

## **SIMULASI MODEL DINAMIK PERTUMBUHAN ALGA PADA KOLAM STABILISASI FAKULTATIF UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK**

## **DYNAMIC MODEL SIMULATION OF ALGAE GROWTH IN FACULTATIVE STABILIZATION PONDS FOR WASTEWATER DOMESTIC TREATMENT**

---

**Sunarsih**

Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro  
Jalan Imam Barjo, Semarang  
Email: narsih\_pdil@yahoo.com

dikirim 19 Agustus 2010, diterima setelah perbaikan 5 Maret 2011

**Abstrak:** Model dinamik dikembangkan untuk memprediksi kualitas effluen pada kolam stabilisasi. Kesederhanaan operasi dan konstruksi serta perawatan kolam stabilisasi yang menempatkan simbiosis bakteri dan spesies alga yang kompleks dimana terjadi oksidasi bahan organik dengan bakteri karena adanya oksigen terlarut yang berasal dari proses fotosintesis dan re-aerasi pada permukaan kolam. Pengolahan air limbah kolam stabilisasi memerlukan energi rendah dengan ekosistem yang mengutamakan proses alami, namun berbeda dalam sistem pemeliharaan dan perawatan yang kompleks untuk menjaga sistem ekologis pengolahan air limbah berkelanjutan. Meskipun secara desain teknik pembangunan kolam ini relatif sederhana, tetapi sangat kompleks dalam sistem ekologisnya. Ketergantungan pada proses alami, membuat dinamika sistem sangat rentan terhadap faktor-faktor lingkungan seperti temperatur, radiasi matahari, angin dan pH. Permodelan merupakan cara yang efisien untuk merekam data sementara terutama untuk meningkatkan kegunaannya. Studi permodelan bertujuan untuk memperkirakan data yang aktual dengan kesalahan minimum. Ekologi dan permodelan merupakan bidang ilmiah yang berkembang pesat, banyak model yang telah diusulkan untuk memprediksi kualitas effluen kolam stabilisasi. Salah satu bagian dari struktur sub-model proses biokimia adalah pengaruh nutrisi terhadap pertumbuhan alga dan parameter-parameter digunakan dalam permodelan. Tiga unsur utama nutrisi utama yang diperlukan oleh alga untuk pertumbuhan adalah karbon, nitrogen, dan fosfor. Penelitian ini mengintegrasikan "Hukum Liebig minimum" pada semua persamaan pertumbuhan dalam kondisi dinamik. Sebagian hasil pada sistem persamaan differensial diselesaikan menggunakan metode beda hingga dan matriks.

**Kata kunci:** kolam stabilisasi, model dinamik, dan pertumbuhan alga.

**Abstract:** A dynamic model is developed to predict the effluent quality of facultative waste in stabilization ponds. The simplicity of the operation and construction as well as the stabilization pond treatment which put the symbiotic bacteria and complex algae species where there is an oxidation of the organic material by bacteria because of the dissolved oxygen from photosynthesis process and re-aeration on the pond surface. The wastewater stabilization pond treatment requires low energy in the ecosystem by using natural processes makes, unlike the preservation and maintenance in order to keep the ecology system for wastewater treatment are more complicated. Although, it's technically much simpler and easier to build the pond, but the ecology system is more complicated. Dependence on natural processes makes the dynamics of the system very susceptible to environmental factors such as temperature, solar radiation, wind and pH. Modeling is an efficient way to record data temporarily, especially to improve the advantages. Modeling studying aims to estimate the actual data with minimum error. Ecology and modeling are a rapidly growing scientific field, many models have been proposed to predict the stabilization pond effluent quality. One part of the structural sub-model of biochemical processes is the influence of nutrients on algae growth and the parameters used in that modelling. Three main elements of the main nutrients which are required by algae for growth are carbon, nitrogen and phosphorus. This study integrates "Liebig's law of minimum" on all of the growth equation in dynamic conditions. Some results of the simulation in the system of differential equations are solved by using the finite difference method and matrix.

**Keywords:** stabilization ponds, dynamic model, and the growth of algae.

## PENDAHULUAN

Limbah domestik adalah limbah yang berasal dari aktivitas keseharian manusia seperti air kamar mandi, *closet* (limbah tinja), dapur, air cucian dan sebagainya. Limbah ini mengandung sisa-sisa bahan organik, detergen, minyak, kotoran manusia dan saat ini didalam limbah domestik pun dijumpai zat-zat kimia yang dipergunakan sehari-hari dalam rumah tangga, seperti pembersih lantai, dan sebagainya. Menurut Kepmen Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 yang dimaksud dengan air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Limbah ini dalam skala yang kecil terlihat sangat sederhana, dan tidak terlalu mengganggu sehingga sebelumnya cukup ditampung oleh *septic tank* konvensional dan diresapkan ke dalam tanah yang selanjutnya proses penguraiannya tergantung 100% oleh alam. Kolam stabilisasi air limbah atau laguna memberikan solusi sederhana untuk pengolahan air limbah perkotaan dan banyak digunakan di negara-negara berkembang terutama di daerah yang beriklim panas. Pengolahan air limbah pada kolam stabilisasi memerlukan energi yang rendah dengan ekosistem yang mengutamakan proses-proses alami, namun berbeda dalam sistem pemeliharaan dan perawatan yang kompleks untuk menjaga sistem ekologis pengolahan air limbah berkelanjutan (Kayombo *et al.*, 2000). Meskipun secara desain teknik pembangunan kolam ini relatif sederhana, tetapi sangat kompleks dalam sistem ekologisnya.

Dengan kesederhanaan operasi dan konstruksi serta perawatan kolam stabilisasi terutama yang menempatkan simbiosis bakteri dan alga dengan oksidasi bahan organik yang dilakukan dengan bakteri melalui fotosintesa algae dan re-aerasi pada permukaan kolam. Algae adalah satu-satunya produsen oksigen, tetapi konsentrasi algae yang tinggi tidak diinginkan yang berdampak pada keseimbangan oksigen (Odum EP, 1993; Supriharyono, 2009). Pada malam hari algae mengkonsumsi oksigen untuk respirasi dan algae mati satu demi satu dan membusuk, selain itu algae dapat menutup kolam. Ketergantungan pada proses alami ini membuat dinamika sistem rentan terhadap faktor-faktor lingkungan seperti temperatur, radiasi matahari, angin dan lain-lain.

Ekologi dan permodelan lingkungan merupakan bidang ilmiah yang berkembang pesat yang meliputi berbagai model antara lain model dinamika populasi, model oksigen terlarut di sungai, model eutrofikasi zat beracun di ekosistem perairan dan lainnya. Dengan perkembangan teknologi komputer dari tahun ke tahun, maka dengan dibuat model yang kompleks dan hasilnya lebih akurat. Banyak peneliti mengembangkan model empiris bagi parameter yang dalam kolam stabilisasi berdasarkan efek dari variabel tersebut dan asumsi dengan menggunakan teknik regresi berganda. Selain model empiris banyak peneliti bertujuan untuk memprediksi efluen kualitas berkaitan dengan sistem ekologi (Ferrara dan Halem, 1981; Moreno-Grau *et al.*, 1996; Kayombo *et al.*, 2000; Mashauri *et al.*, 2001). Dalam makalah ini dibuat simulasi model dinamik sebagai struktur model dinamis dengan prinsip-prinsip konservasi, komposisi kimia dan hukum termodinamika.

Model dinamik pada kolam stabilisasi limbah dikembangkan dalam penelitian ini. Model ekologi dianggap sebagai presentasi matematika dari kegiatan biokimia yang relevan terhadap ekologi dari kolah fakultatif sekunder. Sebuah model adalah idealisasi dari situasi nyata dimana komponen yang diidentifikasi dan digambarkan dengan interaksi dari mereka dan digunakan sebagai alat untuk memecahkan masalah (Jorgensen, 1986). Pemodelan yang dilakukan adalah model interaksi variabel pada kolom air kolam stabilisasi air limbah. Pada model ini merupakan bagian dari model dari model besar yang menjelaskan kondisi hidrolis berdasarkan dispersi longitudinal dengan difusi antar lapisan kolom air dan sedimen, sementara yang lain berfokus pada transformasi bio-kimia dalam seluruh sistem. Model

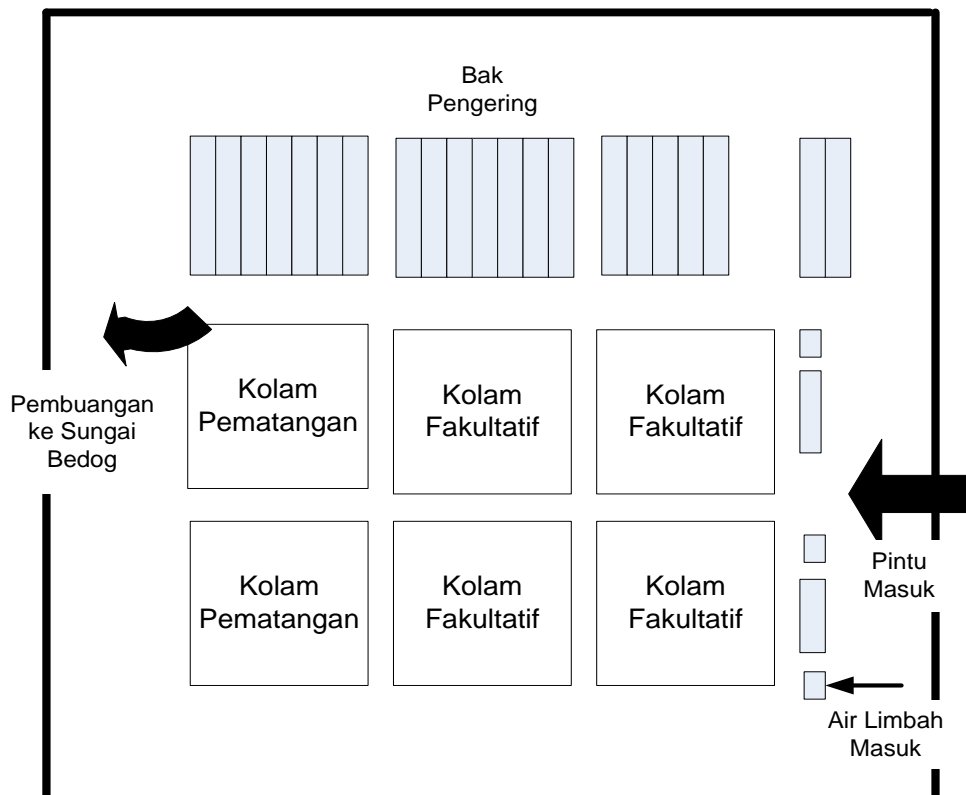
dikembangkan dari evaluasi dengan menggunakan data dari hasil pemantauan dan pengukuran pada kolam stabilisasi fakultatif di Sewon Bantul Yogyakarta. Dengan parameter-parameter yang dipertimbangkan dalam model adalah BOD, COD, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, DO, algae dan bakteri.

## BAHAN DAN METODA

### Lokasi dan Waktu Penelitian

IPAL Sewon Bantul Yogyakarta dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan pembuangan air limbah rumah tangga yang wilayahnya meliputi seluruh kota Yogyakarta, sebagian wilayah Kabupaten Sleman (5 Kecamatan) dan sebagian wilayah Kabupaten Bantul (3 Kecamatan). Selain mengolah limbah yang masuk langsung dari saluran perpipaan, IPAL Sewon juga menerima air limbah tangki septik (*septic tank*) yang dikumpulkan dari mobil-mobil pengumpul tinja.

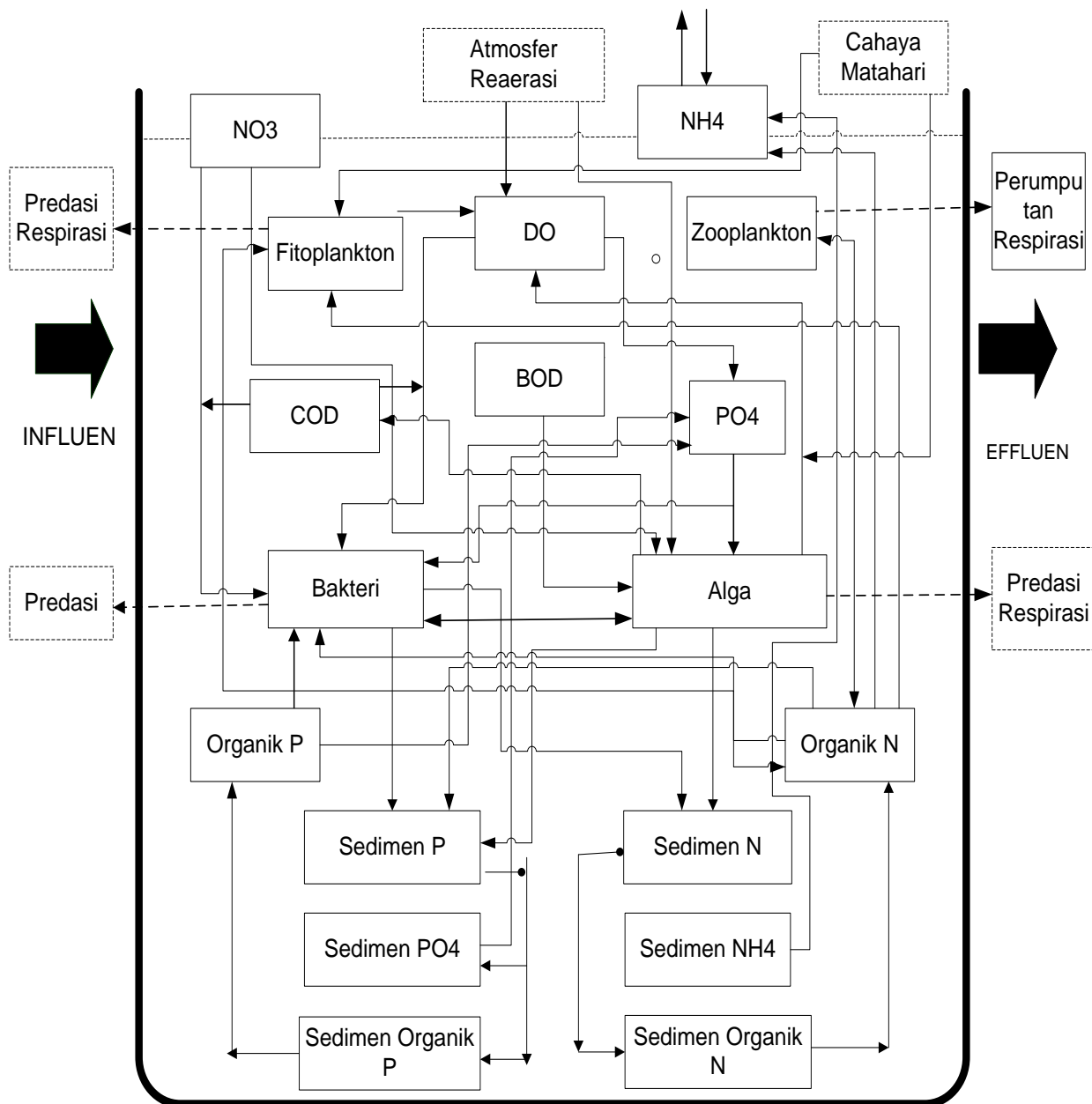
Target pelayanan pengolahan air limbah dari konsumen secara bertahap akan ditingkatkan dari 29% unuk tahun 2002 wilayah perkotaan ini berarti sekitar 110.000 jiwa (22% penduduk kota) dapat terlayani. Sedangkan target sampai tahun 2012 diharapkan mampu melayani 59% wilayah perkotaan atau sekitar 273.000 jiwa (53% penduduk kota). Luas IPAL ± 6,5 hektar ini mengolah air limbah melalui dua proses utama, yaitu proses fisik dan biologi. Kolam pengolahan biologi yang terdiri dari empat kolam fakultatif dan dua kolam pematangan yang terhubung secara seri dengan waktu penyimpanan hidrolis kolam fakultatif 5,5 hari.



**Gambar 1.** Denah Instalasi Air Limbah (IPAL) dan tata letak kolam stabilisasi.

Kolam fakultatif Sewon dipilih untuk kalibrasi dan evaluasi model. Dengan menggunakan data hasil pemantauan harian selama 3 (tiga) bulan pada influen dan effluen.

**Struktur Model**



**Gambar 2.** Model interaksi antar variabel pada kolom air.

**Persamaan Konservasi Massa**

Persamaan neraca massa untuk mengatur setiap variabel utama kualitas air dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} + S_C \tag{1}$$

Persamaan neraca massa yang mengatur variabel utama kualitas air pada persamaan (1) mengenai transportasi fisik, adveksi dan difusi serta proses kinetik (Shilton, A, 2001). Dua suku pertama penjumlahan pada sisi kanan persamaan untuk transportasi difusi, sedangkan suku ketiga merupakan transportasi adveksi. Untuk sistem yang benar-benar sempurna dimana tidak ada keterbatasan transportasi, maka persamaan (1) menjadi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = S_c \quad (2)$$

Juga dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = KC + R \quad .. \quad (3)$$

dimana  $D_x$  adalah koefisien dispersi longitudinal ( $m^2 \text{ hari}^{-1}$ ),  $D_z$  adalah koefisien difusi arah z ( $m^2 \text{ hari}^{-1}$ ),  $u$  adalah kecepatan rata-rata air ( $m \text{ hari}$ ),  $S_c$  adalah proses kinetik sumber ( $g \text{ m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$ ),  $K$  adalah laju konstanta kinetik ( $\text{hari}^{-1}$ ),  $R$  adalah sumber, sink ( $gm^{-3} \text{ hari}^{-1}$ ),  $C$  konsentrasi variabel ( $g \text{ m}^{-3}$ ),  $x$  adalah panjang ( $m$ ) dan  $z$  adalah kedalaman ( $m$ ).

Persamaan (3) diperoleh dengan melinierisasi dari persamaan kinetik, yang sebagian besar merupakan ekspresi Monod. Suhu, kedalaman Secchi, radiasi matahari, fraksional panjang hari, dan pH dianggap variabel independen dalam model. Persamaan kinetik dinamika populasi alga sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = (G_A - BM_A)C_A - \left( \frac{VS_A k_d^A}{\Delta z} + PR_A \right) C_A + \frac{Q(C_A^i - C_A^e)}{V} \quad (4)$$

dimana  $C_A$  konsentrasi alga ( $gC \text{ m}^{-3}$ ),  $G_A$  adalah laju pertumbuhan alga ( $\text{hari}^{-1}$ ),  $BM_A$  adalah laju metabolisme basal alga ( $\text{hari}^{-1}$ ),  $VS_A$  adalah kecepatan alga menetap ( $m \text{ hari}^{-1}$ ),  $\Delta z$  adalah ketebalan lapisan ( $m$ ),  $k_d$  adalah angka kematian alga ( $\text{hari}^{-1}$ ),  $PR_A$  adalah tingkat predasi alga ( $\text{hari}^{-1}$ ),  $Q$  adalah laju aliran ( $m^3 \text{ hari}^{-1}$ ),  $V$  adalah volume kolam ( $m^3$ ),  $i$  adalah simbol influen dan  $e$  adalah simbol untuk effluen. Pertumbuhan alga tergantung pada ketersediaan nutrien, cahaya ambien, pH dan suhu. Efek dari proses ini dianggap suatu perkalian sebagai berikut:

$$G = \mu_{alga} \cdot \text{Min}[f_1(N), f_2(I)] \cdot f_3(pH) \cdot f_4(T) \quad (5)$$

dimana  $\mu_{alga}$  adalah laju pertumbuhan maksimum alga ( $\text{hari}^{-1}$ ),  $f_1(N)$  adalah pengaruh konsentrasi hara,  $f_2(I)$  adalah pengaruh intensitas cahaya,  $f_3(pH)$  adalah pengaruh pH dan  $f_4(T)$  adalah pengaruh suhu. Besaran fungsi adalah ( $0 \leq f \leq 1$ ). Dengan menggunakan "Hukum Liebig Minimum" pertumbuhan ditentukan oleh pasokan nutrien dengan pembatas nutrien untuk pertumbuhan alga yang dinyatakan sebagai:

$$f_1(N) = \text{Min} \left( \frac{NH_4 + NO_3}{KHN + NH_4 + NO_3}, \frac{PO_4}{KNP + PO_4} \right) \quad (6)$$

dimana  $NH_4$  adalah konsentrasi amonium nitrogen ( $gNm^{-3}$ ),  $NO_3$  adalah konsentrasi nitrat nitrogen ( $gNm^{-3}$ ),  $PO_4$  adalah konsentrasi fosfor fosfat terlarut ( $gpm^{-3}$ ),  $KHN$  adalah

konstanta setengah-konstan saturasi untuk serapan nitrogen untuk alga (gNm<sup>-3</sup>). *KHP* adalah konstanta setengah-konstan saturasi untuk serapan fosfor untuk alga (gPm<sup>-3</sup>). Bentuk harian dan integrasi secara vertikal dari persamaan Steele diadopsi untuk permodelan pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan alga sebagai berikut:

$$f_2(I) = \frac{2,718 \cdot f}{K_e \Delta z} \left[ \exp\left(-\frac{I_o}{I} \exp(K_e \Delta z)\right) - \exp\left(-\frac{I_o}{I}\right) \right] \quad (7)$$

dimana *f* adalah fraksional panjang hari, *K<sub>e</sub>* adalah koefisien pemadaman cahaya (m<sup>-1</sup>),  $\Delta z$  adalah ketebalan lapisan (m), *I<sub>o</sub>* adalah total intensitas cahaya harian pada permukaan air (langleys hari<sup>-1</sup>), *I<sub>s</sub>* intensitas cahaya optimal untuk alga (langleys hari<sup>-1</sup>). Namun persamaan (7) tidak disimulasikan dengan variasi konsentrasi oksigen terlarut pada siang hari, maka untuk tujuan ini *f* dihilangkan dan untuk intensitas harian diganti dengan intensitas cahaya terhadap variabel waktu. Dengan menggunakan persamaan Smith (1980) dalam Beran B, (2003) sebagai berikut:

$$I_0 = \left(\frac{\Pi I}{2f}\right) \sin\left(\frac{\Pi t}{f}\right) \quad (8)$$

Dimana *I<sub>o</sub>* adalah variabel intensitas cahaya di permukaan air diasumsikan mengikuti fungsi setengah sin selama siang hari dan *I* adalah total intensitas cahaya harian di permukaan air (Langleys hari<sup>-1</sup>). Model disajikan tidak termasuk persamaan untuk protozoa, sebaliknya laju konstan ditetapkan untuk pemangsaan alga-bakteri, yang secara implisit diasumsikan biomassa protozoa adalah fraksi biomassa alga-bakteri. Pengaruh pH terhadap pertumbuhan mikroorganisme, termasuk alga direpresentasikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f(pH) = \frac{K_{pH}}{K_{pH} + y} \quad (9)$$

$$y = 10^{|\text{optpH-pH}|} - 1 \quad (10)$$

dimana opt pH adalah pH optimal dan *K<sub>pH</sub>* adalah kecepatan setengah konstan untuk mikroorganisme. Semua proses dalam model diasumsikan memiliki ketergantungan jenis temperatur Arrhenius (Metcalf and Eddy, 1991).

### Prosedur Eksperimental

Kolam fakultatif IPAL Sewon dipilih untuk kalibrasi dan evaluasi model dengan mengambil sampel sebanyak 14 sampel yang dikumpulkan selama 1 (satu) hari dengan periode waktu 2 (dua) jam dari influen dan efluen kolam dan data hasil pemantauan selama 3 (tiga) bulan. Untuk mengetahui gradien konsentrasi melalui kolam tidak dapat diestimasi dengan mengumpulkan dua sampel dari kedua ujungnya, maka pada sampling pertama akan diambil ekstra 6 sampel dikumpulkan di sepanjang kolam dengan jarak 0, 25, 50, dan 75 meter. Hasil interpolasi diperlukan untuk mendapatkan kondisi awal untuk memperoleh sistem solusi numerik. Pengambilan sampel dilakukan pada waktu yang berbeda dalam rangka untuk mengamati kecenderungan konsentrasi sepanjang hari.

## **Metode Analisis**

Nitrogen amonium, nitrat nitrogen, fosfor fosfat, oksigen terlarut, temperatur, kedalaman Secchi, pH, laju aliran, ditentukan untuk setiap sampel yang dikumpulkan. Total nitrogen dan biomassa alga ditentukan dengan pemeriksaan mikroskopis. Untuk sampel alga yang identifikasi diperiksa dalam kondisi sel masih hidup. Kedalaman Secchi digunakan untuk menentukan koefisien pemadaman cahaya dengan rumus berikut:  $K_e = \frac{1,95}{D_s}$  dimana

$D_s$  adalah kedalaman Secchi (m). Untuk panjang hari, kecepatan angin dan radiasi matahari harian diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika di Yogyakarta. Metode yang digunakan untuk solusi adalah PDE pada setiap  $x$ .

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengaruh nutrisi terhadap pertumbuhan alga terdapat 3 (tiga) nutrisi utama yang diperlukan oleh alga untuk pertumbuhan adalah karbon, nitrogen, dan fosfor. Produksi alga berkurang atau dihilangkan secara terus menerus karena tidak adanya satu atau lebih nutrisi diperlukan. Rasio pemanfaatan nutrisi oleh alga dalam kisaran terbatas dan sangat ditentukan oleh komposisi alga. Rasio karbon mengindikasikan bahwa untuk nitrogen yang diperlukan oleh alga adalah 6-1 oleh massa. Rasio karbon yang diperlukan fosfor adalah 42 - 1 (Strickland, 1960 dalam Beran B, 2003). Perbedaan dalam rasio nutrisi yang disediakan dan nutrisi yang dibutuhkan sering menyebabkan penurunan nutrisi, karena serapan alga dan sementara yang lain tetap tersedia. Diplesi nutrisi yang disebut "membatasi nutrisi", karena produksi alga dibatasi oleh pasokan nutrisi ini. Karbon anorganik tidak selalu memberikan dan biasanya tidak dipertimbangkan dalam analisis keterbatasan nutrisi untuk pertumbuhan alga. Dengan menggunakan "Hukum Liebig minimal" bahwa laju pertumbuhan ditentukan oleh sedikit pasokan nutrisi.

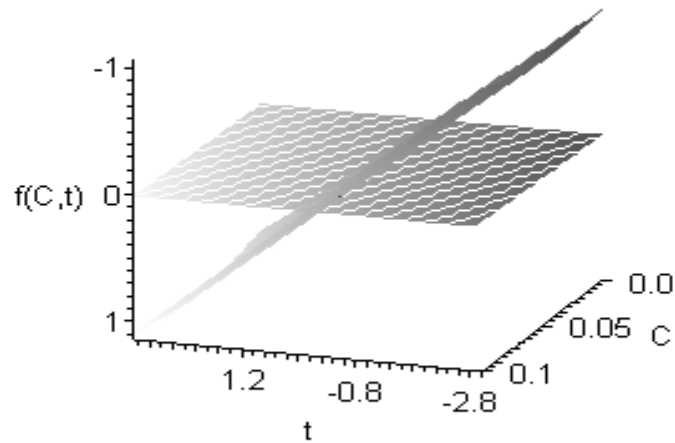
Pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan alga harian dan terintegrasi secara vertikal dari persamaan Steele diadopsi untuk permodelan dari pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan alga. Untuk tujuan ini  $f$  dihilangkan dan intensitas cahaya sehari-hari diganti dengan variabel intensitas cahaya terhadap waktu, dihitung dengan menggunakan persamaan (8) diusulkan oleh Smith (1980). Dalam lingkungan alam, intensitas cahaya untuk alga adalah tidak merata diambil nilai optimum. Pada permukaan dan yang dekat dengan permukaan, fotosintesis dapat terjadi pada intensitas cahaya tinggi, sedangkan di bawah Secchi kedalaman tertentu tidak terjadi fotosintesis karena kekeruhan. Persamaan untuk kedua efek super saturasi intensitas cahaya dan kedalaman cahaya melalui kolom air, nilai tingkat pertumbuhan rata-rata menurun.

Biomassa alga menurun melalui metabolisme basal alga. Metabolisme basal diberikan sebagai jumlah dari semua proses internal yang menurunkan biomassa alga dan terdiri dari dua bagian; respirasi dan ekskresi. Dalam metabolisme basal, masalah alga dikembalikan ke senyawa organik dan anorganik di lingkungan, terutama untuk bahan organik dan anorganik terlarut. Pada saat oksigen tinggi, respirasi merupakan sebagian besar dari total. Misalkan tidak ada oksigen terlarut, ekskresi menjadi dominan. Oleh karena itu produk akhir respirasi terutama karbon dioksida, sedangkan produk akhir ekskresi terutama karbon organik terlarut. Respirasi, yang mungkin dilihat sebagai pembalikan produksi, mengkonsumsi oksigen terlarut.

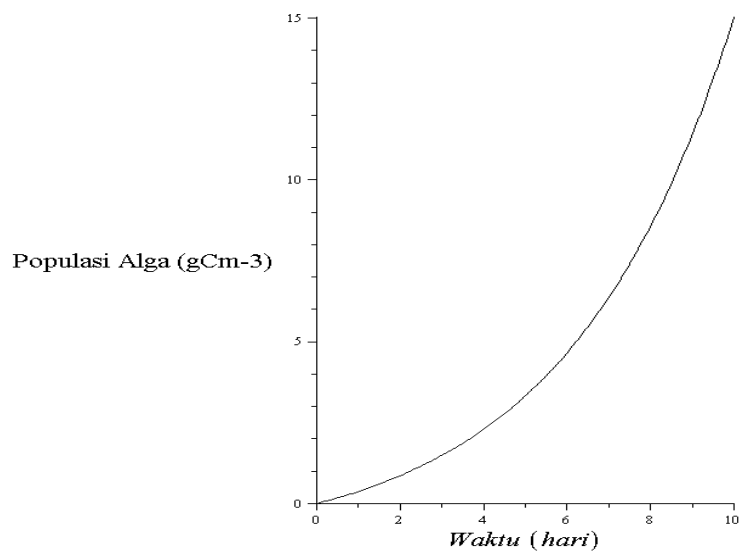
Pembenahan alga dan penempatan kematian alga dan kematian dianggap bersama-sama karena mobilitas jenis alga yang mendominasi di kolam stabilisasi sebagian besar

sebagai solusi hasil dari kematian. Untuk jenis lainnya merupakan solusi dari tingkat kematian organisme.

Hasil perhitungan komputasi dari persamaan-persamaan di atas untuk konsentrasi alga seperti pada gambar 3. dan pertumbuhan populasi alga gambar 4. disajikan sebagai berikut:



**Gambar 3.** Grafik konsentasi alga terhadap waktu.



**Gambar 4.** Grafik dinamika populasi Alga.

## KESIMPULAN

Model dinamik dikembangkan untuk memprediksi efluen kualitas limbah kolam stabilisasi. Untuk merepresentasi keadaan kolom air yang berinteraksi dengan stratifikasi



kolom air karena variasi konsentrasi oksigen terlarut. Model dua dimensi hidrolis dilakukan dengan mempertimbangkan sebaran aliran dan difusi untuk horisontal dan vertikal untuk transportasi. Berdasarkan model prediksi, asumsi hidrolis berhasil dalam transportasi mewakili proses dalam kolam. Pada sistem dengan koefisien dispersi longitudinal  $D_x$  ( $D = 0,0037$ ) yang menunjukkan bahwa asumsi pencampuran sempurna akan gagal mewakili perilaku hidrolis kolam yang diteliti. Akurasi estimasi oksigen terlarut dalam retrospeksi membuktikan bahwa difusi vertikal adalah parameter kunci untuk mengoreksi estimasi untuk variabel kualitas air. Struktur model yang kompleks memungkinkan untuk melakukan simulasi yang luas dengan berbagai kondisi lingkungan dan membuat perkiraan akurat dengan menyesuaikan konstanta kinetik. Model dapat disesuaikan dengan cepat tergantung pada sistem yang dimodelkan dengan karakteristik dispersi. Model ini dapat digunakan dalam perancangan fasilitas baru dan untuk meningkatkan kualitas efluen yang ada.

## **Daftar Pustaka**

- Beran, B. "Simulation and Dynamic Mathematical Modeling of Stabilization Ponds for Wastewater Treatment." Izmir. A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylul University, (2003)
- Ferrara, R. A., and D. R. F. Harleman. "Dynamic Nutrient Cycle Model for Waste Stabilization Ponds." J. Envir. Engng. Div. A.S.C.E. 106 (1980): 37-54.
- Kayambo, Katina, JHY, and Jorgensen. Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Desain Manual. By UNEP-IETC with Danish International Development Agency (Danida), 2000. ([http://pdfcontact.com/ebook/desain\\_manual.html](http://pdfcontact.com/ebook/desain_manual.html). Download tanggal 11 Nopember 2009).
- Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 3rd ed. Mc.Graw-Hill, 1991.
- Odum E. P. Dasar-Dasar Ekologi. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press., 1993.
- Shilton, A. "Studies Into The Hydraulics of Waste Stabilisation Ponds. Doctor of Philosophy in Environmental Engineering at Massey University." Turitea Campus, Palmerson Nort, New Zealand, (2001)
- Supriharyono. Konservasi Ekosistem Sumberdaya Hayati, di Wilayah Pesisir dan Laut Tropis. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar, 2009.

