

PENGARUH DEBIT INFLUEN TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA KOLAM FAKULTATIF BOJONGSOANG: TANPA PENGARUH ANGIN

Rositayanti Hadisoebroto¹, dan Suprihanto Notodarmojo²

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta Barat 11440, Indonesia
2. Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, Bandung, 40132, Indonesia

E-mail: rositayanti@yahoo.com

Abstrak

Telah dilaporkan bahwa kinerja pengolahan di kolam fakultatif di Instalasi Pengolahan Air Kotor (IPAK) Bojongsoang adalah tidak stabil. Salah satu penyebabnya adalah karakteristik hidrodinamika yang tidak sesuai dengan kriteria. Yang termasuk dalam karakteristik hidrodinamika yang tidak tepat antara lain kehadiran daerah mati, aliran pendek, dan turbulensi oleh arus eddy. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi debit influen terhadap karakteristik hidrodinamika menggunakan model matematis. Model hidrodinamika dua dimensi dibangun dari dua persamaan hidrodinamika, yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Kedua persamaan diselesaikan dengan metoda numerik beda hingga semi implisit (Crank-Nicolson). Dari hasil simulasi, dianalisa nilai bilangan Froude aliran serta waktu tinggal efektif dan luas efektif kolam fakultatif untuk melihat kehadiran daerah mati. Hasil simulasi menunjukkan bahwa daerah mati terdapat di tengah kolam. Apabila debit influen semakin besar, waktu tinggal efektif dan luas efektif semakin besar. Selain itu, distribusi nilai bilangan Froude menunjukkan bahwa nilai 10^{-10} semakin berkurang bila debit influen semakin besar. Dapat dikatakan bahwa daerah mati akan berkurang pada debit influen yang lebih besar. Dengan demikian debit influen yang semakin besar akan memperbaiki karakteristik hidrodinamika di kolam fakultatif.

Abstract

The Effects of Influent Debit on Hydrodynamic Characteristic of Bojongsoang Facultative Pond: Without Wind Effects. The performance of facultative pond in Bojongsoang WWTP have reported to be unstable. One of the cause of the unstable performance is the hydrodynamic characteristics that not met the criterion. The improper hydrodynamic characteristics are included the existence of dead-zone, the short-circuiting, and the turbulence due to eddy current. The study was to analyze the effect of the influent debit variation on the hydrodynamic characteristics of the pond using mathematical model. The two-dimensional hydrodynamic model was built from two hydrodynamic equations which are continuity and momentum equations. The equations were solved by finite-difference numerical method of semi-implicit (Crank-Nicolson). From the simulation results, the Froude number of the water flow was analyzed. Beside that, the effective residence time and the effective area were calculated. All of them were done to analyzed the existence of the dead-zone in the pond. The simulation results show that the dead-zone was exist in the center of the pond. when the influent debit was larger, the effective residence time and the effective area become larger. The distribution of the Froude number value shows that the area with the value of 10^{-10} become reduced in the larger influent debit. The existence of the dead-zone was reduced since the influent debit become larger. It can be said that the larger influent debit can improve the hydrodynamic characteristics of the pond.

Keywords: dead-zone, facultative pond, Froude number, hydrodynamic characteristics, influent debit

1. Pendahuluan

Kolam fakultatif merupakan bagian sistem kolam stabilisasi yang telah banyak digunakan di daerah yang

berjumlah penduduk sedikit, asalkan mempunyai lahan yang cukup luas. Sistem ini dipilih karena kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharaannya, sekaligus membutuhkan biaya yang tidak banyak. Akan tetapi

sampai saat ini, belum terdapat kriteria disain untuk kolam stabilisasi. Disain dan pembangunannya didasarkan atas pengalaman dan keahlian pembuatnya. Proses biologis yang terjadi di dalamnya dan fenomena fisik yang mendukungnya merupakan hal yang belum banyak diketahui karena kompleksnya faktor lingkungan dan cuaca yang mempengaruhinya. Oleh karenanya, banyak terjadi ketidakefisienan dalam pengoperasian kolam fakultatif, seperti adanya daerah mati atau aliran pendek [1]. Salah satu instalasi pengolahan air buangan yang menggunakan sistem kolam stabilisasi adalah Instalasi Pengolah Air Kotor (IPAK) Bojongsong di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Kolam stabilisasi pada IPAK Bojongsong terdiri atas kolam anaerobik, kolam fakultatif, dan kolam maturasi.

Karakteristik hidrolis merupakan salah satu faktor yang mendukung kinerja suatu unit pengolahan secara optimal. Sebagai contoh, suatu unit koagulasi membutuhkan kondisi aliran yang tercampur sempurna. Contoh lain adalah unit sedimentasi membutuhkan kondisi aliran yang laminar untuk menjamin terjadinya pengendapan. Demikian halnya dengan unit pengolahan biologis, yang bila kondisi hidrolis di dalamnya tidak mendukung terjadinya pengolahan, maka kinerja unit tersebut dapat menjadi buruk. Kolam fakultatif di IPAK Bojongsong dilaporkan oleh Dewangga, dkk. [2] mempunyai kinerja pengolahan yang kurang stabil. Salah satu faktor yang dicurigai menyebabkan ketidakefisiennya adalah karakteristik hidrolis di kolam tersebut. Oleh karena ukuran kolam yang luas, maka kemungkinan terjadinya daerah mati cukup besar. Adanya daerah mati ini akan mengurangi volume efektif kolam. Hal ini berarti tidak seluruh bagian kolam berfungsi untuk mengolah air buangan. Penelitian ini bermaksud untuk menggambarkan karakteristik hidrolis tersebut yang dinyatakan dengan luas efektif kolam dan waktu tinggal efektif di kolam. Pengaruh debit influen yang bervariasi juga ditinjau terhadap karakteristik hidrolis kolam.

Untuk mengevaluasi karakteristik hidrolis di dalam suatu badan air, dapat dilakukan secara langsung menggunakan perunut [3-6] maupun secara model matematis menggunakan komputasi [1,7-8]. Untuk melakukan studi perunut di kolam fakultatif, diperlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit sehubungan luasnya kolam yang ditinjau. Dengan demikian, model matematis dapat menjadi alternatif yang cukup baik untuk mengamati hidrodinamika kolam. Pada penelitian ini, model matematis dibangun dari persamaan pengatur yang berasal dari dua persamaan hidrodinamika, yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Kedua persamaan hidrodinamika tersebut diselesaikan dengan metoda numerik beda hingga semi implisit (Crank-Nicolson).

Persamaan pengatur berasal dari dua persamaan hidrodinamika yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Kedua persamaan diintegrasikan terhadap kedalaman rata-rata untuk memperoleh persamaan pada arah x dan y [9].

Persamaan Kontinuitas [10]:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(UH)}{\partial x} + \frac{\partial(VH)}{\partial y} = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

dimana :

U = kecepatan rata-rata aliran dalam arah sumbu x di tengah ruas (m/det)

V = kecepatan rata-rata aliran dalam arah sumbu y di tengah ruas (m/det)

H = kedalaman air (m)

ζ = elevasi air (m)

Q = debit (m³/det)

A = luas penampang (m²)

Persamaan Momentum:

Gaya-gaya yang dianggap berpengaruh terhadap pergerakan air di dalam kolam fakultatif adalah gaya tekan hidrostatis, gaya gesekan terhadap dasar, dan gaya difusi turbulen. Dari hukum Newton II, diperoleh persamaan momentum pada arah x dan y adalah [10]:

Persamaan momentum arah x :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{rU}{H^2} (U^2 + V^2)^{1/2} = A_H \left[\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right] \quad (2)$$

Persamaan momentum arah y :

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{rV}{H^2} (U^2 + V^2)^{1/2} = A_H \left[\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

dimana :

g = konstanta gravitasi (9,80 m/det²)

A_H = koefisien difusi turbulen horisontal (m²/det) = 8,0

r = parameter pada gesekan di dasar = 0,035

Bilangan Froude adalah bilangan tidak berdimensi yang digunakan untuk menentukan karakteristik aliran, apakah aliran laminar atau turbulen. Bilangan ini diperoleh dari persamaan berikut [11] :

$$Fr = \frac{v_0^2}{gR} \quad (4)$$

dimana :

Fr = bilangan Froude

v_0 = kecepatan rata-rata (m/det)

R = jari-jari hidrolis

Pada penelitian ini, bilangan Froude digunakan untuk menentukan karakteristik aliran di kolam fakultatif. Bila kecepatan aliran sangat kecil, dimana aliran dianggap stagnan/mati, maka daerah dengan kecepatan stagnan tersebut dinyatakan sebagai daerah mati. Kriteria untuk kecepatan stagnan tersebut adalah bilangan Froude

dengan nilai kurang dari 10^{-5} . Dengan kata lain, tidak akan ada daerah mati bila bilangan Froude untuk aliran tersebut lebih dari 10^{-5} [11].

2. Metode Penelitian

Kolam stabilisasi di IPAK Bojongsoang terdiri atas 2 (dua) rangkaian pengolahan (site A dan site B) yang bekerja secara bergantian apabila satu rangkaian sedang dibersihkan atau dalam perbaikan. Setiap rangkaian terdiri atas 3 (tiga) kolam anaerobik secara paralel (An1, An2, An3) dan 2 (dua) kolam fakultatif secara paralel (F1, F2), kemudian menuju 2 (dua) kolam seri maturasi (M1, M2). Penelitian ini memfokuskan tinjauan pada kolam fakultatif F2 di site A (F2A) dengan luas 74.000 m² dan kedalaman rata-rata 2 m. Kolam fakultatif F2A memiliki 2 (dua) inlet yang berasal dari outlet kolam anaerobik An1A dan An2A serta memiliki 1 (satu) outlet menuju kolam maturasi M1.

Data primer dan sekunder yang diambil terdiri atas data debit influen dan efluen, serta data kecepatan dan arah angin. Debit influen dan efluen diperoleh dari data debit tahunan sejak tahun 1998 hingga 2001, sedangkan kecepatan dan arah angin berdasarkan data bunga angin (*windrose*) di kota Bandung pada tahun 2002.

Tahap penelitian dimulai dengan studi literatur, diikuti dengan pembuatan persamaan pengatur (*governing equations*) yang berasal dari dua buah persamaan hidrodinamika, yaitu persamaan kontinuitas dan momentum. Aspek hidrodinamika yang ditinjau adalah pada arah x dan y (2 dimensi), sehingga persamaan kontinuitas dan momentum tersebut diintegrasikan terhadap kedalaman. Kedua persamaan pengatur ini diselesaikan dengan metoda numerik beda hingga semi implisit (Crank-Nicolson) dan dibuat menjadi model komputasi dengan bantuan bahasa pemrograman Fortran serta digambarkan dengan program Surfer. Pembuatan model program didasarkan atas data primer dan sekunder. Untuk pengkalibrasian, model dimodifikasi terlebih dahulu menjadi model satu dimensi dan kemudian model satu dimensi dikalibrasikan dengan model skala laboratorium. Apabila hasil kalibrasi menunjukkan hasil yang baik, maka model numerik yang dibuat memenuhi fenomena fisik aliran air. Program model kemudian disimulasikan pada variasi debit influen mulai dari minimum (0,08 m³/det), rata-rata (0,25 m³/det), dan debit maksimum (0,7 m³/det), untuk melihat pengaruh variasi debit influen terhadap karakteristik hidrolis di kolam fakultatif.

Hasil simulasi kemudian dianalisis dengan menghitung waktu tinggal efektif dan luas efektif. Waktu tinggal efektif diperoleh dari perbandingan antara waktu tinggal yang diperoleh dari simulasi dengan waktu tinggal teoritis, yang dinyatakan dengan persentase. Waktu

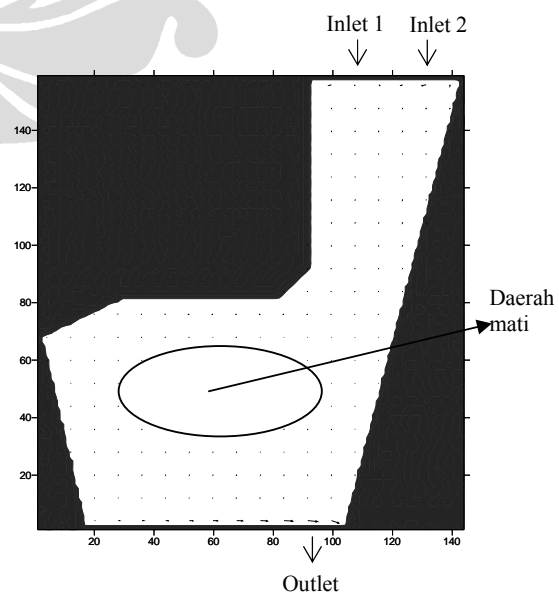
tinggal dari simulasi menjadi waktu tinggal aktual. Adapun waktu tinggal teoritis merupakan hasil dari volume kolam dibagi dengan debit influen. Luas efektif diperoleh dengan mengalikan waktu tinggal efektif dengan luas kolam seluruhnya (74.000 m²). Selain kedua perhitungan tersebut, dianalisa pula nilai bilangan Froude di dalam kolam untuk setiap simulasi. Bilangan Froude digunakan sebagai indikator untuk melihat adanya daerah mati. Suatu bagian kolam disebut daerah mati apabila kecepatan aliran airnya sangat rendah sehingga airnya dianggap diam. Kriteria daerah mati ini ditunjukkan dengan nilai bilangan Froude yang kurang dari 10^{-5} . Kriteria ini biasa digunakan pada unit sedimentasi [11].

3. Hasil dan Pembahasan

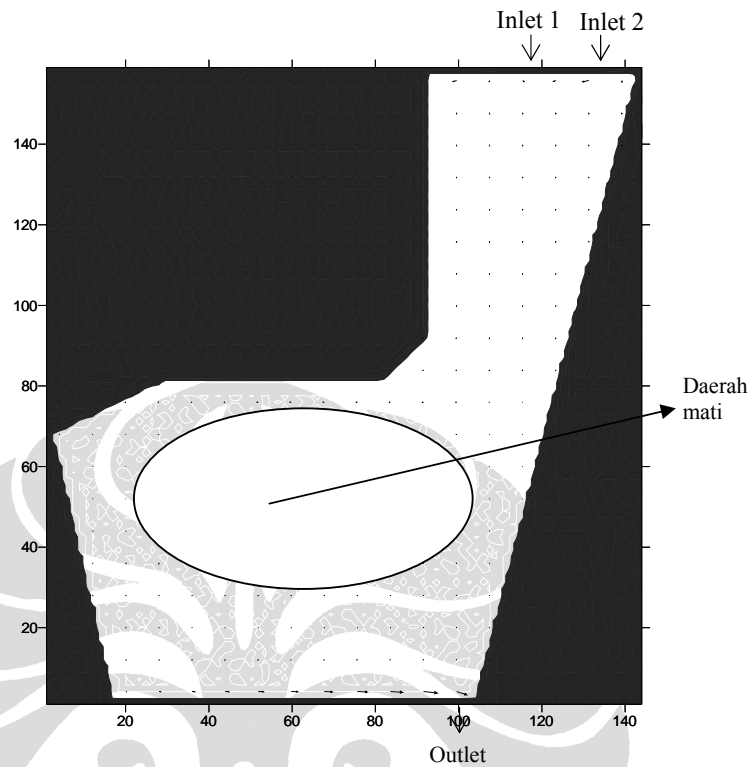
Gambar 1, 2, dan 3 menunjukkan hasil simulasi pada variasi debit. Pada setiap simulasi terlihat bahwa daerah mati terjadi di tengah kolam. Bila debit influen semakin besar maka kecepatan aliran di dalam kolam juga semakin besar. Bila kecepatan semakin besar, daerah mati akan dapat dikurangi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa debit influen yang makin besar akan mengurangi daerah mati.

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan waktu tinggal efektif dan luas efektif kolam fakultatif pada variasi debit.

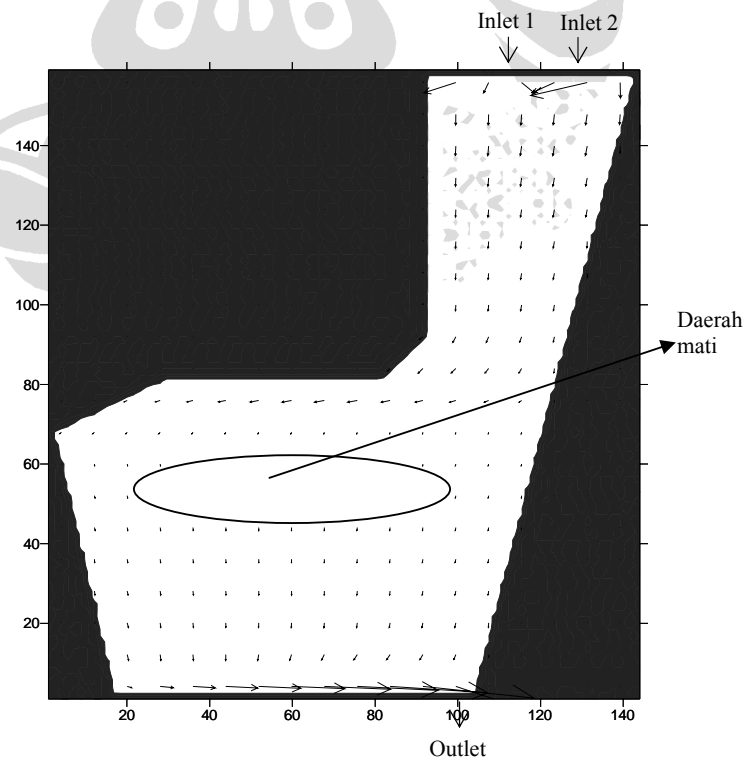
Pada Tabel 1 terlihat bahwa bila debit influen semakin besar, maka waktu tinggal efektif menjadi semakin besar, begitu pula dengan luas efektif. Hal ini berarti dengan debit influen yang semakin besar akan



Gambar 1. Pola aliran pada debit 0,08 m³/det



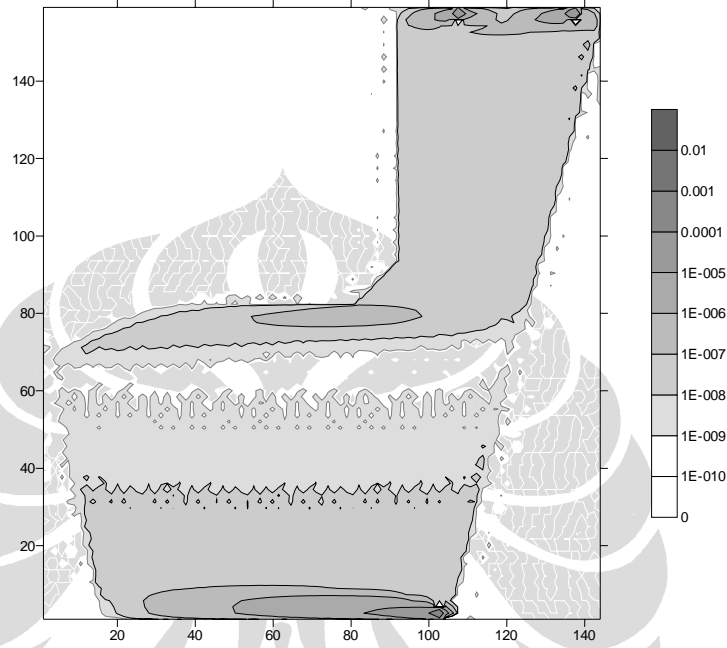
Gambar 3. Pola aliran pada debit $0,25 \text{ m}^3/\text{det}$



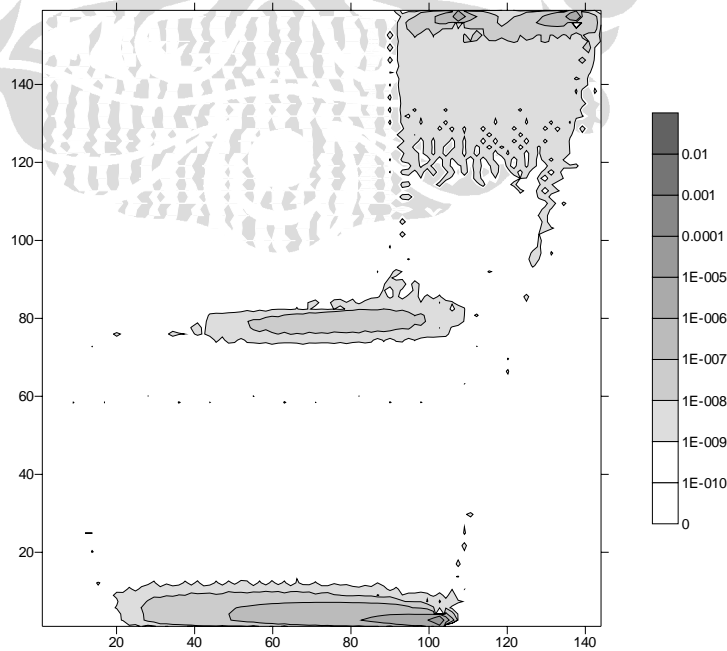
Gambar 4. Pola aliran pada debit $0,7 \text{ m}^3/\text{det}$

meningkatkan waktu tinggal air buangan sehingga mendekati waktu tinggal yang seharusnya (waktu tinggal teoritis). Ini juga berarti luas kolam yang berfungsi dalam pengolahan semakin besar, atau dengan

kata lain, daerah mati berkurang. Dengan meningkatnya luas efektif kolam diharapkan kinerja proses pengolahan di dalam kolam fakultatif diharapkan semakin baik.



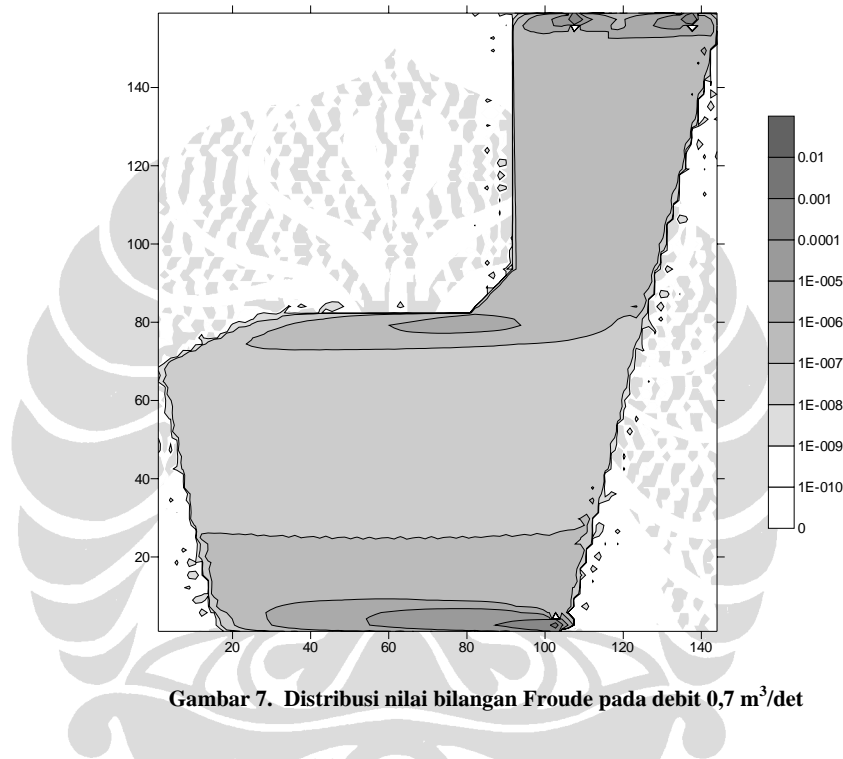
Gambar 5. Distribusi nilai bilangan Froude pada debit 0,08 m³/det



Gambar 6. Distribusi nilai bilangan Froude pada debit 0,25 m³/det

Tabel 1. Hasil perhitungan waktu tinggal efektif dan luas efektif

Debit (m ³ /det)	Luas kolam (m ²)	Waktu tinggal teoritis (hari)	Waktu tinggal aktual (hari)	Waktu tinggal efektif (%)	Luas efektif (m ²)
0,08	74.000	21,41	16,45	76,82	56.844,22
0,25	74.000	6,85	5,31	77,52	57.367,68
0,7	74.000	2,45	1,94	79,34	58.712,06

Gambar 7. Distribusi nilai bilangan Froude pada debit 0,7 m³/det

Nilai bilangan Froude ditampilkan dalam bentuk distribusi. Distribusi nilai bilangan Froude untuk tiap variasi debit ditunjukkan pada Gambar 5, 6, dan 7.

Dari ketiga gambar distribusi bilangan Froude di atas (Gambar 5, 6, 7) terlihat bahwa nilai bilangan Froude akan meningkat bila debit influen semakin besar. Pada Gambar 6 (debit 0,25 m³/det) terlihat bahwa daerah dengan bilangan Froude 10^{-10} semakin kecil. Bahkan pada Gambar 7 (debit 0,7 m³/det) tidak terdapat daerah dengan bilangan Froude 10^{-10} . Selain itu, daerah dengan nilai yang lebih besar, 10^{-9} hingga 10^{-5} , semakin luas. Dengan demikian dapat dikatakan, debit influen yang makin besar akan mengurangi daerah mati di dalam kolam.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisa waktu tinggal efektif, luas efektif, dan distribusi nilai bilangan Froude terhadap hasil simulasi

variasi debit influen, dapat dikatakan bahwa debit influen yang makin besar akan mengurangi daerah mati di dalam kolam. Hal ini berarti karakteristik hidrodinamika di dalam kolam menjadi lebih baik. Diharapkan, dengan daerah mati yang berkurang dan perbaikan karakteristik hidrodinamika ini akan meningkatkan kinerja pengolahan di dalam kolam.

Daftar Acuan

- [1] M.G. Wood, P.F. Greenfield, T. Howes, M.R. Johns, J. Keller, Water Science Technology 31 (1995) 111.
- [2] Dewangga, Rahmat S., Azhar, Evaluasi Kinerja Sistem Pengolahan Air Buangan Bojongsoang Divisi Air Kotor PDAM Kota Bandung, Laporan Kerja Praktek, Departemen Teknik Lingkungan ITB, Bandung, 2003.
- [3] N.C. Dorego, R. Leduc, Water Science Technology 34 (1996) 99.

- [4] J.J. Torres, A. Soler, J. Saez, J.F. Ortuno, *Water Research* 31(1997) 679.
- [5] J.J. Torres, A. Soler, J. Saez, L.M. Leal, M.I. Aguilar, *Water Research* 33 (1999) 1133.
- [6] J.J. Torres, A. Soler, J. Saez, M. Llorens, *Water Research* 34 (2000) 1042.
- [7] J.C. Agunwamba, *Water Research* 26 (1992) 1403.
- [8] M.G. Wood, T. Howes, J. Keller, M.R. Johns, *Water Research* 32 (1998) 958.
- [9] Y.M. Yustiani, Tesis Magister, Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2000.
- [10] H. Pradiko, Tesis Magister, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2002.
- [11] L. Huisman, *Sedimentation and Flotation, Mechanical Filtration*, Delft University of Technology, Dept. Sanitary Engineering Delft, Netherland, 1977.

