

# HYDROCYCLONE TERBUKA UNTUK PENGENDAPAN PARTIKEL FLOKULEN

Syamsul Huda<sup>1</sup>, Ali Masduqi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
E-mail: syamsulhuda032@gmail.com; masduqi@its.ac.id  
Korespondensi: masduqi@its.ac.id

## ABSTRAK

Hydrocyclone terbuka adalah unit pemisahan antara solid dan liquid berdasarkan perbedaan densitas dan kecepatan sentrifugal. Pada penelitian ini, unit hydrocyclone terbuka digunakan untuk mengendapkan partikel tipe II atau partikel flokulen dari proses koagulasi-flokulasi. Kajian mengenai hydrocyclone terbuka bertujuan untuk menentukan performance optimal dari unit tersebut. Penelitian ini menguji pengaruh variasi surface loading dan tingkat kekeruhan terhadap efisiensi penurunan kekeruhan. Nilai variasi surface loading yang digunakan adalah 2,5, 3, dan 3,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam. Sedangkan variasi tingkat kekeruhan yang digunakan adalah 30-45, 55-90, dan 100-180 NTU. Unit yang digunakan dalam penelitian ini adalah unit pipa PVC sebagai unit pengadukan cepat, selang melingkar sebagai unit pengadukan lambat, dan hydrocyclone terbuka sebagai unit pengendapan. Pengoperasian unit dilakukan secara kontinyu selama 20 menit setelah operasi dalam keadaan steady. Selama pengoperasian, debit pada underflow hydrocyclone selalu dipantau agar tidak terjadi gangguan ketika partikel flokulen yang mengendap mencapai maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa surface loading 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam (debit 1,31 liter/menit) menghasilkan efisiensi penyisihan kekeruhan paling besar dengan nilai efisiensi sebesar 89 %. Penyisihan pada tingkat kekeruhan awal sebesar 100 – 180 NTU memiliki efisiensi tertinggi sebesar 89 %.

**Kata Kunci:** *Hydrocyclone, Kekeruhan, Surface Loading, Partikel Flokulen*

## ABSTRACT

Open hydrocyclone is a separation unit between solid and liquid based on differences in density and centrifugal speed. In this study, an open hydrocyclone unit is used to settle type II particles or flocculent particles from the coagulation-flocculation process. The study of open hydrocyclone aims to determine the optimal performance of the unit. This research examines the effect of variations in surface loading and turbidity levels on the efficiency of turbidity reduction. Surface loading variation values used are 2.5, 3, and 3.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hour. While variations in turbidity levels used are 30-45, 55-90, and 100-180 NTU. The unit used in this study is a PVC pipe unit as a flash mixing unit, a circular hose as a slow mixing unit, and an open hydrocyclone as a settling unit. The operating unit is carried out continuously for 20 minutes after operation in a steady state. During operation, the discharge in the hydrocyclone underflow is always monitored so that no disturbance occurs when the settling flocculent particles reach a maximum. The results showed that surface loading of 2.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hour (1.31 liters/minute discharge) produced the highest turbidity removal efficiency with an efficiency value of 89%. The removal at the initial turbidity level of 100-180 NTU has the highest efficiency of 89%.

**Keyword:** *Hydrocyclone, Turbidity, Surface Loading, Flocculent Particle*

## PENDAHULUAN

Permasalahan utama dalam pengolahan air baku yang dikelola Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) salah satunya kekeruhan. Penyebab terjadinya kekeruhan adalah adanya material berupa bahan organik dan anorganik yang tersuspensi (Nurmalita, 2013). Partikel tersuspensi sangat sulit mengendap langsung secara alami dikarenakan adanya stabilitas suspensi koloid. Hal ini terjadi karena sebagian besar koloid mempunyai muatan listrik sehingga partikel lebih stabil. Salah satu cara untuk menyisahkan partikel koloid yaitu dengan proses koagulasi-flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2016). Proses koagulasi merupakan penambahan zat kimia (koagulan) ke dalam air baku dengan tujuan mengurangi gaya tolak-menolak antar partikel koloid. Sehingga partikel-partikel tersebut dapat bergabung membentuk flok-flok halus (Zhan *dkk.*, 2004). Sedangkan flokulasi merupakan suatu proses aglomerasi atau penggumpalan partikel-partikel terdestabilisasi menjadi flok-flok dengan ukuran yang lebih besar (Gebbie, 2001). Proses

pembentukan flok-flok besar ini bergantung terhadap waktu dan pengadukan dalam air Stumm & Morgan, 1996).

Partikel-partikel flokulen yang terbentuk pada proses koagulasi-flokulasi akan diendapkan pada bak sedimentasi tipe II. Perangkat yang biasa digunakan pada sedimentasi ini umumnya berbentuk lingkaran, bujur sangkar, atau segi empat dengan dimensi yang besar. Bak berbentuk lingkaran umumnya berdiameter 10,7 hingga 45,7 m dan kedalaman 3 hingga 4,3 m. Bak berbentuk bujur sangkar umumnya mempunyai lebar 10 hingga 70 m dan kedalaman 1,8 hingga 5,8 m. Bak berbentuk segi empat umumnya mempunyai lebar 1,5 hingga 6 m, panjang bak sampai 76 m, dan kedalaman lebih dari 1,8 m (Reynold & Richard, 1996). Sedangkan *hydrocyclone* memiliki dimensi yang lebih kecil. Diameter sebesar 20 cm dan tinggi sebesar 80 cm memiliki presentase penyisihan kekeruhan sebesar 93,83% dengan debit 20 mL/detik (Abdullah, 2018). *Hydrocyclone* juga memiliki keunggulan diantaranya kapasitas besar, struktur

sederhana, biaya rendah, lahan kecil, dan pemeliharaan mudah (Sripiya, 2007).

Berdasarkan data diatas, maka penelitian ini akan digunakan unit *hydrocyclone* terbuka sebagai unit pengendapan partikel flokulen. *Hydrocyclone* yang dikenal sebagai *liquid cyclone*, adalah sebuah alat untuk memisahkan *solid-liquid* yang tersuspensi (Kusmayanti, 2014). Prinsip operasi *hydrocyclone* dalam pemisahan *solid-liquid* tergantung pada dua gaya, yaitu gaya gravitasi dan gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh aliran berputar. Gaya sentrifugal ini akan mempermudah pemisahan akibat adanya perbedaan densitas (Saidi, 2013).

*Hydrocyclone* terdiri dari bagian silinder dan bagian *cone*. Pada bagian silinder berperan dalam menciptakan gaya sentrifugal, sedangkan bagian *cone* berfungsi untuk tempat pengendapan partikel flokulen. Pada penelitian ini akan digunakan panjang optimal pada silinder berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu 50 cm. Sedangkan variabel yang akan digunakan adalah besar *surface loading* dan tingkat kekeruhan agar didapatkan *performance optimal* dari unit tersebut.

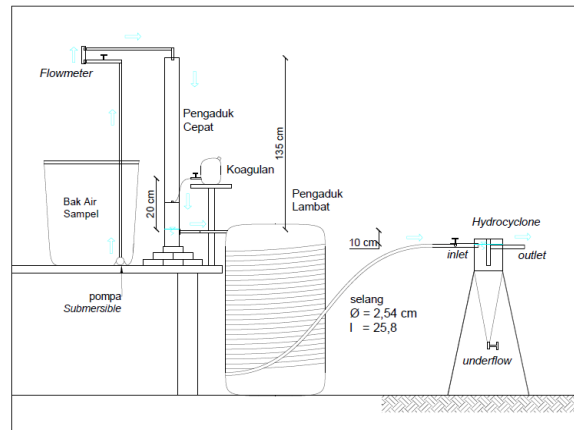
**METODOLOGI PENELITIAN**

Data pada penelitian ini diperoleh dari hasil analisis laboratorium dan pengukuran pada reaktor. Analisis laboratorium dalam penelitian ini meliputi parameter kekeruhan, dan dosis optimum koagulan. Pengukuran pada reaktor meliputi pengaturan dan pengukuran debit. Percobaan dilakukan dengan pembuatan air sampel dari air PDAM ditambahkan air keruh yang dibuat dari lumpur sungai Jagir Surabaya. Karakteristik sampel harus diuji terlebih dahulu untuk mendapatkan variasi tingkat kekeruhan awal sebelum dilakukan running. Analisis pendahuluan yang dilakukan berupa penentuan penambahan dosis koagulan optimum pada masing-masing tingkat kekeruhan dengan menggunakan alat *jarrest*. Variabel penelitian ini adalah variasi *surface loading* dan tingkat kekeruhan. Nilai variasi *surface loading* yang dipilih adalah 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam (1,31 l/menit); 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam (1,57 l/menit); dan 3,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam (1,83 l/menit). Variasi tingkat kekeruhan yang digunakan pada air sampel yaitu rendah (30 - 45 NTU), sedang (55 - 90 NTU), dan tinggi (100 - 180 NTU).

Rangkain unit yang digunakan pada penelitian ini adalah unit PVC berdiameter 4 inci sebagai unit pengadukan cepat, selang berputar sepanjang 25,8 m dengan jari-jari putaran 50 cm sebagai pengadukan lambat, dan unit *hydrocyclone* terbuka sebagai unit pengendapan, serta bak penampung air sampel yang dilengkapi dengan *submersible pump*. Pengoperasian unit dilakukan secara kontinyu. Langkah awal sebelum dilakukan *running* pada penelitian yaitu disiapkan sampel air PDAM dan dimasukkan kedalam bak penampung 80 L yang divariasikan kekeruhannya dengan menambahkan air keruh yang dibuat dari lumpur. Sampel di dalam bak penampung diaduk secara terus menerus agar kekeruhan

pada air sampel merata. Sampel dialirkan menggunakan *submersible pump* dengan variasi dan kontrol debit dengan *valve* dan *flowmeter*. Secara bersamaan, dilakukan injeksi koagulan berupa alum cair kedalam pipa PVC. Pada pipa ini terjadi proses koagulasi secara terjunan.

Rangkaian unit dioperasikan selama 20 menit. Pengambilan sampel pada inlet, *underflow* dan *overflow* dilakukan pada menit ke 0, 5, 10, 15, dan 20 untuk tiap running. Skema rangkaian unit penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema Rangkaian Unit Pengolahan

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**A. Dosis Koagulan Optimum**

Percobaan laboratorium menggunakan Alum (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 18H<sub>2</sub>O) dengan konsentrasi 1% atau 10 gram dalam 1 Liter sebagai koagulan. Penentuan dosis optimum koagulan dilakukan dengan *jarrest* untuk masing-masing tingkat kekeruhan (rendah, sedang, dan tinggi). Dosis optimum ini nantinya digunakan sebagai dasar perhitungan dosis koagulan pada *continuous process* pada saat *running*.

Hasil percobaan penentuan dosis optimum koagulan untuk kekeruhan rendah, sedang, dan tinggi dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil penentuan dosis koagulan ini, dapat dilihat bahwa semakin tinggi tingkat kekeruhan, akan memerlukan dosis koagulan yang semakin besar. Hal ini terjadi karena besarnya nilai kekeruhan akan menambah muatan koloid sehingga bisa berinteraksi dengan lebih efektif apabila diberikan koagulan. Oleh karena itu, jumlah dari koagulan dan koloid akan berbanding lurus.

**Tabel 1.** Penentuan Dosis Optimum Koagulan

Kekeruhan (NTU)	Pembubuhan Koagulan (ml)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Penyisihan (NTU)
<b>Rendah</b>	12	1,54	96,15%
<b>Sedang</b>	16	1,79	97,76%
<b>Tinggi</b>	21	1,94	98,5 %

**B. Pengaruh Surface Loading**

Surface loading merupakan faktor penting yang mempengaruhi keefektifan sedimentasi. Surface loading juga dapat dinyatakan sebagai debit per luas permukaan. Variasi nilai surface loading yang digunakan yaitu 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.detik diwakili debit (1,3 l/menit), 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.detik diwakili debit (1,6 l/menit), dan 3,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.detik diwakili debit (1,8 l/menit). Variasi surface loading ini digunakan penamaan SL1 untuk surface loading 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam, SL2 untuk surface loading 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam, dan SL3 untuk surface loading 3,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam. Pada sub-bab ini pengaruh surface loading akan di bahas berdasarkan tingkat kekeruhan air sampel dengan tingkat kekeruhan rendah, sedang, dan tinggi.

*1) Efisiensi pada Kekeruhan Rendah*

Kekeruhan merupakan indikasi adanya partikel tersuspensi di dalam air. Pengukuran kekeruhan dilakukan menggunakan instrumen turbidimeter yang telah dikalibrasikan. Kekeruhan rendah dalam penelitian ini didefinisikan sebagai sampel air yang memiliki nilai kekeruhan 30 – 45 NTU.

Dalam penelitian ini didapatkan besarnya nilai penyisihan yang dihitung berdasarkan pengamatan kekeruhan pada inlet dan kekeruhan pada overflow dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{Kekeruhan\ inlet - Kekeruhan\ overflow}{Kekeruhan\ inlet} \times 100\%$$

Hasil penyisihan kekeruhan untuk kekeruhan rendah dengan variasi surface loading (SL1, SL2, dan SL3) dan panjang silinder (20, 30, dan 40 cm) dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi penyisihan kekeruhan menurun seiring bertambahnya besar surface loading yang digunakan pada hydrocyclone. Besarnya surface loading yang digunakan menyebabkan peningkatan bilangan champ (G×td) sehingga terjadi penggerusan partikel flokulen yang telah terbentuk.

**Tabel 2.** Efisiensi Penyisihan terhadap Variasi Surface Loading dengan Kekeruhan Rendah

Panjang Silinder	Surface Loading	Kekeruhan Rendah (30 - 45 NTU)		Efisiensi Penyisihan (%)
		Rata-rata		
		Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	
40 cm	SL1	41,6	13,2	68
	SL2	40,8	16,8	59
	SL3	40	18,2	55
30 cm	SL1	39,4	9,4	76
	SL2	36,8	11,4	69
	SL3	40	20	50
20 cm	SL1	41,8	20,8	50
	SL2	39,4	20	49
	SL3	38,6	23	40

Ketika air sampel masuk ke unit hydrocyclone, nilai surface loading yang besar menyebabkan partikel

flokulen dalam air cenderung sulit untuk mengendap. Kecenderungan ini dikarenakan kecepatan aliran air yang digunakan lebih cepat sehingga sebagian partikel flokulen tidak sempat mengendap. Proses ini mengakibatkan partikel flokulen yang ikut keluar bersama air melalui overflow lebih banyak. Efisiensi penyisihan kekeruhan terbesar dimiliki oleh SL1 (surface loading 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.detik) dengan masing masing efisiensi setiap panjang silinder yaitu 68% untuk panjang silinder 40 cm, 76% untuk panjang silinder 30 cm, dan 50% untuk panjang silinder 20 cm.

*2) Efisiensi pada Kekeruhan Sedang*

Kekeruhan sedang dalam penelitian ini didefinisikan sebagai sampel air yang memiliki nilai kekeruhan 55 - 90 NTU. Dalam penelitian ini didapatkan besarnya nilai penyisihan yang dihitung berdasarkan pengamatan kekeruhan pada inlet dan kekeruhan pada overflow. Tabel 3. menunjukkan hasil penyisihan kekeruhan untuk kekeruhan sedang dengan variasi surface loading dan panjang silinder. Pada tabel ini terlihat bahwa nilai efisiensi penyisihan kekeruhan menurun seiring bertambahnya besar surface loading yang digunakan pada hydrocyclone. Pada panjang silinder 40 cm, semakin besar surface loading yang digunakan menyebabkan penurunan pada nilai efisiensi penyisihan kekeruhan. Secara berurutan, nilai efisiensi untuk SL1, SL2, dan SL3 adalah 80, 78, dan 69 %. Hasil ini dikarenakan adanya hambatan pengendapan partikel flokulen yang dipengaruhi kecepatan aliran air sampel.

**Tabel 3.** Efisiensi Penyisihan terhadap Variasi Surface Loading dengan Kekeruhan Sedang

Panjang Silinder	Surface Loading	Kekeruhan Sedang (55 - 90 NTU)		
		Rata-rata		Efisiensi Penyisihan (%)
		Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	
40 cm	SL1	80	16	80
	SL2	63	14	78
	SL3	61	19	69
30 cm	SL1	73	10,2	86
	SL2	69	16,2	77
	SL3	79	23,6	70
20 cm	SL1	75	20,6	73
	SL2	70	20,6	71
	SL3	72	22,2	69

*3) Efisiensi pada Kekeruhan Tinggi*

Kekeruhan tinggi dalam penelitian ini didefinisikan sebagai sampel air yang memiliki nilai kekeruhan 100 - 180 NTU. Nilai % penyisihan dihitung dengan metode yang sama dengan sub bab sebelumnya dan ditampilkan pada Tabel 4. Tabel-tabel tersebut menunjukkan bahwa kecenderungan peningkatan nilai efisiensi penyisihan kekeruhan terjadi saat surface loading yang digunakan semakin kecil. Hasil ini dikarenakan adanya faktor pengurangan G×td yang dipengaruhi oleh kecilnya nilai surface loading yang digunakan. Efisiensi penyisihan kekeruhan pada silinder panjang 40 cm secara berurutan adalah SL1, SL2, dan SL3 dengan nilai efisiensi sebesar

87, 80, dan 77 %. Untuk panjang silinder 30 cm, efisiensi penyisihan kekeruhan secara berurutan adalah SL1, SL2, dan SL3 dengan nilai efisiensi sebesar 89, 79, dan 73 %. Sedangkan untuk panjang silinder 20 cm, efisiensi penyisihan kekeruhan secara berurutan adalah SL1, SL2, dan SL3 dengan nilai efisiensi sebesar 78, 78, dan 72 %.

**Tabel 4.** Efisiensi Penyisihan terhadap Variasi Surface Loading dengan Kekeruhan Tinggi

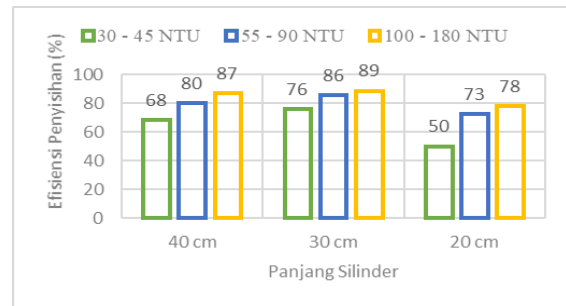
Panjang Silinder	Surface Loading	Kekeruhan Tinggi (100 - 180 NTU)		Efisiensi Penyisihan (%)
		Rata-rata		
		Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	
40 cm	SL1	162	20,6	87
	SL2	144	29,2	80
	SL3	128	30	77
30 cm	SL1	132	14,8	89
	SL2	116	24,4	79
	SL3	122	32,4	73
20 cm	SL1	168	36,6	78
	SL2	142	31	78
	SL3	150	42,6	72

**C. Pengaruh Kekeruhan Awal**

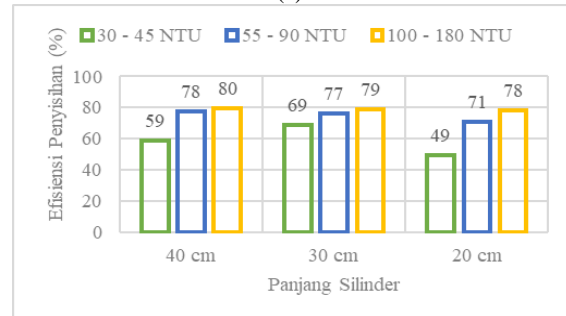
Variasi tingkat kekeruhan yang digunakan adalah tingkat rendah, sedang, dan tinggi. Tingkat kekeruhan rendah yang didapatkan saat penelitian memiliki nilai kekeruhan 30 - 45 NTU, sedang 55 - 90 NTU, dan tinggi 100 - 180 NTU. Berdasarkan data-data yang telah ditampilkan pada subbab sebelumnya, dapat diketahui bahwa tingkat kekeruhan mempengaruhi efisiensi penyisihan. Pengaruh tingkat kekeruhan terhadap efisiensi penyisihan dapat dilihat pada Gambar 2. Tingkat kekeruhan rendah digambarkan dengan diagram berwarna hijau, kekeruhan sedang berwarna biru, dan kekeruhan tinggi berwarna kuning. Gambar dibedakan berdasarkan besar *surface loading* SL1 oleh Gambar 2(a), *surface loading* SL2 oleh Gambar 2(b), dan *surface loading* SL3 oleh Gambar 2(c).

Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada semua panjang silinder, efisiensi penyisihan kekeruhan mengalami kenaikan seiring naiknya tingkat kekeruhan air sampel. Tingginya tingkat kekeruhan ini menunjukkan jumlah partikel koloid yang tersuspensi pada air tersebut semakin banyak. Partikel koloid dalam air sampel dengan kekeruhan tinggi mempunyai peluang dalam pembentukan partikel yang berukuran lebih besar dari pada air sampel dengan tingkat kekeruhan yang lebih rendah, sehingga semakin besar ukuran diameter partikel, efisiensi *hydrocyclone* akan meningkat.

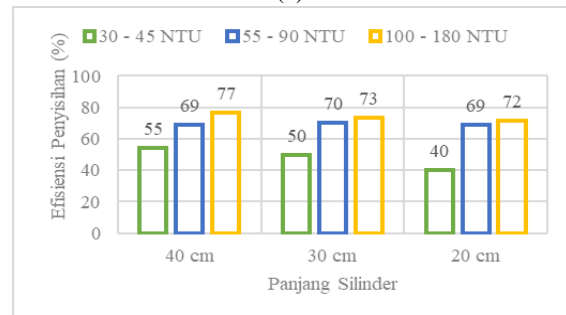
Hasil ini sesuai dengan Hukum Stokes yang menyatakan bahwa diameter partikel berbanding lurus dengan terminal *settling velocity* (Kurniawan, 2012). Berdasarkan gambar tersebut efisiensi penyisihan kekeruhan tertinggi dimiliki oleh pengujian air sampel dengan tingkat kekeruhan 100 - 180 NTU dengan *surface loading* 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.detik (SL1) dan panjang silinder 30 cm sebesar 89%.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 2.** Efisiensi Penyisihan Kekeruhan (NTU) terhadap Variasi Kekeruhan pada (a) Surface Loading SL1 (b) Surface Loading SL2 (c) Surface Loading SL3

Hasil pengolahan air pada *overflow* berdasarkan Gambar 2 secara umum, rata-rata efisiensi penyisihan kekeruhan yang didapatkan tidak sesuai dengan hasil jartest. Hasil ini dikarenakan pada uji jartest, air sampel dibiarkan selama 10 menit setelah dilakukan proses koagulasi dan flokulasi. Sedangkan pada penelitian ini, proses pengendapan pada *hydrocyclone* masih menghasilkan gerakan air sehingga flok-flok yang terbentuk tidak dapat mengendap secara sempurna. Selain itu, gaya yang paling dominan pada unit *hydrocyclone* saat penelitian juga masih di dominasi oleh gaya gravitasi dari pada gaya sentrifugalnya.

Desain kriteria pengendapan pada unit sedimentasi tipe 2 harus memiliki efisiensi sebesar 50 – 70% dengan kriteria desain *surface loading* 1,5 – 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam (Metcalf & Eddy, 2004). Pada penelitian lainnya digunakan bak sedimentasi konvensional dengan penambahan pelat miring sebagai unit pengendap tipe II. Pada penelitian tersebut didapatkan efisiensi penyisihan kekeruhan sebesar 66% dengan kemiringan pelat 60°,

debit 2 l/menit (*surface loading* 0,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam), dan waktu detensi selama 50 menit (Al-Kizwini, 2015). Sedangkan *hydrocyclone* yang digunakan pada penelitian ini memiliki efisiensi mencapai 89% dengan *surface loading* sebesar 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam (debit 1,3 l/menit) dan waktu detensi selama 13,6 menit. Berdasarkan data tersebut maka dapat diketahui bahwasannya *hydrocyclone* yang digunakan sebagai unit sedimentasi tipe II menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Efisiensi penyisihan *hydrocyclone* tersebut masih dapat ditingkatkan dengan menambahkan beberapa *hydrocyclone* secara seri (Svarovsky, 2001).

## KESIMPULAN

Semakin kecil *surface loading* yang digunakan, maka efisiensi penyisihan kekeruhan semakin besar. Variasi *surface loading* 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam dan tingkat kekeruhan 100-180 NTU merupakan variasi yang paling optimum pada pengendapan partikel flokulen dengan *hydrocyclone* ini karena menghasilkan efisiensi terbesar, yaitu 89 % untuk penyisihan kekeruhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, T. (2018). *Studi Penurunan Kekeruhan Air Permukaan dengan Proses Flokulasi Hydrocyclone Terbuka*. Tesis. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Al-Kizwini, R, S. (2015). Improvement of Sedimentation Process Using Inclined Plates. *Mesopotamia Environmental Journal*. Vol 2 (1). Hal: 100-114.
- Gebbie, P. (2001). Using Poly Alum Coagulants in Water Treatment. *64th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference*. Fisher Pty Ltd. USA, 1-9.
- Kurniawan, A. (2012). Penentuan Efektivitas Desain Unit Cyclone untuk Mereduksi Partikulat di Udara. *Proceeding Annual Engineering Seminar 2012*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada. Hal: D146-D151
- Kusmayanti, A. (2014). *Pengaruh Panjang Cone dan Tekanan pada Hydrocyclone dalam Menurunkan Total Suspended Solid*. Skripsi. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Masduqi, A. & Assomadi, A, F. (2016). *Operasi dan Proses Pengolahan Air, Edisi Kedua*. Surabaya: ITS Press.
- Metcalf and Eddy, Inc. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4<sup>th</sup> edition*. New York: Mc Graw-Hill.
- Nurmalita, Maulidia, Syukri, M. (2013). *Analisa Kekeruhan dan Kandungan Sedimen dan Kaitannya dengan Kondisi DAS Sungai Krueng Aceh*. Banda Aceh: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Syiah Kuala.
- Reynold, T. & Richard, P, A. (1996). *Unit Operation and Processes in Environment Engineering* Second Edition. PWS Publishing Company.
- Saidi, M., Maddahian, R., & Parhanieh, B. (2013). Numerical Investigation of Cone Angle Effect on the Flow Field and Separation Efficiency of Deoiling Hydrocyclone. *Journal of Heat Mass Transfer*. Vol 49 (2). Hal: 247-260.
- Sripiya, R., Kaulaskar, M, D., Chakraborty, S., & Meikap, B, C. (2007). Studies on the Performance of a Hydrocyclone and Modeling for Flow Characterization in Presence and Absence of Air Core. *Journal of Chemical Engineering Science*. Vol 62 (22). Hal: 6391-6402.
- Stumm, W, G. & Morgan, J, J. (1996). *Aquatic Chemistry, Second Edition*. John Wiley and Sons Inc. Singapore.
- Svarovsky, R. (2001). *Hydrocyclon: Analysis and Applications*. FPS Institute, England and University of Pardubice. Czech Republic.
- Zhan, H., Zhang, Xiaoqi, & Zhan, X. (2004). Coagulation Flocculation Mechanism of Flocculant and its Physical Model. *Separation Technology VI: New Perspectives on Very Large-Scale Operations*, RP3 (8), 1-11.