misalnya persaingan antara fitoplankton dan pertumbuhan macropytes atau cynobacteria dan pertumbuhan kupang. Beliau telah mencadangkan supaya kajian dijuruskan kepada proses pembangunan model. Changjin (2011) telah menggunakan pendekatan domain frekuensi. Beliau telah mengkaji model fitoplankton menggunakan tempoh lambatan. Tempoh lambatan telah digunakan sebagai parameter bifurkasi bagi model ini.

Pemodelan fitoplankton merupakan alat yang penting untuk membantu pemahaman terhadap populasi fitoplankton di dalam Tasik Chini. Objektif kajian ini adalah untuk membangunkan model dinamik bagi fitoplankton di Tasik Chini menggunakan model nutrien-fitoplankton-zooplankton (*NuFZ*). Model ini juga dibangunkan bagi mengenal pasti bahawa input nutrien adalah faktor kawalan bagi model ini.

## **2. Metodologi**

Bagi meningkatkan lagi pemahaman mengenai ekosistem di Tasik Chini, lawatan penyelidikan telah dibuat bersama-sama pasukan Pusat Penyelidikan Tasik Chini (PPTC) dari Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM). Pasukan PPTC telah menerangkan masalah yang dihadapi oleh Tasik Chini. Antaranya adalah mengenai aktiviti-aktiviti pembangunan untuk pertanian yang tidak mesra alam serta tumbuhan ekor kucing yang berlebihan yang telah membawa kesan negatif terhadap ekologi dan kepelbagaian biologi di tasik. Berdasarkan masalah ini, model *NuFZ* dibangunkan dengan memilih input nutrien sebagai parameter bifurkasi, iaitu model ini dikawal oleh input nutrien. Kaedah Runge-Kutta-Fehlberg digunakan bagi simulasi model yang diwakili oleh sistem PPB menggunakan perisian Maple 13.

### **2.1 Kawasan Kajian**

Tasik Chini terdiri daripada dua belas tasik yang dikenali sebagai laut oleh penduduk tempatan. Dua belas laut tersebut adalah Gumum, Pulau Balai, Cenahan, Tanjung Jerangking, Genting Teratai, Mempitih, Kenawar, Serodong, Melai, Batu Busuk, Labuh dan Jemberau. Kawasan lembangan Tasik Chini menerima jumlah hujan sebanyak 2192 mm dalam tahun 2004 dan 2260 mm dalam tahun 2005 (Shuhaimi-Othman *et al.* 2007). Tasik ini dikelilingi oleh bukit-bukit rendah dan tanah yang beralun. Kawasan Tasik Chini adalah dalam lingkungan 150 hingga 350 hektar, bergantung kepada perubahan musim dan 700 hektar paya air tawar serta hutan paya.

Isipadu air dalam Tasik Chini dianggarkan dalam lingkungan antara  $4 \times 10^6$  hingga  $7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Iklim Tasik Chini adalah iklim khatulistiwa yang tipikal di Semenanjung Malaysia, yang mempunyai ciri-ciri sederhana dalam purata hujan tahunan, suhu dan kelembapan (Shuhaimi-Othman *et al.* 2007).

### **2.2 Model Matematik**

Model fitoplankton ini terdiri daripada tiga persamaan pembezaan biasa peringkat pertama tak linear yang mewakili kepekatan nutrien (*Nu*), fitoplankton (*F*) dan zooplankton (*Z*), yang disimulasikan dalam model ini sebagai sistem PPB. Jadual 1 menunjukkan senarai parameter yang digunakan dalam kajian ini. Berdasarkan kajian model kitaran nutrien yang dibuat oleh Ruan (2001), model *NuFZ* yang dibangunkan ini memilih input nutrien,  $Nu^0$  sebagai parameter bifurkasi, iaitu model ini dikawal oleh input nutrien. Ruan (2001) telah memilih input nutrien

sebagai parameter bifurkasi dalam model plankton yang telah dibangunkannya. Oleh itu, model fitoplankton yang dibangunkan bagi kajian ini adalah seperti berikut:

$$\frac{dNu}{dt} = B(Nu^0 - Nu) + \left( -\frac{aNu}{b + Nu} + e_1 \right) F + \left( \frac{1cF^2}{\sigma^2 + F^2} + f_1 \right) Z, \quad (1)$$

$$\frac{dF}{dt} = \left( \frac{aNu}{b + Nu} - (e + B_1) \right) F - \frac{cF^2}{\sigma^2 + F^2} Z, \quad (2)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \left( (1-1) \frac{cF^2}{\sigma^2 + F^2} - (f + B_2) \right) Z. \quad (3)$$

Jadual 1: Senarai parameter yang digunakan

Simbol	Parameter	Nilai/Unit
$Nu$	Nutrien	$\text{gCm}^{-3}$
$F$	Fitoplankton	$\text{gCm}^{-3}$
$Z$	Zooplankton	$\text{gCm}^{-3}$
$a$	Kadar maksimum pengambilan nutrien oleh fitoplankton	$0.27 \text{ (hari}^{-1}\text{)*}$
$B$	Kadar kehilangan sistem	$0.1 \text{ (hari}^{-1}\text{)**}$
$B_1$	Kadar kehilangan fitoplankton	$0.1 \text{ (hari}^{-1}\text{)**}$
$B_2$	Kadar kehilangan zooplankton	$0.1 \text{ (hari}^{-1}\text{)**}$
$b$	Pemalar separa tepu bagi pengambilan nutrien oleh fitoplankton	$0.03 \text{ (gCm}^{-3}\text{)***}$
$c$	Kadar ragutan zooplankton maksimum	$0.6 \text{ (hari}^{-1}\text{)***}$
$e$	Kadar kematian fitoplankton	$0.05 \text{ (hari}^{-1}\text{)*****}$
$e_1$	Pecahan fitoplankton yang mati dikitar semula ke dalam nutrien	$0.08\text{**}$
$f$	Kadar kematian zooplankton	$0.1 \text{ (hari}^{-1}\text{)**}$
$f_1$	Pecahan zooplankton yang mati dikitar semula ke dalam nutrien	$0.05\text{**}$
$t$	Hari	
$Nu^0$	Kepekatan input nutrien	$0.1 \text{ (gCm}^{-3}\text{)***}$
$\ell$	Pecahan kitaran nutrien	$0.45\text{****}$
$\sigma$	Pekali separa tepu ragutan zooplankton	$0.035 \text{ (gCm}^{-3}\text{)***}$

Sumber: \*Cropp *et al.* (2007), \*\*Ruan (2001), \*\*\*Edwards dan Brindley (1999), \*\*\*\*Yuntao (2006) dan \*\*\*\*\*USEPA (1985)

Bagi membangunkan model fitoplankton yang tepat, kepekatan nutrien dan zooplankton, serta ekologi di sesebuah tasik juga perlu diambil kira. Simbol negatif (–) pada persamaan (4), (5) dan (6) mewakili penyebab kepekatan nutrien, fitoplankton dan zooplankton berkurang, manakala simbol positif (+) pada persamaan (4), (5) dan (6) adalah sebaliknya. Berdasarkan kajian Ruan (2001), model ini menggunakan parameter  $B$ ,  $B_1$  dan  $B_2$  sebagai kadar kehilangan (washout) komponen biotik daripada sistem. Sebagai contoh, kadar kehilangan ini disebabkan oleh resapan, penuaian, timbusan dalam endapan yang dalam, kehilangan metabolik larut atau

sel yang tenggelam. Oleh itu, kadar kehilangan menyebabkan kepekatan nutrien, fitoplankton dan zooplankton berkurang (– kadar kehilangan nutrien dalam sistem, – kadar kehilangan fitoplankton dan – kadar kehilangan zooplankton).

Sebutan  $BNu^0$  mewakili kadar pembekalan nutrien dalam sistem ini ( $Nu^0$  adalah input nutrien). Nilai bagi  $Nu^0$  yang digunakan dalam model ini ialah  $0.1 \text{ gCm}^{-3}$ , dengan julat  $0.1 \text{ gCm}^{-3}$  hingga  $2.0 \text{ gCm}^{-3}$ . Edwards dan Brindley (1999) menyatakan bahawa bagi memperoleh julat yang realistik, mereka telah mengambil nilai  $Nu^0$  daripada dua belas model. Dua belas model tersebut adalah daripada kajian Steele dan Frost (1977), Evans dan Parslow (1985), Frost (1987), Hofmann dan Ambler (1988), Wroblewski (1989), Fasham *et al.* (1990), Taylor dan Joint (1990), Steele dan Henderson (1992; 1993), Fasham (1993), Armstrong (1994) serta Henderson dan Steele (1995).

Bagi pembangunan model kepekatan nutrien, nutrien yang diambil oleh fitoplankton memberikan nilai negatif (– pengambilan nutrien) kerana apabila nutrien diambil oleh fitoplankton, kepekatan nutrien akan berkurang. Pengambilan nutrien oleh fitoplankton pula menyumbang kepada kepekatan fitoplankton, memberikan nilai positif (+ pengambilan nutrien

oleh fitoplankton). Fungsi Michaelis-Menten, iaitu  $\frac{cF^2}{\sigma^2 + F^2}$  ( $b$  adalah pemalar separa tepu bagi pengambilan nutrien oleh fitoplankton) digunakan bagi mewakili fungsi bagi pengambilan nutrien oleh fitoplankton (Wroblewski & Richman 1987).

Fungsi Holling Jenis III, iaitu  $\frac{cF^2}{\sigma^2 + F^2}$ , yang mewakili ragutan oleh zooplankton digunakan dalam model ini (Edwards & Brindley 1999). Ragutan oleh zooplankton menyebabkan kepekatan fitoplankton berkurang (– ragutan oleh zooplankton). Yuntao (2006), menyatakan bahawa kitaran nutrien adalah berkadar terhadap ragutan zooplankton kerana fitoplankton tidak sepenuhnya diragut. Pecahan fitoplankton yang digunakan oleh zooplankton, dikitar semula sebagai nutrien,  $\ell$  menyumbang kepada kepekatan nutrien (+ kitaran nutrien oleh zooplankton). Yuntao (2006) menggunakan baki pecahan  $(1 - \alpha_1 - \alpha_2)$  bagi mewakili penyumbangan kepada pertumbuhan zooplankton, iaitu  $\alpha_1$  mewakili pecahan kitaran nitrogen dan  $\alpha_2$  mewakili pecahan nitrogen bukan organik. Dalam model ini, baki bagi pecahan  $(1 - \ell)$ , iaitu  $\ell$  adalah pecahan kitaran nutrien digunakan bagi mewakili penyumbangan kepada pertumbuhan zooplankton dalam model zooplankton (+ pertumbuhan zooplankton).

Sebutan  $e^F$  mewakili kadar fitoplankton yang mati, iaitu ia menyebabkan kepekatan fitoplankton berkurang (– fitoplankton yang mati). Sebutan  $fZ$  pula mewakili kadar zooplankton yang mati, iaitu ia menyebabkan kepekatan zooplankton berkurang (– zooplankton yang mati). Dalam model ini, diandaikan bahawa pecahan fitoplankton yang mati ( $e_1$ ) dan pecahan zooplankton yang mati ( $f_1$ ), dikitar semula sebagai nutrien (Ruan 2001). Oleh itu, sebutan  $f_1F$  dan  $e_1Z$  menyumbang kepada kepekatan nutrien (+ pecahan fitoplankton yang mati dan + pecahan zooplankton yang mati). Formulasi model ini adalah seperti persamaan (4), (5) dan (6).

$$\frac{dNu}{dt} = \text{kadar perubahan kepekatan nutrien,}$$

Kadar perubahan kepekatan nutrien = input nutrien – kadar kehilangan nutrien dalam sistem – pengambilan nutrien + pecahan fitoplankton yang mati + kitaran nutrien oleh zooplankton + pecahan zooplankton yang mati, (4)

$$\frac{dF}{dt} = \text{kadar perubahan kepekatan fitoplankton,}$$

Kadar perubahan kepekatan fitoplankton = pengambilan nutrien – fitoplankton yang mati – kadar kehilangan fitoplankton – ragutan oleh zooplankton, (5)

$$\frac{dZ}{dt} = \text{kadar perubahan kepekatan zooplankton,}$$

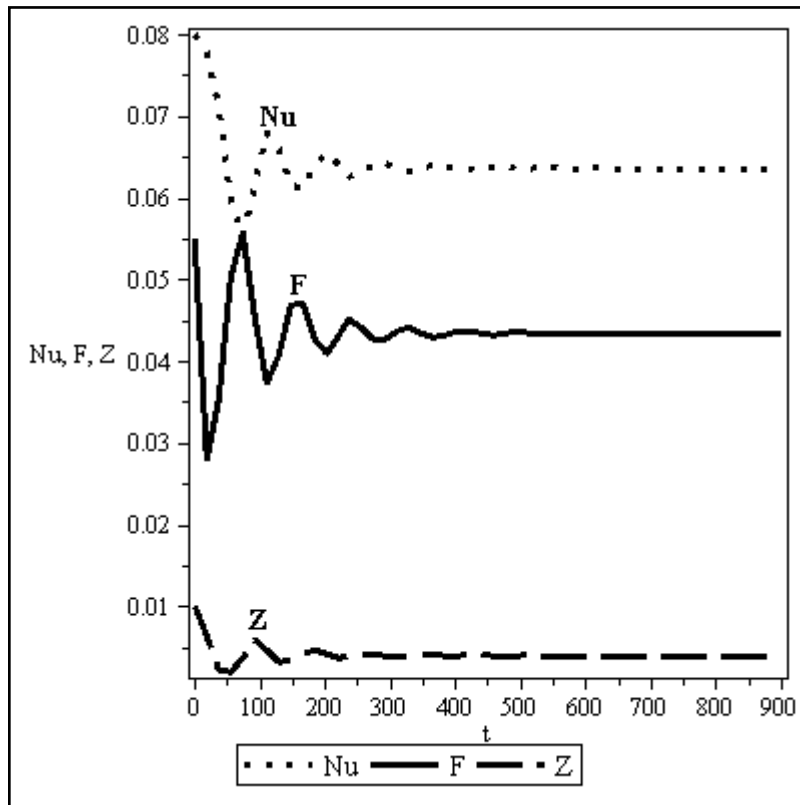
Kadar perubahan kepekatan zooplankton = pertumbuhan zooplankton – zooplankton yang mati – kadar kehilangan zooplankton. (6)

Simulasi model fitoplankton ini diselesaikan dengan menggunakan kaedah Runge-Kutta-Fehlberg dalam dua mod, iaitu keadaan mantap dan keadaan tak mantap. Dengan menggunakan penyelesaian keadaan mantap, nilai sistem model pada keadaan yang seimbang diperoleh

apabila  $\frac{dNu}{dt} = \frac{dF}{dt} = \frac{dZ}{dt} = 0$ . Oleh yang demikian, nilai sistem model pada keadaan mantap dalam unit gC/m<sup>3</sup> bagi model ini ialah  $(Nu, F, Z) = (0.062, 0.042, 0.0032)$ .

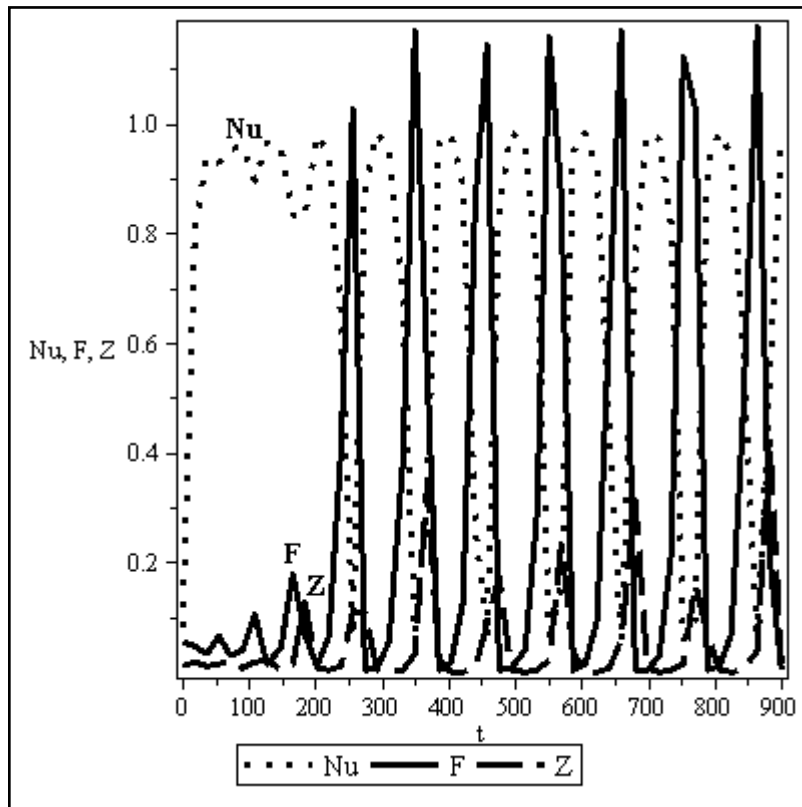
### 3. Hasil dan Perbincangan

Rajah 1 menunjukkan kepekatan nutrien, fitoplankton dan zooplankton berada dalam keadaan mantap apabila tiada perubahan pada parameter  $Nu^0$  walaupun dengan menggunakan syarat awal yang lain iaitu  $(Nu, F, Z) = (0.08, 0.055, 0.01)$ . Ini juga menunjukkan bahawa apabila nilai  $(Nu, F, Z) > 0$ , sistem berada dalam keadaan mantap. Dalam simulasi ini, kepekatan fitoplankton dan nutrien menurun dengan mendadak, manakala kepekatan zooplankton pula menurun sedikit sahaja pada permulaannya. Kepekatan fitoplankton menurun disebabkan oleh kehadiran nutrien yang terhad dan ragutan oleh zooplankton, sehingga akhirnya berada pada keadaan mantap. Kepekatan zooplankton dan nutrien juga lama-kelamaan berada pada keadaan mantap dan akhirnya sistem berada dalam keadaan mantap pada nilai  $(Nu, F, Z) = (0.062, 0.042, 0.0032)$ .



Rajah 1: Kepekatan nutrisi, fitoplankton dan zooplankton selama tiga tahun, iaitu  $t = 900$  hari, apabila  $Nu^0 = 0.1$  sistem berada dalam keadaan mantap

Perubahan pada parameter boleh mengubah model dinamik dan menyebabkan ayunan pada sistem. Dalam kajian ini, input nutrisi,  $Nu^0$  dipilih sebagai parameter bifurkasi, iaitu model ini dikawal oleh input nutrisi. Pemilihan ini berdasarkan kajian Ruan (2001) yang memilih input nutrisi sebagai parameter bifurkasi. Apabila kepekatan input nutrisi dalam sistem bertambah, ketiga-tiga komponen nutrisi, fitoplankton dan zooplankton berubah-ubah. Rajah 2 menunjukkan bahawa kesan daripada penambahan pada kepekatan input nutrisi,  $Nu^0$  ke dalam sistem, iaitu  $Nu^0 = 1.0 \text{ gC/m}^3$ , telah menyebabkan sistem berada dalam keadaan tak mantap pada nilai syarat awal model yang sama dengan Rajah 1, iaitu  $(Nu, F, Z) = (0.08, 0.055, 0.01)$ . Apabila kepekatan nutrisi meningkat, kepekatan fitoplankton juga meningkat, malahan, kepekatan zooplankton juga turut meningkat yang disebabkan oleh bilangan fitoplankton yang meningkat, iaitu sumber makanan bagi zooplankton. Peningkatan pada populasi fitoplankton menyebabkan penurunan pada kepekatan nutrisi kerana lebih banyak nutrisi yang diambil dan diperlukan. Perkara ini turut memberi kesan pada kepekatan fitoplankton dan zooplankton yang kembali menurun apabila kepekatan nutrisi menurun. Ini mengakibatkan ayunan terbentuk pada ketiga-tiga komponen nutrisi, fitoplankton dan zooplankton. Oleh yang demikian, hasil kajian menunjukkan bahawa kesan daripada peningkatan kepekatan input nutrisi ke dalam sistem telah menyebabkan sistem menjadi tidak stabil dan populasi fitoplankton berayun.



Rajah 2: Kepekatan nutrien, fitoplankton dan zooplankton selama tiga tahun, iaitu  $t = 900$  hari, apabila  $Nu^0 = 1.0$  sistem berada dalam keadaan tak mantap

#### 4. Kesimpulan

Hasil kajian menunjukkan bahawa model dinamik bagi fitoplankton di Tasik Chini menggunakan model  $NuFZ$  berjaya dibangunkan.. Kajian ini juga turut berhasil mengenal pasti bahawa input nutrien adalah faktor kawalan bagi model ini. Selain itu, didapati bahawa sistem yang berada dalam keadaan mantap telah hilang kestabilannya apabila berlaku peningkatan dalam nilai input nutrien. Ini menunjukkan bahawa jumlah kepekatan nutrien yang memasuki sistem dapat mempengaruhi kepekatan fitoplankton kerana ia memainkan peranan penting dalam pertumbuhan dan kematian fitoplankton. Dapat disimpulkan bahawa model fitoplankton ini amat berguna untuk membantu dalam pemahaman populasi fitoplankton di dalam ekosistem di Tasik Chini.

#### Penghargaan

Penghargaan kami kepada pasukan Pusat Penyelidikan Tasik Chini (PPTC) dari Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), di atas segala kerjasama yang diberikan.



## Rujukan

- Ali H. 2008. Pemodelan persamaan kadar kepekatan oksigen terlarut dan permintaan oksigen biokimia di Tasik Chini menggunakan kaedah tersirat Crank-Nicolson:1-Matra. Tesis S.Sn, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Armstrong R.A. 1994. Grazing limitation and nutrient limitation in marine ecosystems: Steady state solutions of an ecosystem model with multiple food chains. *Limnol. Oceanogr* **39**: 597-608.
- Beachapedia. 2012. Red tides and harmful algal blooms. [http://www.beachapedia.org/Red\\_Tides\\_and\\_Harmful\\_Algal\\_Blooms](http://www.beachapedia.org/Red_Tides_and_Harmful_Algal_Blooms) (15 Februari 2012).
- Changjin X. 2011. Bifurcations for a phytoplankton model with time delay. *Electronic Journal of Differential Equations* **2011**(148): 1-8.
- Cropp R., Norbury J. & Braddock R. 2007. Dimethylsulphide, clouds, and phytoplankton: insights from a simple plankton ecosystem feedback model. *Global Biogeochemical Cycles* **21**, 17 pp.
- Edwards A.M. & Brindley J. 1999. Zooplankton mortality and the dynamical behaviour of plankton population models. *Bulletin of Mathematical Biology* **61**(2): 303-339.
- Edwards A.M. & Yool A. 2000. The role of higher predation in plankton population models. *Journal of Plankton Research* **22**(6): 1085-1112.
- Evans G.T. & Parslow J.S. 1985. A model of annual plankton cycles. *Biol. Oceanogr* **3**: 327-347.
- Fasham M.J.R., Ducklow H.W. & McKelvie S.M. 1990. A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J. Mar. Res.* **48**: 591-639.
- Fasham M.J.R. 1993. Modelling the marine biota. Dlm. Heimann M. (pnyt.). *The Global Carbon Cycle*: hlm. 457-504. Berlin: Springer-Verlag.
- Frost B.W. 1987. Grazing control of phytoplankton stock in the open subarctic Pacific Ocean: a model assessing the role of mesozooplankton, particularly the large calanoid copepods *Neocalanus* spp. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **39**: 49-68.
- Gentleman W.C. & Neuheimer A.B. 2008. Functional responses and ecosystem dynamics: how clearance rates explain the influence of satiation, food-limitation and acclimation. *Journal of Plankton Research* **30**(11): 1215-1231.
- Henderson E.W. & Steele J.H. 1995. Comparing models and observations of shelf plankton. *J. Plankton Res.* **17**: 1679-1692.
- Hofmann E.E. & Ambler J.W. 1988. Plankton dynamics on the outer Southeastern U.S. continental shelf. Part II: A time-dependent biological model. *J. Mar. Res.* **46**: 883-917.
- Jørgensen S.E. 2010. A review of recent developments in lake modelling. *Ecological Modelling* **221**: 689-692.
- Ruan S. 2001. Oscillations in plankton models with nutrient recycling. *Journal of Theoretical Biology* **208**: 15-26.
- Shuhaimi-Othman M. & Lim E.C. 2006. Keadaan eutrofikasi di Tasik Chini, Pahang. *Sains Malaysiana* **35**(2): 29-34.
- Shuhaimi-Othman M., Lim E.C. & Idris M. 2007. Water quality changes in Chini Lake, Pahang, West Malaysia. *Environment Monitoring Assessment* **131**: 279-292.
- Steele J.H. & Frost B.W. 1977. The structure of plankton communities. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., Ser. B* **280**: 485-534.
- Steele J.H. & Henderson E.W. 1992. The role of predation in plankton models. *J. Plankton Res.* **14**: 157-172.
- Steele J.H. & Henderson E.W. 1993. The significance of interannual variability. Dlm. Evans G.T. & Fasham M.J.R. (pnyt.). *Towards a Model of Ocean Biogeochemical Processes*: hlm. 237-260. Berlin: Springer-Verlag.
- Taylor A.H. & Joint I. 1990. A steady-state analysis of the 'microbial loop' in stratified systems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **59**: 1-17.
- Toriman M.E., Gasim M.B. & Juahir H. 2004. Application of artificial neural network in water level-discharge relationship of Sg. Gumum-Tasik Chini, Pahang. Dlm. Idris M., Hussin K. & Mohamad A.L. (pnyt.). *Sumber Asli Tasik Chini*: hlm. 89-105. Bangi: Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia.
- USEPA. 1985. *Rates, Constant, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling*. 2<sup>nd</sup> Ed. Athens: USEPA.
- Wroblewski J.S. & Richman J.G. 1987. The non-linear response of plankton to wind mixing events-implications for survival of larval northern anchovy. *Journal of Plankton Research* **9**: 103-123.
- Wroblewski J.S. 1989. A model of the spring bloom in the North Atlantic and its impact on ocean optics. *Limnol. Oceanogr.* **34**: 1563-1571.
- Yuntao Z. 2006. A nutrient-phytoplankton-zooplankton model for classifying estuaries based on susceptibility to nitrogen loads. Tesis S. Sn, University of Michigan.

*Pusat Pengajian Sains Matematik  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi  
Selangor DE, MALAYSIA  
Mel-e: nhab188@yahoo.com\*, rozy@ukm.my, asr@ukm.my*

*Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi  
Selangor DE, MALAYSIA  
Mel-e: shuhaimi@ukm.my*

---

\* Penulis untuk dihubungi