



JRT PPI 7 (2) (2016)

**Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

Journal homepage : www.ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

Perencanaan bak pengendap pada sistem lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis
Sedimentation tank design in activated sludge system of biscuit industry using graphical method

Nanik Indah Setianingsih*, Djarwanti, Moch. Syarif Romadhon

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 26 April 2016

Direvisi 05 September 2016

Disetujui 07 September 2016

Dipublikasikan online

23 November 2016

Keywords :

sedimentation

curve

graphical

design

ABSTRAK

Pengendapan merupakan suatu cara yang paling sederhana, murah, dan banyak digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Kinerja dari suatu desain bak pengendap sangat spesifik untuk setiap jenis limbah, oleh sebab itu jika suatu peralatan sedimentasi dirancang tanpa suatu eksperimen, kinerja yang dihasilkan sering tidak memuaskan. Metode grafis merupakan salah satu cara dalam menentukan desain bak sedimentasi. Metode grafis dapat menghasilkan suatu desain bak pengendap yang tepat sebagaimana sistem komputasi karena ditentukan dengan eksperimen namun dengan cara yang lebih sederhana dan biaya yang murah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bak pengendap dari proses lumpur aktif industri biskuit dengan metode grafis yang disesuaikan dengan kriteria dasar-dasar perencanaan bak pengendap. Penelitian secara laboratorium dilakukan melalui pengamatan proses pengendapan dalam column *settling test* dengan tinggi 150 cm dan luas penampang 100 cm². Parameter yang diamati adalah tinggi endapan terhadap waktu pengendapan. Berdasarkan perhitungan secara grafis didapatkan hasil sebagai berikut untuk mengendapkan lumpur dengan kandungan MLSS awal 4.325 mg/L menjadi 18.000 mg/L dengan debit 300 m³/hari diperlukan waktu pengendapan / HRT (*Hydraulic Retention Time*) 1,87 jam, luas area pengendapan 20,83 m², dan Volume bak pengendap 31,24 m³. Perkiraan lumpur yang dihasilkan adalah sebesar 98,61 kg MLSS/hari.

ABSTRACT

Sedimentation is the simplest, most widely and cheapest method used in wastewater treatment. The Performance of sedimentation tank is specific for each type of waste water, therefore if sedimentation tank is designed without experimental studies, unsatisfactory performance will often result. Graphical method is one of the technique to determine the design of settling tank. Graphical method is able to produce the accurate data for designing sedimentation tank similar as computational method based with more simple and least expensive. The aim of this research was to design the sedimentation basin from activated sludge process of biscuit industry by graphical method adjusted from the basics of sedimentation basin design. The laboratory experiment was performed by observing sedimentation process on glass tube. The glass tube has height 150 cm and cross-sectional area 100 cm². The observation parameters were height of sediment vs settling time. The result showed that, to precipitate sludge with initial MLSS of 4.325 mg/L to final MLSS of 18.000 mg/L, with the flowrate of 300 m³/day would need HRT (*Hydraulic Retention Time*) of 1,87 hour, cross-sectional sedimentation area of 20,83 m², and sedimentation basin volume of 31,24 m³. The estimation of the production sludge was 98,61 Kg MLSS/day.

© 2016 BBTPPI. All rights reserved.

*Alamat korespondensi :

E-mail : indahsnanik@yahoo.co.id (N.I. Setianingsih)

1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mencegah terjadinya pencemaran yang diakibatkan oleh air limbah industri, perusahaan diwajibkan untuk mengolah air limbahnya dengan baik dan benar didalam IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). IPAL terdiri dari beberapa unit peralatan yang masing masing peralatan mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Masing masing alat beroperasi secara simultan sehingga menghasilkan effluen yang memenuhi baku mutu yang disyaratkan. Kondisi yang ideal ini akan tercapai jika masing masing unit alat bisa beroperasi pada kondisi yang optimal. Masalah yang sering muncul didalam penerapan teknologi IPAL adalah kegagalan proses dan atau efisiensi pengolahan yang rendah sebagai akibat dari desain yang kurang tepat. Oleh karena itu, informasi yang tepat sangat diperlukan sebagai input didalam perancangan IPAL.

Salah satu unit IPAL adalah bak sedimentasi atau bak pengendap. Bak sedimentasi berfungsi untuk mengurangi kandungan TSS (*Total Suspended Solid*) dalam air limbah melalui proses fisik (gravitasi) tanpa penambahan bahan kimia sehingga kandungan COD dan BOD menjadi turun.

Telah dilakukan beberapa penelitian tentang sifat-sifat suspensi untuk menentukan desain proses pengendapan yang ideal, namun belum ada persamaan yang cocok untuk mensimulasikan tipe pengendapan pada pengolahan air limbah untuk memudahkan desain bak pengendap, terlepas dari kemajuan-kemajuan yang sudah diperoleh tentang studi pengendapan suspensi (Lori dkk., 2009).

Penentuan desain bak pengendap secara empiris memperoleh kriteria desain antara lain *overflow rate*, kedalaman, geometri permukaan dan HRT. Kriteria ini membantu perancangan bak pengendap namun belum cukup akurat untuk memprediksi kinerja pengendapan yang sebenarnya (Lee dkk., 2014).

Model yang lebih teliti berbasis komputasi dinamika fluida CFD (*computational fluid dynamics*) telah digunakan untuk memprediksi pola aliran dan distribusi suspended solid dalam bak sedimentasi (Goula dkk., 2008), dan (Piro dkk., 2011) juga telah mencoba menentukan desain bak sedimentasi dengan metode komputasi sederhana. Metode-

metode tersebut dapat diterapkan dengan cepat dan menghasilkan data yang ekuivalen dengan data yang diperoleh dengan metode grafis konvensional yang sudah diakui ketepatannya untuk menentukan proses pengendapan air limbah. Sayangnya untuk teknik rekayasa, metode CFD kurang cocok digunakan karena kompleksitasnya. (Vallet dkk., 2014).

Model bak sedimentasi berbasis CFD belum banyak digunakan karena penentuan persamaan untuk aliran yang bersifat fluktuatif sangat rumit, selain itu juga diperlukan biaya yang berkaitan dengan hardware dan software khusus. Saat ini, baru sejumlah kecil organisasi atau industri yang menggunakan teknik CFD dalam menentukan bak sedimentasi pada fasilitas IPAL mereka karena tingginya biaya lisensi untuk penggunaan software CFD (Lori dkk., 2009).

Kinerja dari suatu desain bak pengendap sangat spesifik untuk masing-masing jenis limbah. Oleh sebab itu jika suatu peralatan sedimentasi dirancang tanpa suatu studi eksperimen, kinerja yang dihasilkan akan sering tidak memuaskan. Suatu percobaan diperlukan untuk memperoleh model kontur plot *total solid removal* pada ketinggian dan waktu yang berbeda, yang juga akan diperlukan dalam membuat grafik untuk menggambarkan dan menentukan persentase *total solid removal* dalam tangki pada waktu tertentu (Harfouche dan Sencan, 2014).

Metode penentuan bak sedimentasi secara grafis merupakan salah satu pilihan dalam menentukan desain bak sedimentasi terutama untuk industri skala kecil dan menengah di Indonesia. Metode ini dapat menghasilkan suatu desain bak pengendap yang tepat sebagaimana sistem komputasi karena ditentukan dengan eksperimen namun dengan biaya yang murah dan cara yang lebih sederhana. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bak pengendap dari proses lumpur aktif industri biskuit menggunakan metode grafis disesuaikan dengan kriteria dasar-dasar perencanaan bak pengendap.

Kriteria yang diperlukan dalam perencanaan bak pengendap antara lain adalah *surface loading* (beban permukaan), kedalaman bak, waktu tinggal, dan ratio antara luas permukaan dan kedalaman bak. Faktor-faktor ini akan mempengaruhi karakteristik aliran, sehingga apabila

persyaratannya terpenuhi maka proses pengendapan dapat berlangsung dengan efisien.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Ruang Lingkup

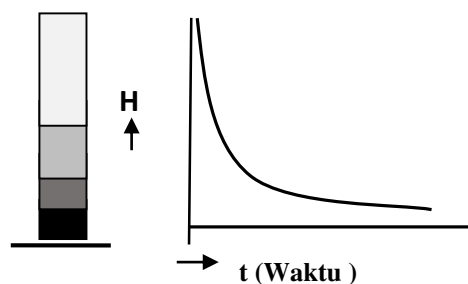
Pada penelitian ini metode grafis digunakan untuk mendesain bak pengendap yang spesifik untuk satu sistem lumpur aktif yang telah diketahui konsentrasi MLSS nya. Sebelum mendesain sebuah bak pengendap final, maka perlu dilakukan percobaan laboratorium secara *batch* menggunakan *column settling test*. Pengamatan dilakukan terhadap tinggi endapan pada t_0 (waktu awal) hingga t (waktu yang ditentukan). Data yang diperoleh adalah hubungan antara tinggi endapan dengan waktu. Setelah dilakukan olah data didapatkan kurva hubungan antara waktu dan ketinggian endapan. Kurva ini dapat digunakan untuk menentukan desain bak pengendap dengan berbagai variasi konsentrasi MLSS yang diinginkan. Pada percobaan ini konsentrasi MLSS yang diinginkan adalah dari 4.325 mg/L menjadi 18.000 mg/L.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air limbah dari proses lumpur aktif di salah satu industri biskuit di Kabupaten Semarang dengan konsentrasi awal MLSS adalah 4.325 mg/L. Alat yang digunakan untuk percobaan adalah *column settling test* berupa tabung kaca dengan luas permukaan 100 cm² dan tinggi 150 cm. Peralatan yang digunakan untuk analisa adalah MLSS meter, oven, kertas saring, peralatan gelas dan desikator.

2.3. Prosedur Penelitian

Percobaan pengendapan dilakukan dalam tabung kaca dengan variasi waktu 0 (t_0); 10; 20; 30..... 180 (t) menit. Sampel air limbah dari proses lumpur aktif dikocok hingga homogen kemudian dimasukkan kedalam tabung kaca. Proses pengendapan yang terjadi diamati dengan mencatat waktu dan tinggi endapan lumpur yang terjadi. Proses pengendapan yang terjadi dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara tinggi endapan dan waktu pengendapan

2.2. Analisis Hasil

Data hasil pengamatan diolah dengan membuat kurva hubungan antara tinggi endapan lumpur dengan waktu pengendapan (Masduqi dan Slamet, 2002). Ditentukan *slope* pada zona *free settling* dan *hindered settling*, kemudian perpanjang garis lurus dari kedua zona tersebut. Tentukan titik pertemuan garis dari kedua zona, tentukan titik pusat lengkungan dan buat garis singgung. Dengan mengetahui konsentrasi lumpur awal (C_0) dan tinggi endapan lumpur awal (H_0) dan konsentrasi desain *underflow* (C_u), tentukan tinggi lumpur *underflow* (H_u) dengan persamaan $C_0 \cdot H_0 = C_u \cdot H_u$. Buat garis horisontal dari H_u hingga memotong garis singgung, maka diketahui t_u (waktu yang diperlukan untuk mencapai konsentrasi C_u). Dari perhitungan secara grafis didapatkan data dasar yang digunakan dalam rancangan, kemudian ditentukan dimensi bak, waktu tinggal serta perkiraan lumpur yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kurva Pengendapan

Pengendapan dapat dibedakan menjadi 4 tipe menurut Metcalf dan Eddy di dalam (Komalasari, 2011) yaitu pengendapan tipe I, pengendapan tipe II, pengendapan tipe III dan pengendapan tipe IV. Pengendapan tipe IV merupakan kelanjutan dari pengendapan tipe III di mana terjadi pemampatan (kompresi) massa partikel hingga diperoleh konsentrasi lumpur yang tinggi. Sebagai contoh

sedimentasi tipe III dan IV ini adalah pengendapan lumpur biomassa pada *final clarifier* setelah proses lumpur aktif.

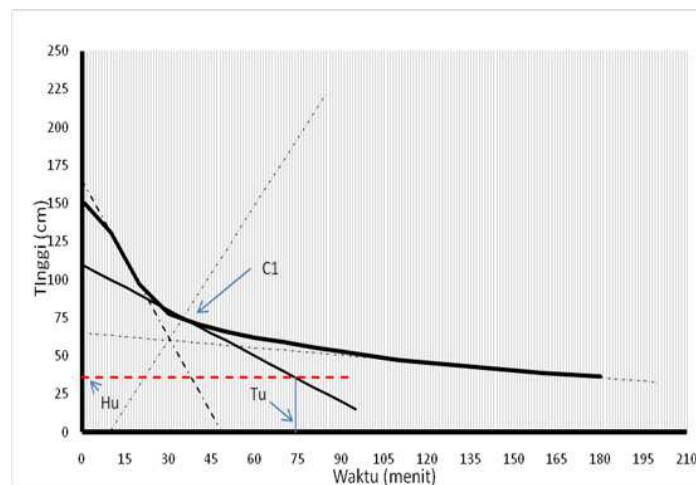
Dari suatu proses lumpur aktif, jika lumpur diendapkan dalam suatu kolom kaca, maka akan terlihat jelas batas *interface* antara lumpur dan larutan jernih yang bisa terlihat dalam kurun waktu tertentu. Tahmadge dan Fitch di dalam (Masduqi dan Slamet, 2002) mengembangkan fenomena ini dan menggambarkan dalam bentuk kurva pengendapan yang berbentuk garis lengkung. Garis singgung yang melewati titik pusat lengkungan menggambarkan hubungan antara konsentrasi lumpur dan waktu pengendapan.

Percobaan pengendapan lumpur aktif dalam tabung kaca dengan tinggi cairan 150 cm dan diameter 100 cm² menghasilkan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara tinggi endapan terhadap waktu pengendapan

T, waktu (menit)	H, Tinggi Endapan (cm)
1	150
10	131
20	97
30	78
40	71
50	66
60	62
70	59
80	56
90	53
100	50
110	47,5
120	45,5
130	44
140	42,2
150	40,5
160	39
170	37,5
180	36,5

Kurva H vs T hasil percobaan tersebut ditampilkan pada Gambar 2. Melalui kurva tersebut bisa dihitung secara grafis hubungan antara konsentrasi lumpur *underflow* yang diinginkan dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*). Dengan metode kecepatan pengendapan secara *batch* dengan mudah dapat ditentukan dan keakuratan prosedur ini sangat tergantung pada penentuan titik kompresi (Li dan Stenstrom, 2013).



Gambar 2. Kurva sedimentasi

Kecepatan pengendapan didefinisikan sebagai laju pengurangan atau penurunan ketinggian daerah batas antara *slurry* (endapan) dan *supernatant* (*liquid* jernih) pada suhu seragam untuk mencegah pergeseran fluida karena konveksi (Lourentius dkk., 2014).

Didalam proses sedimentasi ini terjadi pemisahan antara padatan dengan cairan yang berupa *slurry* encer. Pemisahan ini menghasilkan cairan jernih dan padatan dengan konsentrasi tinggi. Mekanisme dari sedimentasi dideskripsikan dengan observasi pada tes *batch settling* yaitu ketika partikel-partikel padatan dalam suatu *slurry* mengalami proses pengendapan dalam tabung kaca.

Pada keadaan awal, konsentrasi *slurry* adalah seragam di seluruh bagian tabung. Kecepatan sedimentasi konstan terlihat pada grafik hubungan antara kedalaman dan waktu pengendapan (Gambar 2) yang membentuk garis lurus untuk periode awal. Periode ini disebut *free settling*, dimana padatan bergerak turun hanya karena gaya gravitasi. Kecepatan yang konstan ini disebabkan oleh konsentrasi di lapisan batas yang

relatif masih kecil, sehingga pengaruh gaya tarik-menarik antar partikel, gaya gesek dan gaya tumbukan antar partikel dapat diabaikan. Partikel yang berukuran besar akan turun lebih cepat, menyebabkan tekanan ke atas oleh cairan bertambah, sehingga mengurangi kecepatan turunnya padatan yang lebih besar. Hal ini membuat kecepatan penurunan semua partikel (baik yang kecil maupun yang besar) relative sama atau konstan. Semakin banyak partikel yang mengendap, konsentrasi menjadi tidak seragam diikuti bagian bawah *slurry* menjadi lebih pekat. Konsentrasi pada bagian batas bertambah, gerak partikel semakin sukar dan kecepatan turunnya partikel berkurang. Kondisi ini disebut *hindered settling*.

Kondisi *free settling* dan *hindered settling* dapat diamati pada gambar 2 yaitu grafik hubungan antara H (tinggi endapan) dan t (waktu pengendapan), dimana untuk kondisi *free settling* ditunjukkan saat grafik masih berupa garis lurus, sedangkan saat grafik mulai melengkung merupakan kondisi *hindered settling* (Lourentius dkk., 2014).

Pada kurva sedimentasi ditentukan slope di zona *free settling* dan di zona *compression*. Dari titik pertemuan dua slope tersebut ditentukan titik pusat lengkungan dan dibuat garis singgung. Melalui garis singgung ini bisa dihitung tinggi lumpur dan konsentrasi lumpur *underflow*. Data yang diperoleh dari prinsip sedimentasi secara *batch* dapat digunakan untuk merencanakan proses yang kontinyu. Sebagai simulasi diberikan contoh mendesain bak pengendap dengan kriteria sebagai berikut :

Kriteria disain

Konsentrasi MLSS lumpur awal, $C_0 = 4325 \text{ mg/L}$

Konsentrasi lumpur *underflow*, yang diinginkan $C_u = 18.000 \text{ mg/L}$

Debit aliran, $Q = 300 \text{ m}^3/\text{hari}$

Debit sirkulasi lumpur $Q_R = 100 \text{ m}^3/\text{hari}$

Bentuk bak sedimentasi rectangular

3.2. Perencanaan bak pengendap

a. Tinggi endapan

Dibuat garis lurus dari zona pengendapan dan zona *compression*. Dari titik potong kedua garis tersebut ditarik

garis bagi memotong kurva di titik C_1 . Dari titik C_1 dibuat garis singgung. Diinginkan konsentrasi MLSS *underflow* 18.000 mg/L . maka ketinggian endapan :

$$\text{Ketinggian } H_u = \frac{C_0 \cdot H_0}{C_u} = \frac{4325 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 150 \text{ cm}}{18.000 \text{ mg/l}} = 36,04 \text{ cm}$$

Ditarik garis horizontal pada ketinggian $36,04 \text{ cm}$ memotong garis singgung. Apabila dari titik potong ini ditarik garis vertikal sampai memotong garis ordinat, didapatkan $T_u = 75 \text{ menit}$. Dari perhitungan ini diketahui bahwa untuk mengendapkan lumpur dengan konsentrasi MLSS awal 4325 mg/L menjadi 18.000 mg/L diperlukan waktu waktu 75 menit , tinggi endapan semula 150 cm menjadi $36,04 \text{ cm}$.

b. Area yang diperlukan untuk mengendapkan lumpur

$$\text{Area } A = \frac{1,5 (Q + Q_R) T_u}{H_0} = \frac{1,5 (300 + 100) \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \cdot 75 \text{ menit}}{150 \text{ cm}} = 20,83 \text{ m}^2$$

c. Volume bak

$$\text{Volume bak } V = A \cdot H_0 = 20,83 \text{ m}^2 \cdot 150 \text{ cm} = 31,24 \text{ m}^3$$

d. Waktu tinggal cairan, HRT (*Hydraulic Retention Time*)

$$\text{Waktu tinggal HRT} = \frac{V}{(Q + Q_R)} = \frac{31,24 \text{ m}^3}{(300 + 100) \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} = 1,87 \text{ jam}$$

e. Dimensi bak

Bentuk bak *rectangular*. Dengan perbandingan panjang : lebar = 3:1

$$3L \times 1L = 20,83.$$

$$3L^2 = 20,83.$$

$$L^2 = 20,83$$

$$L = 2,63$$

Lebar bak pengendap = $2,63 \text{ m}$ dan panjang = $7,90 \text{ m}$, kedalaman = $1,5 \text{ m}$. Apabila dasar bak dibuat miring dengan kedalaman $1,5 \text{ m}$ dan 1 m maka lebar bak $2,90 \text{ m}$ dan panjang bak $8,70 \text{ m}$

f. Produksi lumpur

Jumlah lumpur yang terbentuk ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

Jumlah lumpur $P = Q_{ave} \cdot SS \cdot R \cdot 10^{-5} = 300 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $4325 \text{ mg/L} \cdot 76 \cdot 10^{-5} = 98,61 \text{ kg MLSS/hari}$
 Dimana Q_{ave} = debit rata-rata (m^3/hari), SS = konsentrasi MLSS awal (mg/L) dan R = MLSS terolah (%).

g. Surface hydraulic Loading Rate (HLR)

$$HRL = \frac{(Q+Q_R)}{A} = \frac{(300+100) \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{20,83 \text{ m}^2} = 19,20 \text{ m/hari}$$

4. KESIMPULAN

Hasil percobaan pengendapan lumpur aktif secara laboratorium dengan menggunakan *column settling test* dapat digunakan sebagai data dasar perencanaan bak pengendap. Dengan menggunakan perhitungan secara grafis bisa direncanakan dimensi bak pengendap, volume bak, HRT (*Hydraulic Retention Time*), jumlah lumpur, *surface hydraulic loading rate* dan ketinggian lumpur. Pada sistem lumpur aktif industri biskuit sebagai sampel untuk mengendapkan lumpur dengan kandungan MLSS awal 4325 mg/L menjadi 18.000 mg/L dengan debit 300 m^3/hari diperlukan HRT 1,87 jam, luas area pengendapan 20,83 m^2 , volume bak pengendap 31,24 m^3 . Perkiraan lumpur yang dihasilkan adalah sebesar 98,61 kg MLSS/hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BBTPPI dan PT. Nissin Biscuit yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian, serta kepada seluruh tim penelitian dan analis laboratorium yang telah berkontribusi hingga terselesainya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Goula AM., Kostoglou M., Karapantsios TD., Zouboulis AI., 2008, A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment Case study: The influence of a feed flow control baffle, *Chemical Engineering Journal* 140 :110–121.

- Harfouche N. dan Sencan D., 2014, - Graphical model for continuous horizontal flow settling tank design, *International Journal of Numerical* : 37–41.
- Komalasari D., 2011, Modul I Prasedimentasi dan Sedimentasi 3. <http://www.academia.edu/7251803>.
- Lee, S., Maniquiz-redillas MC., Kim L., 2014, Settling basin design in a constructed wetland using TSS removal efficiency and hydraulic retention time, *Journal of Environmental Science* 26(9) : 1791–1796. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2014.07.002>.
- Li B., Stenstrom MK., 2013, Dynamic one-dimensional modeling of secondary settling tanks and design impacts of sizing decisions, *Water Research* 50 : 160–170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.037>.
- Lori H., Taboada-lo D., Jime H., 2009, Approximate Method for Designing a Primary Settling Tank for Wastewater, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 48(16): 7842–7846.
- Masduqi A., Slamet A., 2002. Satuan Operasi. In Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, p. 167.
- Piro P., Carbone M., Penna N., Marsalek J., 2011, Characterization of the settling process for wastewater from a combined sewer system, *Water Research* 45(20):6615–6624. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.034>.
- Setiyadi, Lourentius S., Ezra AW., Gede PMS., 2014, Menentukan Persamaan Kecepatan Pengendapan Pendahuluan. *Widya Teknik*, 10(1) : 9–17.
- Vallet B., Muschalla D., Lessard P., Vanrolleghem PA., 2014, A new dynamic water quality model for stormwater basins as a tool for urban runoff management: Concept and validation, *Urban Water Journal* 11(3): 211–220. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2013.775313>.