

**PENGARUH RASIO PANJANG DAN JARAK ANTAR PLATE SETTLER TERHADAP
EFISIENSI PENYISIHAN TOTAL SUSPENDED SOLIDS (TSS) PADA REAKTOR
SEDIMENTASI RECTANGULAR**

Fajar Indrawan^{*)}, Wiharyanto Oktiawan^{)}, Badrus Zaman^{**)}**
Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email : indrawan_f@yahoo.co.id

Abstrak

Air bersih menjadi salah satu kebutuhan yang mendasar bagi kehidupan manusia. Sebagian besar sumber air baku berasal dari air permukaan yang mengandung material diskrit seperti kerikil, pasir, koloid, dan partikel – partikel tersuspensi (total suspended solid) yang menyebabkan kekeruhan pada badan air, sehingga dalam penurunan padatan tersuspensi diperlukan bak sedimentasi. Masalah yang sering ditimbulkan yaitu bak sedimentasi konvensional membutuhkan lahan yang luas, sedangkan lahan yang tersedia terbatas. Oleh karena itu perlu memodifikasi bak sedimentasi konvensional salah satu cara yaitu dengan menambahkan plate settler. Plate settler memiliki kriteria desain rasio panjang dan jarak antar plate settler. Namun belum diketahui rasio panjang dan jarak antar plate settler yang menghasilkan efisiensi penyisihan TSS optimal. Penelitian ini dilakukan menggunakan rangkaian reaktor yang terdiri dari reaktor koagulasi, reaktor flokulasi, dan reaktor sedimentasi sistem kontinu dengan debit pengolahan 10 mL/detik. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu panjang plate settler (l_p) 10 cm ; 20 cm ; dan 30 cm dan jarak antar plate settler (d_p) 1 cm ; 2 cm ; 3,25 cm ; 5,5 cm ; dan 7,25 cm. Kombinasi dari kedua variasi tersebut menghasilkan rasio panjang dan jarak antar plate settler atau rasio l_p/d_p 1,4 ; 1,8 ; 2,7 ; 2,8 ; 3,6 ; 4,1 ; 5 ; 5,3 ; 5,5 ; 8 ; 10 ; 15 ; 20 ; dan 30. Lokasi penelitian dan air baku yang digunakan yaitu air Waduk Pendidikan Diponegoro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio panjang dan jarak antar plate settler atau rasio l_p/d_p optimal adalah 15. Rasio l_p/d_p 15 merupakan hasil kombinasi dari panjang plate settler 30 cm dan jarak antar plate settler 2 cm. Panjang, jarak antar plate settler, dan rasio l_p/d_p tersebut mampu menghasilkan efisiensi penyisihan TSS sebesar 62% dan efisiensi penyisihan kekeruhan 34%, dengan biaya yaitu sebesar Rp 29.568,00.

Kata kunci: Rasio panjang dan jarak, plate settler, TSS, bak sedimentasi rectangular, efisiensi penyisihan, optimal

Abstract

[Influence of Ratio Length and Distance Between Plate Settler toward TSS Efficiency Removal at Sedimentation Rectangular Reactors]. Water become of the basic needs for human life. Most of water resources come from surface water containing discrete materials like gravel sand a colloid and suspended particles suspended (total suspended solid) cause turbidity on body of water, so in reduction of solids suspended the sediment basin is needed .The problem is often come up is conventional sedimentation need large area, whereas the land are limited. Hence the need to modify conventional sediment basin, one of the method is add plate settler. Plate settler having design criteria the ratio length and distance between plate settler. It is not yet known to the ratio of length and distance between plate settler who produce optimum TSS removal efficiency. This research carried out using the reactor consisting of coagulation reactor, flocculation reactor, and continuous sediment reactor system with treatment discharge 10 mL/s. Variation which used in this research are length plate settler (l_p) 10 cm ; 20 cm ; and 30 cm and distance between plate settler (d_p) 1 cm ; 2 cm ; 3,25 cm ; 5,5 cm; and 7,25 cm. A combination of both these variations produce the ratio of the length and distance between plate settler or ratio l_p/d_p 1.4 ; 1.8 ; 2.7 ; 2.8 ; 3.6 ; 4.1 ; 5 ; 5.3 ; 5.5 ; 8 ; 10 ; 15 ; 20 ; and 30 .

Research locations and raw water that used namely from Diponegoro educational dam. The results of the research showed that ratio length and distance between plate settler or ratio l_p/d_p optimum is 15. This ratio is combination from length plate settler 30 cm and distance between plate settler 2 cm. Length, distance between plate settler, and the ratio l_p/d_p is able to produce TSS efficiency by 62% and 34% turbidity removal efficiency, at a cost of Rp. 29.568,00 .

Keywords: ratio of length and distance, plate settler, TSS, rectangular sedimentation basin, removal efficiency, optimum

PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan mendasar dalam kehidupan manusia. Air bersih yang memenuhi standar atau persyaratan kesehatan adalah air bersih yang tidak berbau, berwarna, dan berasa serta memenuhi baku mutu yang ditentukan (Karamah dan Lubis, 2010). Sebagian besar sumber air baku dalam penyediaan air bersih di kota besar Indonesia berasal dari air permukaan. Air permukaan secara fisik terdapat sedimen total atau polutan fisik yang terdiri atas material diskrit seperti kerikil, pasir, koloid, dan partikel – partikel tersuspensi (*total suspended solids*) yang menyebabkan kekeruhan pada badan air, sehingga dalam penurunan padatan tersuspensi diperlukan bak pengendapan (sedimentasi) (Husaeni *et al.*, 2013).

Prinsip kerja bak sedimentasi yaitu memisahkan padatan dengan larutan memanfaatkan gaya gravitasi (Reynolds dan Richards, 1982). Tipe bak sedimentasi dibagi menjadi 4 berdasarkan karakteristik pengendapan partikel, yaitu: (1) *discrete settling*, (2) *flocculent settling*, (3) *hindered settling*, dan (4) *compression settling* (Davis, 2010). Pemisahan partikel tersuspensi dalam cairan dipengaruhi oleh nilai *specific gravity* yang dimiliki partikel tersebut. Bak sedimentasi memiliki efisiensi penyisihan *Suspended Solids* (SS) sebesar 50 – 60% (Kurniawan, 2015).

Salah satu pertimbangan dalam mendesain bak sedimentasi yaitu luas lahan yang diperlukan (*plan area*). Masalah yang timbul yaitu bak sedimentasi hasil perhitungan

dengan efisiensi penyisihan yang tinggi membutuhkan lahan yang luas, namun lahan yang tersedia tidaklah cukup (Crittenden *et al.*, 2012). Hal ini disebabkan karena efisiensi penyisihan dipengaruhi oleh luas permukaan atau *surface area* (A) bak sedimentasi. Menurut Demir (1994), untuk meningkatkan efisiensi penyisihan bak sedimentasi maka luas permukaan pun harus ditingkatkan. Oleh karena itu perlu memodifikasi bak sedimentasi agar sesuai dengan lahan yang tersedia. Bak sedimentasi hasil modifikasi diharapkan memiliki efisiensi penyisihan yang lebih baik tanpa menambah luas lahan yang telah tersedia. Salah satu modifikasi yang dapat diterapkan yaitu menambahkan *platesettler* atau *lamella settler* di zona pengendapan bak sedimentasi (Crittenden *et al.*, 2012).

Plate settler merupakan susunan keping sejajar, yang disusun dengan panjang, jarak, dan sudut yang telah ditentukan sehingga berfungsi untuk memperluas bidang pengendapan. *Plate settler* merupakan alat yang sering digunakan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan tanpa membutuhkan lahan yang terlalu luas (Prayitna, 1991 dalam Pratiwi dan Hermana, 2014). Salah satu kriteria desain *plate settler* yaitu panjang relatif *plate settler* (L). Panjang relatif merupakan hasil pembagian antara panjang *plate settler* (l_p) dan jarak antar *plate settler* (d_p) (Clark *et al.*, 2009 dalam Saady, 2012) atau bisa disebut dengan rasio l_p/d_p . Variasi dari panjang *plate* (l_p) dan jarak antar *plate* (d_p) berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan bak sedimentasi (Demir, 1994). Investigasi dan praktik di lapangan telah menentukan nilai rasio panjang dan jarak

antar *plate settler* terbaik yaitu berkisar antara 15 – 20 (Ziolo, 1995). Penambahan *plate settler* pada zona pengendapan akan mengurangi nilai *overflow rate* (Prayitna, 1991 dalam Pratiwi dan Hermana, 2014) sehingga memungkinkan efisiensi penyisihan akan meningkat (Demir, 1994).

Kriteria desain jarak antar *plate settler* (d_p) yaitu 22 – 55 mm (Wang, *et al.*, 2005) dan 2 – 4 cm (Visvanathan, 2004 dalam Pratiwi dan Hermana, 2014). Sementara itu kriteria desain rasio panjang dan jarak antar *plate settler* yaitu 15 – 20 (Ziolo, 1995). Perencana dapat menentukan jarak antar *platesettler* dan rasio l_p/d_p sesuai dengan nilai kriteria desain yang ada. Namun dari nilai kriteria desain tersebut, belum diketahui jarak antar *platesettler* dan rasio l_p/d_p yang menghasilkan efisiensi penyisihan optimal dalam menyisihkan *total suspended solid* (TSS). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, sehingga nantinya akan menghasilkan rekomendasi dalam pemilihan panjang, jarak antar *platesettler*, dan rasio l_p/d_p .

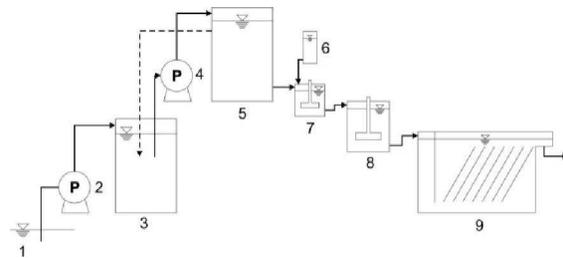
METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini bersifat eksperimen laboratorium. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan rangkaian reaktor sistem kontinyu, yaitu berupa bak sedimentasi *rectangular* dengan volume 46,7 L. Sebelum reaktor sedimentasi *rectangular*, didahului reaktor koagulasi dan flokulasi tipe pengadukan menggunakan *paddle* dengan volume masing - masing 0,6 L dan 6 L. Air baku dan penelitian dilaksanakan di Waduk Pendidikan Diponegoro. Adapun variabel penelitian adalah sebagai berikut.

1. Variabel Bebas
 - Panjang *plate settler* (l_p) = 10 cm ; 20 cm ; 30 cm
 - Jarak antar *plate settler* (l_p) = 1 cm ; 2 cm ; 3,75 cm ; 5,5 cm ; dan 7,25 cm.
 - Rasio l_p/d_p = 1,4 ; 1,8 ; 2,7 ; 2,8 ; 3,6 ; 4,1 ; 5 ; 5,3 ; 5,5 ; 8 ; 10 ; 15 ; 20 ; 30.

2. Variabel Terikat
Efisiensi penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS)
3. Variabel Kontrol
 - Debit pengolahan = 10 mL/detik.
 - Debit koagulan = 0,06 mL/detik.
 - Waktu detensi = koagulasi 1 menit, flokulasi 10 menit, sedimentasi 78 menit.
 - Kemiringan *plate settler* = 60°
 - Bentuk *plate settler* = lempengan (*flat*)

Berikut ini rangkaian reaktor penelitian.



Gambar 1 Rangkaian Reaktor Penelitian

Keterangan :

1. Air waduk
2. Pompa air
3. Reservoir
4. Pompa akuarium
5. TAR (Tangki Aliran Rata-Rata)
6. Botol koagulan
7. Reaktor koagulasi
8. Reaktor flokulasi
9. Reaktor sedimentasi

Selain parameter TSS, parameter lain yang akan dianalisis yaitu kekeruhan, pH, dan suhu. Efisiensi penyisihan dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$\% \text{ removal} = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100\%$$

Data hasil pengujian dan perhitungan dianalisis secara kuantitatif dengan bantuan software Microsoft Excel, sedangkan untuk mengetahui pengaruh rasio l_p/d_p terhadap efisiensi penyisihan TSS pada reaktor sedimentasi *rectangular*, menggunakan software SPSS 16.0. Uji yang digunakan yaitu uji normalitas, uji linearitas dan uji regresi linear sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Waduk Pendidikan Diponegoro

Berikut ini hasil uji karakteristik air Waduk Pendidikan Diponegoro.

Tabel 1 Karakteristik Air Waduk Pendidikan Diponegoro

No.	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu
1	TSS	mg/L	226	50 ⁽¹⁾
2	Kekeruhan	NTU	5.36	5 ⁽²⁾
3	pH	-	7.60	6 – 9 ⁽²⁾
4	Suhu	°C	28.4	Suhu udara +3 ⁽²⁾

Keterangan :

(1) PP No. 82 Tahun 2001

(2) Permenkes No. 416

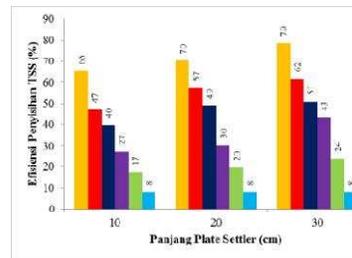
Pada tabel 1 parameter TSS dan kekeruhan melebihi baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 dan Permenkes No. 416. Konsentrasi TSS dan kekeruhan yang melebihi baku mutu menjadi salah satu indikator banyaknya material fisik seperti padatan (*solid*) baik diskrit, koloid, maupun tersuspensi di dalam air Waduk Undip. Hal ini merupakan salah satu ciri dari karakteristik air permukaan (Husaeni *et al.*, 2013). Konsentrasi TSS dan kekeruhan berasal dari limbah domestik (Manjo, 2014) dan limpasan air hujan yang terbawa oleh aliran Sungai Krenseng menuju ke Waduk Undip. Saat hujan terjadi membuat debit sungai menjadi lebih besar dan aliran lebih deras menyebabkan terjadinya aliran turbulensi. Aliran turbulensi ini menyebabkan terjadi proses penggerusan bagian tepi dan dasar sungai. Akibat dari proses penggerusan tersebut menyebabkan lapisan tanah akan bercampur dan membentuk suspensi pada air sungai. Terbentuknya suspensi akan menyebabkan kekeruhan pada air sungai.

Hasil Uji (*Total Suspended Solids*) TSS.

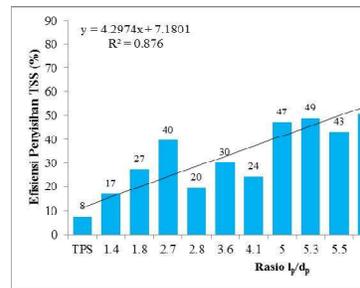
Tabel 2 Efisiensi Penyisihan TSS dengan Variasi Rasio l_p/d_p

l_p (cm)	d_p (cm)	l_p/d_p	%TSS
Tanpa <i>plate settler</i>			8

10	7.25	1.4	17
10	5.5	1.8	27
10	3.75	2.7	40
20	7.25	2.8	20
20	5.5	3.6	30
30	7.25	4.1	24
10	2	5	47
20	3.75	5.3	49
30	5.5	5.5	43
30	3.75	8	51
20	2	10	57
30	2	15	62
20	1	20	70
30	1	30	79



Gambar 2 Grafik Efisiensi Penyisihan TSS



Gambar 3 Grafik Efisiensi Penyisihan TSS berdasarkan rasio l_p/d_p terkecil hingga terbesar

Penambahan panjang *plate settler* menyebabkan penurunan nilai *overflow rate* sehingga nilai efisiensi penyisihan TSS akan meningkat. *Overflow rate* merupakan hasil bagi antara debit pengolahan (Q) dan luas permukaan (A). Secara sederhana, dengan adanya penambahan *plate settler* untuk memperluas bidang pengendapan, mengakibatkan nilai A akan semakin besar, sehingga nilai *overflow rate* akan semakin kecil (Demir, 1994). Hubungan berbanding terbalik antara panjang *plate settler* menunjukkan bahwa penambahan panjang

plate settler menyebabkan penurunan nilai *overflow rate* (Clark *et al.*, 2009 dalam Saady, 2012).

$$v_o^f = \text{SOR} = \frac{v_o}{L \cos \theta + \sin \theta} \quad \dots(2.1)$$

Penurunan jarak antar *plate settler* menyebabkan penurunan nilai *overflow rate*. Jarak antar *plate settler* yang semakin rapat menyebabkan jarak pengendapan atau jarak jatuhnya partikel ke dasar bak atau ujung dari *plate settler* sebelum sampai ke zona outlet semakin pendek. Jarak pengendapan yang pendek menyebabkan flok akan tertahan atau menempel pada permukaan *plate settler*, sehingga terjadi proses penyisihan padatan. Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa nilai v_c atau *overflow rate* berbanding lurus dengan nilai h_o , artinya ketika terjadi penurunan nilai h_o atau jarak antar *plate settler* semakin rapat menyebabkan penurunan nilai *overflow rate*, sehingga akan meningkatkan efisiensi penyisihan dan mengindikasikan bahwa partikel akan terendapkan (Saputri, 2011 dalam Pratiwi dan Hermana, 2014).

$$v_s = h_o / td \quad \dots(2.2)$$

Tabel 3 Nilai *Overflow rate* dengan *Plate Settler*

l_p/d_p	v_o (m/jam)	%TSS
Tanpa <i>Plate Settler</i>	0.282	8
1.4	0.209	17
1.8	0.184	27
2.7	0.148	40
2.8	0.145	20
3.6	0.121	30
4.1	0.111	24
5	0.097	47
5.3	0.092	49
5.5	0.091	43
8	0.067	51
10	0.056	57
15	0.039	62
20	0.030	70
30	0.021	79

Pada tabel 3 terlihat perbedaan nilai *overflow rate* antara kondisi tanpa *plate settler* dan penambahan *plate settler* pada reaktor sedimentasi. Penambahan *plate settler* pada reaktor sedimentasi dengan variasi panjang dan jarak antar *plate settler* menyebabkan penurunan nilai *overflow rate*. Nilai *overflow rate* pada tabel 3 dapat dihubungkan dengan nilai efisiensi penyisihan pada tabel 2. Berdasarkan tabel 2 dan 3, menunjukkan hubungan nilai *overflow rate* dan nilai efisiensi penyisihan yaitu berbanding terbalik, artinya ketika penurunan nilai *overflow rate* menyebabkan peningkatan nilai efisiensi penyisihan TSS.

Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil efisiensi penyisihan adalah jumlah dan luas permukaan *plate settler*. Kombinasi antara panjang *plate settler* dan jarak antar *plate settler* yang menghasilkan rasio l_p/d_p menyebabkan perbedaan jumlah *plate settler* antara rasio satu dengan lainnya, sehingga luas permukaan pun akan berbeda.

Tabel 4 Luas Permukaan *Plate Settler*

l_p/d_p	N (buah)	A_p (m ²)	%TSS
1.4	6	0.066	17
1.8	8	0.088	27
2.7	11	0.121	40
2.8	5	0.11	20
3.6	7	0.154	30
4.1	4	0.132	24
5	20	0.22	47
5.3	10	0.22	49
5.5	6	0.198	43
8	9	0.198	51
10	18	0.396	57
15	16	0.528	62
20	34	0.748	70
30	30	0.99	79

Pada tabel 4 menunjukkan rasio 2,7 memiliki luas permukaan 0,121 m², sedangkan rasio 2,8 memiliki luas permukaan 0,11 m², sehingga efisiensi penyisihan TSS rasio 2,7 lebih baik dibandingkan dengan rasio 2,8 karena rasio 2,7 memiliki luas permukaan *plate settler* lebih besar dibandingkan dengan rasio 2,8. Berdasarkan nilai luas permukaan pada tabel 4, dapat ditarik

kesimpulan sederhana bahwa perbedaan jumlah dan luas permukaan *plate settler* menyebabkan terjadinya fluktuasi nilai efisiensi penyisihan TSS pada rasio 1,4 – 5,3.

Selain *overflow rate* dan luas permukaan *plate settler*, terdapat faktor lain yang juga mempengaruhi proses pengendapan partikel yang terjadi pada reaktor sedimentasi, yaitu bilangan Reynolds (NRe) dan bilangan Froude (NFr). Kedua bilangan ini berhubungan dengan hidraulika aliran air pada reaktor sedimentasi.

Tabel 5 NRe dan NFr *Plate Settler*

d_p (cm)	NRe	NFr
	<50	> 10^{-5}
Tanpa <i>plate settler</i>	13.58	2.05×10^{-8}
1	0.54	1.75×10^{-7}
2	1.04	9.11×10^{-8}
3,75	1.81	5.21×10^{-8}
5,5	2.49	3.79×10^{-8}
7,25	3.08	3.06×10^{-8}

Pada tabel 5 menunjukkan penambahan *plate settler* dapat memperbaiki nilai NRe dan NFr, dapat dilihat pada NRe dan NFr tanpa *plate settler* yaitu 13,58 dan $2,05 \times 10^{-8}$, setelah adanya penambahan *plate settler*, NRe dan NFr semakin membaik. Hubungan jarak antar *plate settler* dan NRe adalah berbanding lurus, dengan kata lain penurunan jarak antar *plate settler* menyebabkan penurunan NRe, sedangkan hubungan jarak antar *plate settler* dan NFr adalah berbanding terbalik, dengan kata lain penurunan jarak antar *plate settler* menyebabkan penambahan NFr.

Bilangan Reynolds dan Froude harus dikondisikan karena berkaitan karakteristik aliran yang terjadi. Aliran air pada bak sedimentasi dengan *plate settler* memiliki karakteristik aliran laminar (NRe < 50) (Kawamura, 1991). Aliran laminar berfungsi untuk mendistribusikan flok ke zona pengendapan secara menyeluruh, sehingga proses pengendapan flok berjalan merata di seluruh bagian zona sedimentasi. Sementara itu semakin kecil bilangan Froude

menandakan aliran air pada reaktor sedimentasi tidak hanya didominasi aliran horizontal, namun memungkinkan terjadinya mekanisme perputaran balik (*back mixing*) (Crittenden *et al.*, 2012). Fenomena perputaran balik pada zona sedimentasi dapat mengganggu proses pengendapan flok. Fenomena ini menyebabkan lintasan pengendapan flok akan berubah secara acak dan dikhawatirkan flok tidak akan mengendap dan terbawa ke zona outlet. Selain itu, fenomena *back mixing* dapat menimbulkan proses penggerusan (*scouring*) pada flok yang tertahan atau menempel pada permukaan *plate settler*. Hal tersebut menyebabkan kerugian dan menurunkan efisiensi penyisihan TSS. Korelasi antara NRe dan NFr terhadap efisiensi penyisihan dapat dilihat dengan membandingkan tabel 5 dengan gambar 2. Pada gambar 2 terlihat jarak antar *plate settler* 1 cm menghasilkan nilai efisiensi penyisihan terbaik. Hal ini sesuai dengan tabel 5, bahwa jarak antar *plate settler* 1 cm menghasilkan NRe dan NFr terbaik. Penelitian oleh Sakar *et al.* (2007), menunjukkan bahwa penurunan bilangan Reynolds menyebabkan peningkatan nilai efisiensi penyisihan TSS. Oleh karena itu, adanya penambahan *plate settler* dan perubahan jarak antar *plate settler* dapat memperbaiki bilangan NRe dan NFr dibandingkan dengan tanpa *plate settler*.

Uji statistik dapat digunakan untuk mengetahui besar pengaruh rasio l_p/d_p terhadap efisiensi penyisihan TSS. Menurut Sugiyono (2009) dalam Arumdina (2013), asumsi yang harus dipenuhi untuk menggunakan uji statistik dalam mengolah data adalah uji normalitas dan uji linearitas. Berdasarkan hasil uji normalitas dan uji linearitas yang telah dilakukan menunjukkan bahwa data rasio l_p/d_p dan efisiensi penyisihan TSS telah memenuhi asumsi normal dan asumsi linear. Berdasarkan hasil uji regresi linear sederhana yang telah dilakukan menunjukkan rasio l_p/d_p berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan TSS. Persamaan atau model yang dihasilkan antara rasio l_p/d_p dan efisiensi penyisihan TSS adalah sebagai berikut :

$$Y = 27,221 + 2,039(X)$$

Keterangan :

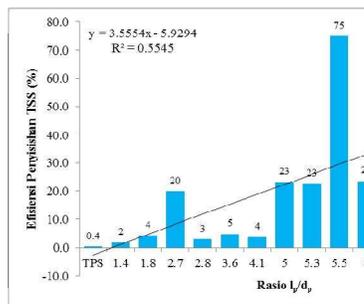
X = Rasio l_p/d_p

Y = Efisiensi Penyisihan TSS (%)

Hasil Uji Kekeruhan

Tabel 6 Efisiensi Penyisihan Kekeruhan dengan Variasi Rasio l_p/d_p

l_p/d_p	% Kekeruhan
Tanpa <i>plate settler</i>	0.4
1.4	2
1.8	4
2.7	20
2.8	3
3.6	5
4.1	4
5	23
5.3	23
5.5	75
8	24
10	24
15	34
20	42
30	51



Gambar 4 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan

Pada tabel 6 dan gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi nilai efisiensi penyisihan kekeruhan mulai dari rasio 1,4 hingga 5,5 dan mulai meningkat (*linear*) dari rasio 8 hingga 30. Penambahan nilai rasio l_p/d_p menyebabkan penurunan nilai *overflow rate*. Penurunan nilai *overflow rate* menyebabkan peningkatan nilai efisiensi penyisihan. Nilai *overflow rate* dipengaruhi dari variasi panjang *plate settler* dan jarak

antar *plate settler*. Penambahan panjang *plate settler* menyebabkan penambahan luas permukaan *plate settler*, sehingga *plate settler* dapat menahan partikel lebih banyak. Sementara itu, penurunan jarak antar *plate settler* menyebabkan jarak jatuhnya partikel semakin pendek. Jarak jatuh partikel yang semakin pendek menyebabkan partikel akan tertahan atau menempel pada permukaan *plate settler* dengan waktu yang lebih singkat, sehingga akan meningkatkan nilai efisiensi penyisihan.

Padatan tersuspensi (TSS) merupakan zat pengotor utama yang menyebabkan kekeruhan. Konsentrasi TSS di dalam air berpengaruh terhadap nilai kekeruhan (Effendi, 2003 dalam Nurjanah *et al.*, 2016). Oleh karena itu, ketika konsentrasi TSS rendah maka nilai kekeruhan juga akan rendah dan berlaku sebaliknya, dengan demikian apabila nilai efisiensi penyisihan TSS rendah maka nilai efisiensi penyisihan kekeruhan juga akan rendah dan berlaku sebaliknya. Pola atau tren dari efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan dapat dilihat dengan membandingkan gambar 3 dan 4. Gambar 3 dan 4 menunjukkan perbedaan pola atau tren efisiensi penyisihan kekeruhan atau dengan kata lain bertentangan dengan pernyataan sebelumnya yaitu apabila efisiensi penyisihan TSS tinggi maka efisiensi penyisihan kekeruhan juga akan tinggi. Perbedaan pola efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan terjadi pada rasio l_p/d_p 2,7 ; 5 ; 5,3 ; dan 5,5.

Perbedaan pola atau tren efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan pada rasio l_p/d_p 2,7 dan 5,5 disebabkan karena nilai kekeruhan pada titik inlet yang tinggi. Hal ini terjadi karena saat pengujian rasio 2,7 dan 5,5 reaktor beroperasi setelah turunnya hujan. Hujan yang turun sesaat sebelum reaktor beroperasi menyebabkan air Waduk Undip keruh dan berwarna cokelat, karena banyaknya lapisan tanah yang terbawa oleh aliran sungai Klangseng masuk ke Waduk Undip. Nilai kekeruhan yang tinggi diketahui dari nilai kekeruhan pada inlet reaktor yaitu 7,92 NTU untuk rasio 2,7 dan 33,86 NTU untuk rasio 5,5. Nilai kekeruhan inlet yang tinggi

menyebabkan nilai efisiensi penyisihan kekeruhan yang tinggi. Perbedaan pola dan tren efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan juga terjadi pada rasio l_p/d_p 5 dan 5,3. Apabila merujuk pada gambar 4, maka seharusnya nilai efisiensi penyisihan kekeruhan pada rasio 5,3 lebih baik dibandingkan rasio 5 dan berlaku sebaliknya, namun yang terjadi tidak demikian. Perbedaan pola dan tren efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan diduga karena desain reaktor penelitian belum mampu mempertahankan debit pengolahan sesuai dengan ketentuan yaitu sebesar 10 mL/detik. Debit pengolahan yang tidak sesuai menyebabkan waktu detensi pada reaktor penelitian juga tidak sesuai dengan ketentuan yaitu 78 menit untuk reaktor sedimentasi. Artinya debit pengolahan kurang atau lebih dari 10 mL/detik maka waktu detensi pun akan berkurang atau melebihi 78 menit. Waktu detensi berpengaruh terhadap banyaknya partikel yang akan mengalami proses sedimentasi. Apabila dengan waktu detensi yang lebih singkat maka partikel yang akan mengalami proses sedimentasi lebih sedikit atau partikel yang memiliki kecepatan pengendapan sesuai dengan waktu detensi yang telah ditetapkan tidak akan terendapkan karena waktu detensi yang terjadi lebih singkat, sehingga menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan.

Uji statistik dapat digunakan untuk mengetahui besar pengaruh rasio l_p/d_p terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan. Berdasarkan hasil uji normalitas dan uji linearitas yang telah dilakukan menunjukkan bahwa data rasio l_p/d_p dan efisiensi penyisihan kekeruhan telah memenuhi asumsi normal dan asumsi linear. Berdasarkan hasil uji regresi linear sederhana yang telah dilakukan menunjukkan rasio l_p/d_p berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan. Persamaan atau model yang dihasilkan antara rasio l_p/d_p dan efisiensi penyisihan kekeruhan adalah sebagai berikut :

$$Y = 11,657 + 1,517(X)$$

Keterangan :

X = Rasio l_p/d_p

Y = Efisiensi Penyisihan Kekeruhan (%)

Penentuan Rasio l_p/d_p Optimal

Aspek yang perlu dipertimbangkan untuk menentukan rasio l_p/d_p optimal yaitu aspek kinerja unit (*performance*) dan aspek biaya. Aspek kinerja unit yang dimaksud yaitu rasio l_p/d_p yang dapat memenuhi standar *effluent* unit sedimentasi yang telah ditentukan. Sementara itu aspek biaya dihitung berdasarkan luas permukaan *plate settler* yang digunakan.

Tabel 7 Penentuan Rasio l_p/d_p Optimal

No.	Rasio l_p/d_p	Aspek Kinerja Unit (<i>Performance</i>)		Aspek Biaya	
		Kekeruhan <i>Effluent</i> Sedimentasi			
		Nilai	Keterangan		
1	1.4	4.14	Melebihi	Rp	3,696.00
2	1.8	2.25	Melebihi	Rp	4,928.00
3	2.7	6.33	Melebihi	Rp	6,776.00
4	2.8	4.20	Melebihi	Rp	6,160.00
5	3.6	2.19	Melebihi	Rp	8,624.00
6	4.1	4.32	Melebihi	Rp	7,392.00
7	5	2.28	Melebihi	Rp	12,320.00
8	5.3	5.40	Melebihi	Rp	12,320.00
9	5.5	8.51	Melebihi	Rp	11,088.00
10	8	3.48	Melebihi	Rp	16,632.00
11	10	2.50	Melebihi	Rp	22,176.00
12	15	1.95	Memenuhi	Rp	29,568.00
13	20	1.65	Memenuhi	Rp	41,888.00
14	30	1.51	Memenuhi	Rp	55,440.00

Keterangan :

Standar Kekeruhan = 2 NTU (Davis, 2010 dan Kawamura, 1991)

Pada tabel 7 di atas menunjukkan, rasio l_p/d_p 15 – 30 merupakan rentang rasio l_p/d_p terbaik. Sedangkan, rasio l_p/d_p 15 merupakan rasio yang memenuhi semua aspek kinerja unit dan memiliki aspek biaya paling rendah. Rasio l_p/d_p 15 ini diperoleh dari kombinasi panjang *plate settler* 30 cm dan jarak antar *plate settler* 2 cm. Sehingga rasio l_p/d_p 15 adalah rasio panjang dan jarak antar *plate settler* optimal.

KESIMPULAN

1. Rasio panjang dan jarak antar *plate settler* atau rasio l_p/d_p optimal adalah 15. Rasio panjang dan jarak antar *plate settler* atau rasio l_p/d_p optimal adalah 15. Rasio l_p/d_p 15 merupakan hasil kombinasi dari panjang *plate settler* 30 cm dan jarak antar *plate settler* 2 cm. Rasio l_p/d_p 15 mampu menghasilkan efisiensi penyisihan TSS sebesar 62% dan efisiensi penyisihan kekeruhan

sebesar 34%, dengan biaya sebesar Rp 29.568,00

2. Rasio l_p/d_p memberikan pengaruh positif terhadap efisiensi penyisihan TSS. Penambahan nilai rasio l_p/d_p menyebabkan peningkatan nilai efisiensi penyisihan TSS.

DAFTAR ISTILAH

- l_p = panjang *plate settler*
- d_p = jarak antar *plate settler*
- L = panjang relatif *plate settler*/ rasio l_p/d_p
- v_o/v_s / SOR = *overflowrate*
- θ = sudut *plate settler*
- h_o = kedalaman bak sedimentasi
- t_d = waktu detensi
- %TSS = efisiensi penyisihan TSS
- %NTU = efisiensi penyisihan Kekeruhan
- N = jumlah *plate settler*
- A_p = luas permukaan *plate settler*
- TPS = Tanpa *Plate Settler*

DAFTAR PUSTAKA

- Clark, S.E; Roenning, C.D; Elligson, J.C; Mikula, J.B. 2009. *Inclined Plate Settlers to Treat Storm-Water Solids*. Journal of Environmental Engineering. Vol. 135, No. 8.
- Crittenden, J.C; Trussell, R.R; Hand, D.W; Howe, K.J; Tchobanoglous, G. 2012. *MHW's Water Treatment : Principle and Design Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Davis, M.L. 2010. *Water And Wastewater Engineering : Design Principles And Practice*. McGraw-Hill Companies Inc. USA.
- Demir, A. 1995. *Determination of Settling Efficiency and Optimum Plate Angel For Plated Setling Tanks*. Water Research. Vol. 29, No. 2, pp. 611-616.
- Husaeni, N; Euis, N.H; Okik, H.C. 2013. *Penurunan Konsentrasi Total Suspended Solid Pada Proses Air Bersih Menggunakan Plate Settler*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan. UPN Jatim Repository. Vol. 4 No. 1.
- Karamah, E.F. dan Lubis, A.O. 2010. *Pralakuan Koagulasi Dalam Proses Pengolahan Air Dengan Membran : Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan Koagulan Alumunium Sulfat Terhadap Kinerja Membran*. Program Studi Teknik Kimia UI. Depok. (unpublished)
- Kurniawan, A. 2015. *Penentuan Kapasitas Unit Sedimentasi Berdasarkan Tipe Hindered Zone Settling*. National Conference on Conservation For Batter Life. Semarang.
- Pratiwi, K.D.S. dan Hermana, J. 2014. *Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Mengandung Minyak Pelumas pada Oil Separator dengan Menggunakan Plate Settler*. Jurnal Teknik Pomits. Vol. 3, No 1.
- Reynolds, T.D. dan Richards, P.A. 1982. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering*. Wadsworth Inc. California.
- Saady, N. 2012. *Utilizing Settling Tests To Design A Conventional Upflow Settling Tank Modified With Inclined Plates*. Water Science & Technology, IWA Publishing. Vol. 66, No. 4.
- Sarkar, S; Kamiliya, D; Mal, B.C. 2007. *Effect Of Geometric And Process Variable On The Performance Of Inclined Plate Settler in Treating Aquacultural Waste*. Water Research. Vol. 41.
- Sugiyono. 2009. *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung. Alfa Beta.
- Visvanathan, C. 2004. *Sedimentation Physico-Chemical Processes*. Bauhaus-Universitat Weimar. University of Leeds. Bangkok-Thailand : 4.8 – 4.10.
- Wang, L.K; Hung, Y.T; Shammass, N.K. 2005. *Physicochemical Treatment Processes*. Humana Press. New Jersey.
- Ziolo, J. 1995. *Influence Of System Geometry on the Sedimentation Effectiveness of Lamella Settlers*. Chemical Engineering Science. Vol. 51, No. 1, pp. 149 – 153.