

PEMODELAN INPUT PENCEMAR ORGANIK TERHADAP PERTUMBUHAN FITOPLANKTON DI TELUK JAKARTA

Murdahayu Makmur

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

ABSTRAK

PEMODELAN INPUT PENCEMAR ORGANIK TERHADAP PERTUMBUHAN FITOPLANKTON DI TELUK JAKARTA. Semakin meningkatnya ledakan fitoplankton di perairan laut belakangan ini, salah satunya disebabkan karena pengaruh zat antropogenik yang semakin banyak masuk ke dalam perairan, termasuk zat pencemar organik yang mengandung pospat, nitrat dan silikat. Dampak ledakan fitoplankton akan menyebabkan terganggunya kesehatan masyarakat dan secara ekonomi akan mengganggu perikanan laut. Dampak ekologi lain adalah berubahnya habitat perairan laut dan merusak tatanan pesisir pantai. Untuk itu, dibutuhkan suatu model prediksi yang dapat memperkirakan kejadian ledakan fitoplankton untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan. Dengan menggunakan perangkat lunak Powersim, model hubungan antara jumlah input organik dan jumlah fitoplankton di Teluk Jakarta dapat dimodelkan dan disimulasi dalam suatu model dinamik. Didapatkan bahwa ada pengaruh yang cukup kuat antara jumlah pencemar organik, yang diwakili oleh jumlah pospat, nitrat dan silikat terhadap pertumbuhan fitoplankton dari kelompok diatom dan dinoflagelata. Model yang dihasilkan dapat dijadikan dasar kebijakan pengaturan pembuangan limbah organik ke badan air sehingga ledakan fitoplankton dapat diminimalkan.

PENDAHULUAN

Tercemarnya lingkungan perairan laut dapat terjadi karena kontaminasi bahan kimia beracun seperti logam berat dan *Persistent Organic Pollutants (POPs)*, namun ada bentuk pencemaran laut lain karena fenomena *Harmful Alga Blooms (HABs)* yang disebut dengan istilah ledakan alga atau fitoplankton. Kejadian ledakan fitoplankton yang semakin meningkat belakangan ini disebabkan karena pengaruh zat antropogenik yang semakin banyak masuk ke perairan laut dan perubahan variabel iklim dapat menjadi kontributor yang cukup penting dalam memicu ledakan fitoplankton. Disadari atau tidak, perubahan variabel iklim telah terjadi dan akan terus berlanjut seperti pemanasan global yang menyebabkan mencairnya es di kutub dan berdampak sangat banyak terhadap lingkungan hidup. (Dale et. Al 2006). Dengan adanya pemanasan global tersebut akan menaikkan suhu air laut, terjadinya upwelling yang bisa menaikkan zat organik dari level bawah ke permukaan air laut, termasuk menyebabkan peningkatan erosi dan presipitasi (hujan dan salju) yang berpotensi membawa zat organik dari darat ke perairan laut sehingga memicu pertumbuhan fitoplankton yang cepat. Karena parameter utama pertumbuhan fitoplankton adalah temperatur air, cahaya dan zat organik, maka dengan adanya pemanasan global, akan memicu pertumbuhan fitoplankton.

Dampak ledakan fitoplankton antara lain menyebabkan terganggunya kesehatan masyarakat dan secara ekonomi mengganggu perikanan laut. Dampak ekologi lain adalah berubahnya habitat perairan laut dan merusak tatanan pesisir pantai. Ledakan fitoplankton selain menyebabkan kematian ikan karena jumlah populasi yang sangat padat dapat membunuh ikan dan invertebrata karena dampak sekunder kekurangan oksigen, tetapi juga menghasilkan toksin yang apabila masuk

ke rantai makanan akan berbahaya untuk kesehatan manusia yang mengkonsumsinya (Kim, et al. 2006).

Kebutuhan akan suatu teknik yang dapat memprediksi ledakan fitoplankton untuk saat ini semakin tinggi dan diharapkan dapat melindungi kesehatan masyarakat, mempertahankan sumber daya perikanan laut dan terjaganya ekosistem perairan laut dan juga sebagai dasar strategi manajemen yang akan bermanfaat bagi berbagai pihak. Penelitian ini mencoba memodelkan pertumbuhan fitoplankton di perairan laut dengan karakteristik perairan laut dan input zat organik dari darat yang dinamis, dengan menggunakan perangkat lunak Powersim dan diharapkan, dapat memprediksi akan terjadinya ledakan fitoplankton.

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Pengayaan nutrisi di badan air menjadi masalah yang kompleks dan hal ini akan memicu perubahan habitat secara global termasuk ekspansi spesies fitoplankton berbahaya baik secara geografi ataupun temporer. Walaupun pengayaan zat organik (selanjutnya disebut dengan nutrisi) akan menjadi penyebab meningkatnya jumlah fitoplankton berbahaya di berbagai tempat, namun Hasil-hasil penelitian menyebutkan bahwa, pemicu kejadian HABs adalah kombinasi atau gabungan dari perubahan beberapa parameter di suatu badan air termasuk nutrisi, namun pada perairan temperata, pemicu utama dari alam adalah cahaya matahari dan temperatur, sedangkan pada perairan tropis, karena kondisi cahaya dan temperatur hampir merata sepanjang tahun maka faktor pengayaan nutrisi di suatu badan air menjadi faktor utama.

Untuk kasus di Indonesia kejadian HABs sudah sering terjadi. Ledakan fitoplankton rutin terjadi di perairan Teluk Jakarta sejak tahun 1970-an. Cakupan luas yang terjadi pada tahun 1988 hanya 5 kilometer (km) menjadi 12 km pada tahun 1992. Tahun 2000-an, ledakan fitoplankton mencakup hampir seluruh kawasan teluk Jakarta (Harian Kompas, 2006). Timbulnya HABs di teluk Jakarta tidak lepas dari buruknya kualitas perairan di wilayah tersebut. Walaupun Indonesia telah mempunyai berbagai regulasi baik tingkat pusat maupun daerah yang mengatur tentang baku mutu air buangan, namun berbagai kontaminan termasuk nutrisi yang memicu terjadinya HABs tetap memasuki perairan pesisir. Teluk Jakarta menjadi tempat penampungan terakhir dari limbah yang di bawa oleh 17 sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta dan ketika hujan turun, maka akan terjadi pengeolontoran limbah dari bagian hulu sungai.

Diperairan estuaria dan perairan pantai pada umumnya kelompok diatom selalu mendominasi komposisi fitoplankton. Hal ini disebabkan karena kemampuan reproduksi diatom yang jauh lebih besar dibandingkan dengan jenis fitoplankton yang lain. Pada saat peningkatan konsentrasi nutrisi, diatom mampu melakukan pembelahan mitosis sebanyak 3 kali dalam 24 jam dibandingkan dengan dinoflagelata yang hanya mampu membelah 1 kali dalam 24 jam (Praseno dan Sugestiningih 2000). Dengan demikian, diatom selalu lebih cepat memanfaatkan pasokan nutrisi dari darat dibandingkan dengan dinoflagelata namun demikian dinoflagelata mampu memanfaatkan zat hara dengan konsentrasi yang sedikit.

Pada teluk Jakarta, komposisi diatom selalu dijumpai dengan persentasi diatas 90% dan chaetoceros merupakan jenis yang dominan selain skeletonema. Kelompok dinoflagelata yang kedua setelah diatom adalah dinoflagelata (Praseno dan Sugestiningih 2000). Separuh dari jenis ini tidak mempunyai pigmen untuk melakukan fotosintesa sehingga untuk hidup perlu memakan zat organik yang tersedia. Contohnya adalah *Noctiluca scintilans* yang memakan diatom dan di Teluk Jakarta, ledakan noctiluca terjadi setelah blooming diatom.

Pada musim hujan, banyak dialirkan nutrisi dari darat yang merangsang pertumbuhan diatom dan fitoplankton ototrop lainnya, yang kemudian diikuti oleh noctiluca scintilans. Menjelang musim kemarau, pasokan zat hara dari darat berkurang sehingga diatom juga tidak berkembang dan jenis noctiluca juga menghilang dari

perairan karena kekurangan makanan. Model suksesi seperti ini umum terjadi pada perairan estuaria yang mengalami eutrofikasi dari darat.

Dari studi intensif yang dilakukan pada tahun 2000- 2001 (Damar, 2004) di kawasan pesisir Teluk Jakarta, saat musim hujan estimasi beban bahan organik yang masuk ke perairan Teluk Jakarta meningkat empat kali lipat dibandingkan musim kemarau. Saat musim hujan, estimasi beban nitrogen anorganik terlarut (DIN) yang masuk ke Teluk Jakarta dari 13 sungai adalah 3.383 ton DIN per bulan, sementara pada musim kemarau hanya 831 ton DIN per bulan. Akibat dari perbedaan kandungan nutrisi tersebut tercipta perbedaan rataan biomassa fitoplankton antara musim penghujan dan kemarau, masing-masing 17,07 mg Chl-a/l dan 10,23 mg Chl-a/l. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan antara tingginya debit air sungai di darat dengan tingginya konsentrasi nutrisi dan biomas fitoplankton di perairan pesisir. Blooming fitoplankton di Teluk Jakarta juga merupakan kejadian rutin. Pada bulan-bulan September dan Oktober, bloom fitoplankton dari spesies *Skeletonema costatum* dan *Noctiluca scintillan* dijumpai dalam periode cukup lama (Damar, 2004).

Hodgkiss dan Ho 1997, dalam penelitiannya pada perairan Hongkong menyatakan bahwa pertumbuhan grup fitoplankton nonsilika akan optimal pada ratio N:P antara 6 sampai 15. Sedangkan Smayda 1989 dalam Hodgkiss dan Ho 1997, pertumbuhan fitoplankton di perairan – uptake nutrisi berdasarkan *rasio redfield*. Penelitian yang dilakukan di Tolo Harbour, Hongkong, peningkatan pospat 10 fold dan nitrat 5 fold dari tahun 1978 – 1985 meningkatkan jumlah fitoplankton dari 2 pada 1977 menjadi 17 pada tahun 1984 dimana terjadi peningkatan jenis dinoflagelata dari 26 % ke 66% dari keseluruhan fitoplankton. Data yang menunjukkan bahwa peningkatan N dan P terlarut sampai konsentrasi 0.1 mg/l dan 0.02 mg/l akan memungkinkan terjadinya blooming. Menurunnya rasio N:P akan meningkatkan dinoflagelata dan menurunnya jumlah diatom dalam perairan.

PEMODELAN PERTUMBUHAN FITOPLANKTON DI TELUK JAKARTA

Pertumbuhan fitoplankton di Teluk Jakarta akan dimodelkan dari data yang ada pada tahun 2004, dengan asupan nutrisi dari darat sebagai faktor utama dan faktor faktor lainnya di anggap konstan. Pemodelan akan menggunakan perangkat lunak Powersim. Powersim digunakan untuk membangun dan melakukan simulasi suatu model dinamik. Suatu model dinamik adalah kumpulan dari variabel variabel yang saling mempengaruhi antara satu dengan lainnya dalam suatu kurun waktu tertentu. Setiap variabel berkespondensi dengan suatu besaran yang nyata atau besaran yang dibuat sendiri yang mempunyai nilai numerik (Muhammadi, dkk 2001).

Pemodelan diartikan sebagai suatu gugus pembuatan model yang akan menggambarkan sistem yang dikaji (Eriyatno, 1999 dalam Marganof, 2007). Tujuan utama dari penelitian ini adalah membangun model pertumbuhan fitoplankton di Teluk Jakarta dengan asupan nutrisi sebagai faktor utama penyebab ledakan fitoplankton. Pemodelan sistem pertumbuhan fitoplankton ini digunakan untuk menemukan dan penempatan peubah-peubah penting serta hubungan antar peubah dalam sistem tersebut yang bersandarkan pada hasil pendekatan. Model pertumbuhan fitoplankton ini disusun berdasarkan jumlah asupan nutrisi yang masuk ke teluk Jakarta yang terbagi dalam asupan nitrat, asupan pospat dan asupan silikat yang akan mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton baik kelompok diatom dan dinoflagelata di teluk Jakarta. Jumlah fitoplankton akan memicu pertumbuhan *noctiluca* sintilan yang menjadi salah satu penyebab berkurangnya fitoplankton di teluk Jakarta. Model pertumbuhan fitoplankton ini terbagi dalam 6 sub sistem yaitu sub sistem pospat, sub sistem nitrat, sub sistem silikat, sub sistem diatom, sub sistem dinoflagelata dan sub sistem *noctiluca* sintilan. Keenam sub sistem akan dibuat secara parsial berdasarkan persamaan yang sesuai dengan masing-masing sub model, kemudian diintegrasikan menjadi satu model pertumbuhan fitoplankton di Teluk Jakarta.

Tabel 1. Data hidrologis Teluk Jakarta Tahun 2004

Bulan	Pospat ($\mu\text{g/l}$)	Nitrat ($\mu\text{g/l}$)	Silikat ($\mu\text{g/l}$)	Fito-plankton (Sel/m^3)	Diatom (Sel/m^3)	Dino-flagelata (Sel/m^3)
Januari	0,8	0,7	11	756.748.711	756.747.423	1.289
Pebruari	1,99	1	20	195.926.976	195.924.399	2.577
Maret	0,56	1,2	8,12	71.623.418	71.615.506	7.911
April	0,95	0,9	8,5	397.523.061	397.523.061	6.289
Mei	1,84	1,94	31	1.268.356.710	1.268.266.530	90.180
Juni	0,48	1,89	7	98.598.198	98.592.793	5.405
Juli	0,99	2,01	9	187.935.662	187.923.713	11.949
Agustus	0,78	1,91	5	74.285.486	74.277.512	7.974
September	0,34	1,76	5	100.095.404	100.087.278	8.136
Oktober	0,45	1,89	4	36.672.486	36.660.342	12.144
November	1,23	2	16	2.150.647.390	2.150.451.610	195.770
Desember	1,5	1	13	104.295.230	104.290.296	4.934

Data olahan dari berbagai sumber

Sub Model Pospat dalam Perairan

Sub model pospat menggambarkan jumlah pospat yang ada dalam perairan dalam jangka tertentu dan penambahan pospat akan dipengaruhi oleh jumlah limbah mengandung pospat dari daratan dan debit air sungai yang membawa pospat masuk ke perairan. Debit air sungai akan dipengaruhi oleh curah hujan tahun yang fluktuatif. Sedangkan pengurangan jumlah pospat di perairan akan dipengaruhi oleh jumlah pospat yang dimanfaatkan oleh fitoplankton jenis diatom dan dinoflagelata serta oleh pengendapan pospat dan reaksi kimia lainnya. Informasi jumlah pospat di perairan akan memicu pertumbuhan fitoplankton dalam perairan. Semua variabel yang berhubungan baik secara langsung dan tak langsung diformulasikan dalam bentuk diagram sub alir pospat dalam perairan dengan menggunakan powersim.

Sub Model Nitrat dalam Perairan

Sub model nitrat menggambarkan jumlah nitrat yang ada dalam perairan dalam jangka tertentu dan seperti halnya sub model pospat, dalam sub model ini, penambahan nitrat akan dipengaruhi oleh jumlah limbah mengandung nitrat dari daratan dan debit air sungai yang membawa nitrat masuk ke perairan. Debit air sungai akan dipengaruhi oleh curah hujan tahun yang fluktuatif. Sedangkan pengurangan jumlah nitrat di perairan akan dipengaruhi oleh jumlah nitrat yang dimanfaatkan oleh fitoplankton jenis diatom dan dinoflagelata serta oleh pengendapan nitrat dan reaksi kimia lainnya. Informasi jumlah nitrat di perairan akan memicu pertumbuhan fitoplankton dalam perairan. Semua variabel yang berhubungan baik secara langsung dan tak langsung diformulasikan dalam bentuk diagram sub alir nitrat dalam perairan dengan menggunakan powersim.

Sub Model Silikat dalam Perairan

Sub model silikat menggambarkan jumlah nitrat yang ada dalam perairan dalam jangka tertentu seperti halnya sub model pospat dan sub model nitrat, dalam sub model silikat ini, penambahan silikat akan dipengaruhi oleh jumlah limbah mengandung silikat dari daratan dan debit air sungai yang membawa silikat masuk ke perairan. Debit air sungai akan dipengaruhi oleh curah hujan tahun yang fluktuatif. Sedangkan pengurangan jumlah silikat di perairan akan dipengaruhi oleh jumlah

silikat yang dimanfaatkan oleh fitoplankton jenis diatom dan dinoflagelata serta oleh pengendapan silikat dan reaksi kimia lainnya. Informasi jumlah silikat di perairan akan memicu pertumbuhan fitoplankton dalam perairan. Semua variabel yang berhubungan baik secara langsung dan tak langsung diformulasikan dalam bentuk diagram sub alir silikat dalam perairan dengan menggunakan powersim.

Sub Model Diatom

Sub model diatom menggambarkan pertumbuhan diatom dalam perairan dan penambahan jumlah diatom dalam perairan akan dipengaruhi oleh jumlah nutrisi dalam perairan, yaitu dari jumlah total pospat, jumlah total nitrat dan jumlah total silikat dalam perairan. Sedangkan kematian diatom akan disebabkan karena kematian alami, termasuk terjadinya pengendapan (cyst) dan dimakan (grazing) oleh fitoplankton lebih besar seperti noctiluca sintilan yang merupakan pemangsa fitoplankton ototrop.

Sub Model Dinoflagelata

Sub model dinoflagelata menggambarkan pertumbuhan dinoflagelata dalam perairan dan penambahan jumlah dinoflagelata dalam perairan akan dipengaruhi oleh jumlah nutrisi dalam perairan, yaitu dari jumlah total pospat dan jumlah total silikat dalam perairan. Sedangkan kematian dinoflagelata akan disebabkan karena kematian alami, termasuk terjadinya pengendapan (cyst) dan dimakan (grazing) oleh fitoplankton lebih besar seperti noctiluca sintilan yang merupakan pemangsa fitoplankton ototrop.

Sub Model Noctiluca Sintilan

Noctiluca sintilan termasuk fitoplankton yang hidup dengan memakan fitoplankton yang lebih kecil. Pertambahan jumlah Noctiluca dalam perairan akan dipengaruhi oleh jumlah fitoplankton ototrop dalam perairan baik diatom maupun dinoflagelata. Sedangkan kematian noctiluca akan dipengaruhi oleh dimangsa oleh predator yang lebih tinggi seperti zooplankton dan biota laut lainnya serta mengalami mati alami.

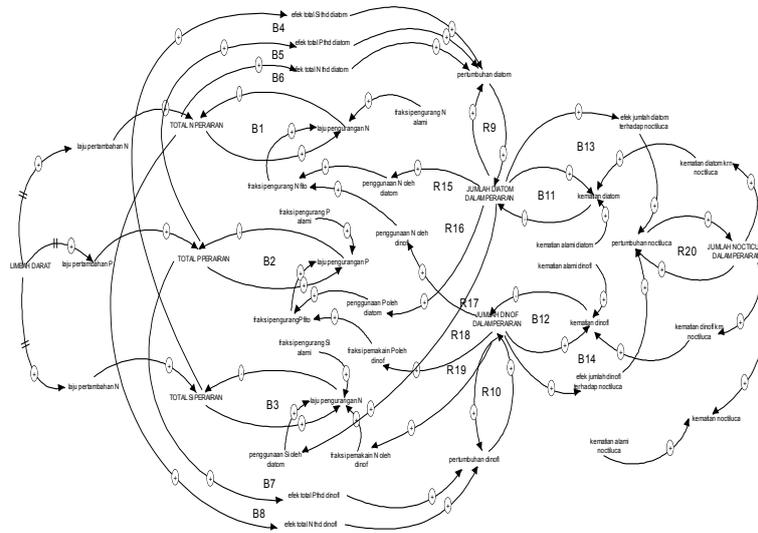
Penggabungan keenam sub-model pertumbuhan fitoplankton (sub-model pospat, sub model nitrat, sub model silikat, sub model diatom, sub model dinoflagelata dan sub model noctiluca sintilan) merupakan gambaran total dari pertumbuhan fitoplankton di perairan dimana pada waktu tertentu akan terjadi ledakan fitoplankton yang menyebabkan kematian ikan dan biota laut lainnya serta meracuni biota laut terutama kerang kerangan. Penyusunan variabel sebab akibat didasarkan pada keterkaitan antara variabel variabel yang berhubungan yang digambarkan gambar berikut ini.

DIAGRAM SIMPAL KAUSAL

Diagram simpal kausal model pertumbuhan fitoplankton di Teluk Jakarta seperti pada Gambar 1 berikut ini menggambarkan hubungan sebab akibat antara variabel yang dihubungkan oleh panah yang saling mengait. Bertambahnya jumlah asupan nutrisi dari darat yang akan dipengaruhi oleh curah hujan bulanan rata rata, dimana curah hujan tinggi mengakibatkan percepatan pertumbuhan jumlah nitrat, pospat dan silikat di dalam perairan.

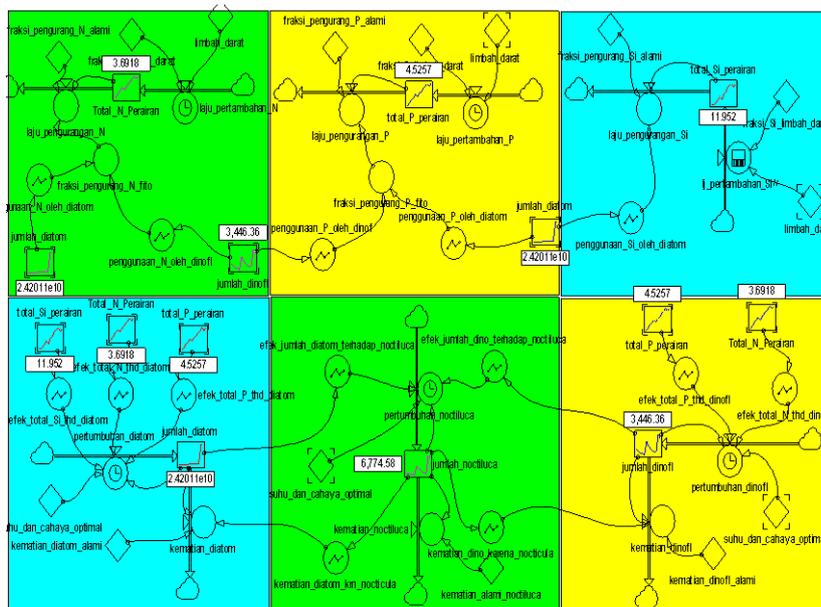
Curah hujan yang rendah dianggap sebagai perlambatan waktu (delay time) untuk masuknya nutrisi ke perairan. Di asumsikan, puncak curah hujan yang tinggi terjadi pada bulan oktober dan bulan April. ketiga komponen nutrisi akan memicu pertumbuhan fitoplankton baik jenis diatom maupun jenis dinoflagelata, tetapi ada nilai pembatas lain yaitu suhu dan temperatur yang tinggi untuk mempercepat laju pertumbuhan fitoplankton. Pertumbuhan fitoplankton akan optimal pada kondisi banyaknya nutrisi dan temperatur serta suhu yang cukup untuk melakukan mitosis atau pembelahan. Di asumsikan bahwa panas dan temperatur optimal sebulan setelah

curah hujan tinggi, sehingga blooming fitoplankton terjadi 1 bulan puncak curah hujan tinggi.



Gambar 1. Diagram simpal kausal Model Pertumbuhan Fitoplankton Teluk Jakarta

Dengan semakin tingginya jumlah diatom dan dinoflagelata akan menyebabkan jumlah nitrat, pospat dan silikat akan turun. Tingginya jumlah diatom dan dinoflagelata dalam perairan akan memicu pertumbuhan predator pemangsa (noctiluca sintilan) yang merupakan jenis fitoplankton yang berukuran lebih besar dan jenis makanannya adalah fitoplankton yang lebih kecil. Karena diatom dan dinoflagelata di mangsa oleh noctiluca sintilan, maka jumlah kedua jenis fitoplankton tersebut akan semakin berkurang, dan kematian keduanya akan mengurangi pertumbuhan noctiluca karena kekurangan asupan makanan. Dengan demikian, suksesi akan terjadi berulang ulang, yang akan berfluktuasi berdasarkan jumlah asupan nutrisi yang masuk ke perairan.



Gambar 2. Diagram alir Model Pertumbuhan Fitoplankton Teluk Jakarta

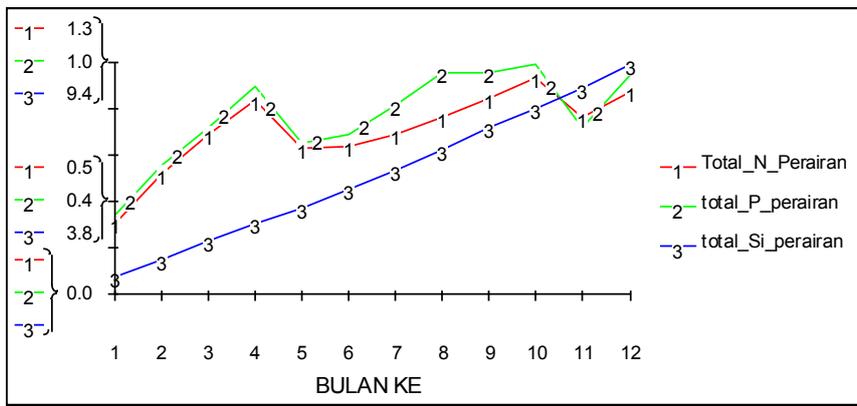
SIMULASI MODEL

Diagram Alir

Model Pertumbuhan Fitoplankton Teluk Jakarta disimulasikan seperti diagram alir pada Gambar 2. Analisis kecenderungan sistem ditujukan untuk mengeksplorasi perilaku sistem dalam jangka panjang ke depan, melalui simulasi yang dilakukan.

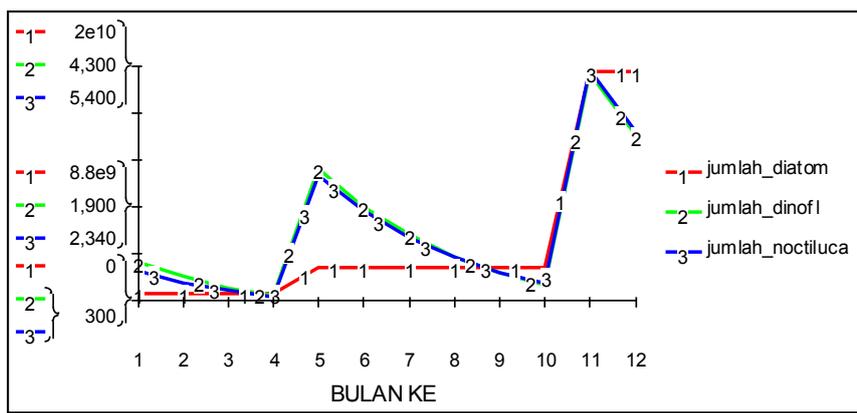
Grafik Simulasi

Hasil simulasi model menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi jumlah zat hara yang ada di perairan baik sebelum dan sesudah dimanfaatkan oleh fitoplankton jenis diatom dan dinoflagelata untuk jumlah nitrat dan pospat, tetapi tidak demikian untuk silikat yang jumlahnya di perairan semakin tinggi. Grafik simulasi dapat dilihat pada Gambar 3 berikut. Sedangkan kisaran jumlah dari masing masing zat hara agak jauh berbeda dengan nilai sebenarnya.



Gambar 3. Grafik waktu hasil simulasi model pertumbuhan fitoplankton untuk jumlah zat hara di perairan

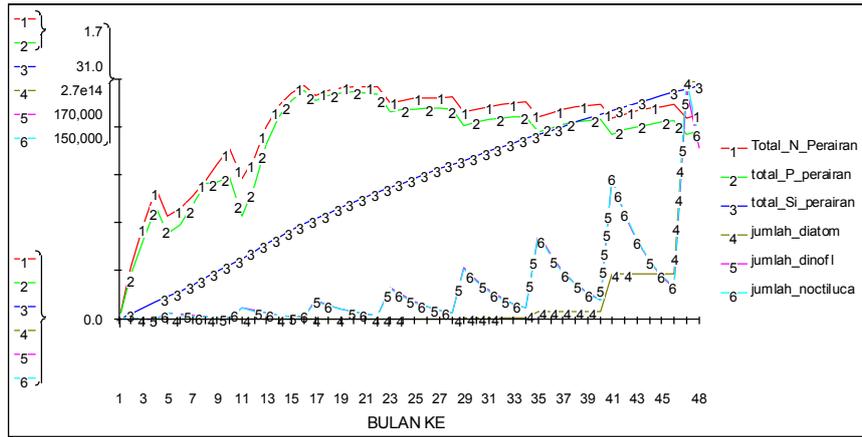
Sedangkan untuk pertumbuhan fitoplankton diatom, dinoflagelata dan noctiluca bisa dilihat pada grafik dalam gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Grafik waktu hasil simulasi model pertumbuhan fitoplankton untuk jumlah fitoplankton di perairan

Dapat dilihat dari grafik, bahwa pertumbuhan fitoplankton berfluktuasi dan akan tinggi pada bulan ke 5 dan bulan ke-11, sebulan setelah zat hara yang tinggi masuk ke perairan yaitu pada bulan ke 4 dan bulan ke 10. Bila waktu simulasi di

perpanjang sampai 4 tahun atau 48 bulan, maka dapat kita lihat kecenderungan nilai, baik untuk konsentrasi zat hara maupun jumlah fitoplanktonnya. Data dapat dilihat pada Grafik pada gambar 5. Dengan memperpanjang waktu simulasi, jumlah nutrisi (untuk pospat dan nitrat) hanya berfluktuasi pada nilai yang hampir seragam setelah bulan ke -15. Sedangkan untuk silikat, kecenderungannya sama dengan waktu simulasi 12 bulan. Sedangkan untuk jumlah fitoplankton, dengan memperpanjang waktu simulasi menjadi 48 bulan, maka terlihat bahwa fluktuasi fitoplankton semakin lama semakin naik dan sangat tinggi pada bulan-bulan tertentu. Grafik hubungan antara jumlah nitrat terhadap jumlah diatom dan dinoflagelata dapat dilihat pada Gambar 6 dan hubungan antara jumlah pospat terhadap jumlah diatom dan dinoflagelata dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 5. Grafik waktu hasil simulasi model pertumbuhan fitoplankton dengan waktu simulasi 48 bulan

ANALISIS MODEL DAN SKENARIO KE DEPAN

Analisis Model

Simulasi model pertumbuhan fitoplankton ini masih dibatasi oleh nilai lapangan yang dinamis, tetapi di dalam model ini dijadikan sebagai suatu konstanta, sedangkan nilai tersebut dapat merupakan pembatas atau pemicu untuk pertumbuhan fitoplankton. Seperti pada masuknya limbah darat ke perairan yang dibatasi oleh suatu 'delay time' yang diasumsikan sebagai perlambatan waktu yang disebabkan oleh tinggi rendahnya curah hujan yang akan membawa limbah darat ke perairan. Karena tidak merupakan fungsi yang dinamis, maka fluktuasi zat hara di perairan juga tidak dinamis.

Konstanta pembatas pada pertumbuhan fitoplankton, yaitu 'konstanta suhu dan cahaya optimal' merupakan satu nilai yang mengontrol pertumbuhan fitoplankton sehingga fluktuasi jumlah fitoplankton mengikuti konstanta tersebut. Kalau kita lihat di alam, suhu dan cahaya merupakan suatu parameter yang dinamis, yang akan berpengaruh sangat besar dalam pertumbuhan fitoplankton. Model ini masih harus mengembangkan 'konstanta suhu dan cahaya optimal', menjadi suatu fungsi yang dinamis.

Model ini masih merupakan model awal yang sederhana untuk bisa menirukan pertumbuhan fitoplankton di Teluk Jakarta. Hal ini terkait dengan banyak faktor utama yang berpengaruh terhadap pertumbuhan fitoplankton seperti, input nutrisi, suhu, cahaya dan curah hujan yang berpengaruh terhadap debit air yang membawa zat hara masuk ke perairan. Cahaya dan suhu serta curah hujan tidak bisa dianggap sebagai konstanta walaupun pada daerah tropis dengan suhu dan cahaya yang hampir rata sepanjang tahun, karena fitoplankton sangat sensitif terhadap suhu. Pada kondisi optimal fitoplankton jenis diatom akan mengalami mitosis sampai 3 kali dalam sehari, pergeseran suhu dan cahaya akan memperlambat proses mitosis fitoplankton.

KESIMPULAN

Didapatkan bahwa perilaku pertumbuhan fitoplankton dan nutrisi pospat dan nitrat dapat ditiru dengan model ini, tetapi tidak untuk silikat. Sedangkan untuk kisaran jumlah fitoplankton dan jumlah zat hara masih agak jauh berbeda dengan nilai sebenarnya. Perlu penyempurnaan model ini dengan menggunakan data dinamis untuk konstanta tertentu seperti curah hujan, suhu dan cahaya.

DAFTAR RUJUKAN

1. Avianto, T.W. 2009. Publikasi Sistem Dinamik, Tutorial Powersim. [Http://www.lablink.or.id](http://www.lablink.or.id). Akses tanggal 5 Maret 2009. Pukul. 17.05.
2. Dale, B. Edwards, M. Reid, P.C. 2006. *Ecology of Harmful algae : Climate change and harmful algal bloom*. Spriger-verlag. Heidelberg.
3. Damar, A. 2004. Musim Hujan dan Eutrofikasi Perairan Pesisir. Kompas Cyber Mania. Rabu, 03 Maret 2004. www.kompas.com. Akses Tanggal. 8 April 2009. Jam. 8.48 WIB.
4. Elliot, J.A. Irish, A.E. Reynolds, C.S and Tett, P. 1999. Sensitivity analysis of PROTECH, a new approach in phytoplankton modelling. 414.:45-51.
5. Frisk, A.B. Kapainen, H. Malve, O and Mols, M. 1999. Modelling phytoplankton dynamic of the eutropic lake Vortsjarv, Estonia. Hydrobiologia 414.:59-69.
6. Hodgkiss, I.J. dan Ho, K.C. 1997. Are change in N:P ration in coastal waters the key to increased red tide blooms?. Hydrobiologia. 352: 141-147.
7. Kim, H.G. 2006. Mitigation and control of HABS, Ecological studies: Analysis and synthesis. 189. Springer. Netherland. 327-338.
8. Kompas. 2006. Ekosistem Perairan: Fenomena Ledakan Fitoplankton Tak Teratasi. *Harian Kompas*, Jumat, 08 September 2006.
9. Marganof. 2007. Model pengendalian pencemaran perairan di Danau Maninjau Sumatera Bara.t Disertasi. Institut Pertanian Bogor.
10. Muchtar, M. 2004. Laporan Akhir Penelitian kondisi lingkungan perairan Teluk Jakarta dan sekitarnya. Proyek Penelitian IPTEK Kelautan Pusat Penelitian Oseanografi.LIPI. Jakarta.
11. Muhamadi. Aminullah, E. Soesilo, B. 2001. Analisis Sistem Dinamis, Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen. UMJ Press. Jakarta.
12. Praseno, P.P dan Sugestiningih. 2000. Redtaid di perairan Indonesia. P3O-LIPI. Jakarta. 1-15.
13. Praseno, D.P dan Wiadnyana, N.N. 1996. HAB organism in Indonesian water. Proceeding of the fifth Canadian workshop harmful marine algae. R.W. Penney(ed.) dalam Canadian technical report fisheries and aquatic science 2138. Canada. 68-75.