

PENENTUAN KAPASITAS UNIT SEDIMENTASI BERDASARKAN TIPE HINDERED ZONE SETTLING

Allen Kurniawan

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia
Email: allen.kurniawan@gmail.com

ABSTRAK

Unit sedimentasi berfungsi untuk mengurangi 50-65% konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) dan sebagian padatan organik dalam air buangan, serta menurunkan 25-40% konsentrasi Biochemical Oxygen Demand (BOD) melalui proses fisik tanpa pembubuhan zat kimia. Rancangan unit sedimentasi membutuhkan kapasitas unit yang cukup untuk menyingkahkan kedua parameter tersebut. Salah satu pendekatan praktis untuk mengetahui kapasitas unit sedimentasi melalui analisis berdasarkan tipe hindered zone settling. Analisis ini berdasarkan perubahan ketinggian partikel tersuspensi pada reaktor per satuan waktu. Pengembangan analisis ini ditujukan untuk penentuan salah satu parameter rancangan unit sedimentasi, yaitu solid loading rate dan overflow rate. Berdasarkan kurva hindered zone interface settling, luas zona lumpur (thickener) mencapai 8,1 m²; laju pengendapan sebesar 0,001 m³/detik; luas zona pengendapan sebesar 7,4 m²; nilai solid loading mencapai 14,88 kg/m².detik; dan nilai overflow mencapai 21,31 m³/m².hari.

Kata kunci: hindered zone settling, overflow rate, solid loading, total suspended solid.

PENDAHULUAN

Berbagai aktivitas manusia maupun proses alam dapat menghasilkan limbah berupa zat padat, cair, maupun gas. Limbah menimbulkan pengaruh terhadap penurunan dan ketidakseimbangan kualitas lingkungan. Pengolahan perlu dilakukan untuk menghindari kemungkinan pengaruh pencemaran akibat kontaminan di dalam lingkungan. Implementasi pengolahan air limbah domestik atau industri berupa reduksi unsur-unsur polutan sehingga air limbah aman untuk dibuang ke badan air penerima.

Secara garis besar, pengolahan air limbah terbagi menjadi tiga tingkatan, yaitu pengolahan tingkat primer (*primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), dan pengolahan tersier (*tertiary treatment*). Pengolahan primer melibatkan mekanisme fisik, pengolahan sekunder melibatkan mekanisme biologis dan kimiawi, sedangkan pengolahan tersier digunakan untuk mengolah nutrisi. Tingkat pengolahan tergantung pada kualitas air limbah dari berbagai jenis sumber air limbah tersebut.

Unit sedimentasi di dalam pengolahan air limbah berfungsi untuk menurunkan materi padatan melalui pengendapan. Pengendapan dapat terjadi karena berat jenis padatan lebih besar daripada berat jenis cairan sehingga mudah untuk mengendap secara gravitasi. Prinsip dasar proses sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dari fase cairan. Selimut lumpur (*sludge blanket*) juga menyebabkan pemisahan padatan, selain gaya gravitasi. Unit sedimentasi mengurangi 50-65% konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dan sebagian padatan organik dalam air limbah, serta 25-40% konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) melalui proses fisik tanpa pembubuhan zat kimia. Berdasarkan konsentrasi padatan dan kecenderungan interaksi partikel, sedimentasi dibagi menjadi empat tipe. Tipe-

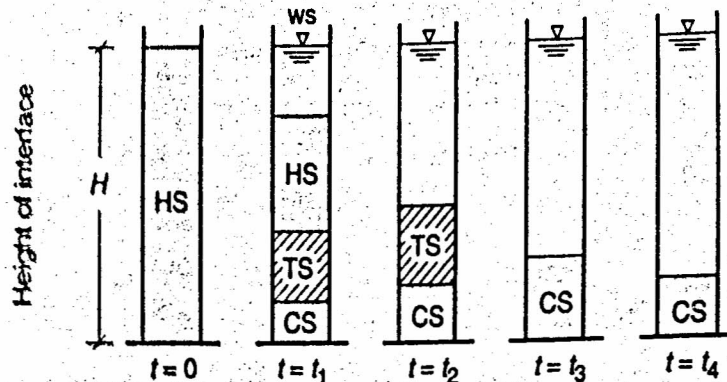
tipe tersebut adalah sedimentasi diskrit, flokulan, *hindered*, dan kompresi (Droste, 1997). Sedimentasi *hindered* terjadi pada suspensi dengan konsentrasi menengah (*intermediate*) ketika konsentrasi partikel mampu menghalangi pergerakan air. Air harus bergerak pada ruang antar partikel. Gaya antar partikel cukup besar untuk menghalangi proses pengendapan partikel-partikel yang berdekatan. Partikel cenderung untuk berada pada posisi yang tetap (Tchobanoglous *et al.*, 2014). Berbagai macam dasar teori dan asumsi tercantum pada prosedur rancangan unit sedimentasi. Pengujian skala laboratorium diperlukan untuk mendapatkan pendekatan presisi terhadap pemilih kriteria rancangan. Atas dasar deskripsi tersebut, tujuan penelitian ini menentukan salah satu parameter rancangan unit sedimentasi, yaitu *solid loading* dan *overflow rate*. *Solid loading rate* menunjukkan laju penggunaan massa padatan per satuan luas per satuan waktu, sedangkan *overflow rate* adalah laju pemisahan flok *settler* dengan supernatan di atas permukaan air.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan contoh uji air limbah pada salah satu industri di bidang penyedia produk perawatan tubuh dan cairan pencuci piring terkemuka di Jakarta. Pengambilan contoh uji dilakukan selama enam jam pada rentang waktu satu minggu sehingga karakteristik air limbah dari seluruh variasi jenis proses diharapkan dapat terwakili.

Alat penelitian menggunakan *imhoff cone*, cawan, *furnace*, oven, pH meter, turbidimeter, DO meter, timbangan analitik, desikator, dan penggaris. Selain contoh uji air limbah, tambahan bahan penelitian menggunakan akuades dan kertas saring untuk pengukuran TSS.

Contoh uji air limbah campuran supernatan dan padatan hasil *jar test* berdasarkan dosis dan pH koagulan optimum dimasukkan ke dalam *Imhoff cone* hingga batas tanda tera. Parameter TSS awal diukur pada saat supernatan dan padatan masih tercampur. Kemudian, contoh uji air limbah didiamkan kurang lebih dua jam. Posisi *boundary* diamati dan dicatat berdasarkan yaitu *hindered settling*, *transition settling* dan *compression settling*. Ketinggian zona *settling* diukur setiap 10 menit selama dua jam menggunakan mistar berdasarkan batas *boundary*. Secara skematik, prosedur ini dapat diamati pada Gambar 1. Setelah dua jam atau ketika zona *settling* hanya terdiri dari *compression settling*, parameter TSS padatan kembali diukur. Hasil pengukuran diplotkan membentuk kurva *hindered zone interface settling* sehingga *overflow rate* dan *solid loading rate* diperoleh.



Gambar 1 Skematik pengukuran zona *settling*
(Sumber: Tchobanoglous *et al.*, 2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Zone *settling* terjadi apabila partikel-partikel zat padat saling berdekatan di dalam suspensi pada jarak yang sama akibat pengaruh gaya-gaya kohesi membentuk ikatan dan struktur yang plastis. Semakin panjang waktu pengendapan, maka semakin besar gaya kohesi antar partikel membentuk zona *compression*. Kondisi tersebut ditunjukkan pada hasil analisis di Tabel 1. Dari data Tabel 1, ketinggian zona lumpur total berdasarkan akumulasi ketinggian di zona *hindered*, *transition*, dan *compression*, mengalami pengurangan karena gaya kohesi antar partikel semakin kuat di zona *compression*.

Sebagai tujuan akhir rancangan unit sedimentasi, nilai *overflow* terpilih berdasarkan beberapa pertimbangan faktor, yaitu kebutuhan area untuk pengendapan (*clarification*), kebutuhan luasan *thickening*, dan nilai pengambilan lumpur. Luasan *thickening* lebih besar dibandingkan area pengendapan sehingga nilai *free settling* jarang digunakan sebagai faktor kontrol. Ketinggian kolom (H_0) diisi oleh padatan tersuspensi dengan konsentrasi homogen (C_0). Hubungan ketinggian zona lumpur dan waktu pengendapan dibentuk satu kurva *hindered zone interface settling* pada Gambar 2. Kurva ini berbentuk hiperbola sebagai pembatas untuk mencari nilai *overflow* dan *solid loading*.

Garis horizontal dibuat pada kedalaman H_u ketika padatan berupa konsentrasi tersuspensi *underflow*. Nilai H_u ditentukan melalui persamaan:

Tabel 1 Hubungan konsentrasi TSS dan tinggi reaktor

Waktu ke- (menit)	TSS (mg/L)	Ketinggian zona settling (cm)		
		Hindered	Transition	Compression
0	698,33	37	0	0
5		12	12	13
10		0	11	11,5
15		0	11	10,5
20		0	10	10
25		0	8	9
30		0	7	6
35		0	5	7
40		0	3	9
45		0	0	9,1
50		0	0	9,5
55		0	0	9,7
60	1577,67	0	0	9,4

$$H_u = \frac{C_0 H_0}{C_u} \tag{1}$$

C_0 merupakan konsentrasi TSS awal, sedangkan H_0 merupakan ketinggian kolom maksimum ketika air limbah dimasukkan ke dalam kolom. Dengan demikian,

$$H_u = \frac{(698,33 \text{ mg/l})(0,37 \text{ m})}{(1577,67 \text{ mg/l})} = 0,16 \text{ m}$$

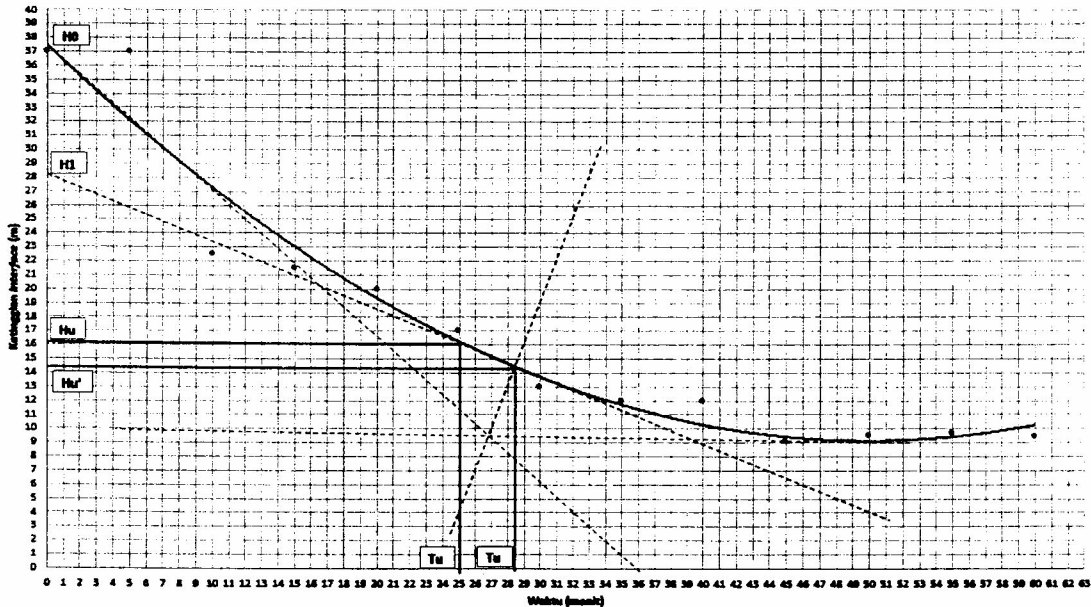
Garis tangen dibuat pada kurva untuk mendapatkan titik C_2 . Titik ini merupakan titik tengah antara *hindered* dan *compression settling*. Sudut hasil persinggungan dua garis tangen menentukan posisi titik C_2 . Perpotongan garis singgung 90° dengan garis tegak lurus penentu C_2 menghubungkan nilai H_u sehingga nilai t_u (waktu untuk mencapai konsentrasi *underflow*) diperoleh sebesar 25 menit. Dengan demikian, luas area *thickening* (A_t) adalah:

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{Q t_u}{H_0} \\
 &= \frac{(0,002 \text{ m}^3/\text{detik})(25 \text{ menit})(60 \text{ detik/menit})}{(0,37 \text{ m})} = 8,1 \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Kecepatan *subsidence* (v) ditentukan berdasarkan penarikan garis horizontal menuju H_u' di sumbu y dari titik C_2 pada kurva *interfece settling* dan penarikan garis vertikal menuju t_u' di sumbu x. Kecepatan terhitung merepresentasikan laju pengendapan *unhindered* dari lumpur.

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{(H_0 - H_u')}{t_u'} \\
 &= \frac{(0,37 \text{ m} - 0,145 \text{ m})}{(28,5 \text{ menit})} (60 \text{ menit/jam}) = 0,47 \text{ menit/jam}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Penentuan laju pengendapan (Q_c) berdasarkan volume cairan di atas zona kritis lumpur sehingga dapat dihitung melalui persamaan:



Gambar 2 Kurva *hindered zone interface settling*

$$\begin{aligned}
 Q_c &= Q \left(\frac{H_0 - H_u}{H_0} \right) \\
 &= 0,002 \text{ m}^3/\text{detik} \left(\frac{0,37 \text{ m} - 0,16 \text{ m}}{0,37 \text{ m}} \right) = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Penentuan kebutuhan luas zona pengendapan diperoleh melalui pembagian laju pengendapan dan kecepatan pengendapan.

$$\begin{aligned}
 A_c &= \frac{Q_c}{v} \\
 &= \frac{(0,001 \text{ m}^3/\text{detik})}{(0,47 \text{ menit/jam})(3600 \text{ jam/detik})} = 8,47 \text{ m}^2
 \end{aligned} \tag{5}$$

Nilai *solid loading* ditentukan melalui persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa solid harian} &= Q C_0 \\
 &= \frac{(0,002 \text{ m}^3/\text{detik})(698,33 \text{ g/m}^3)}{\left(\frac{10^3 \text{ g}}{\text{kg}}\right)} \left(86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}}\right) = 120,67 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Solid loading rate} &= \frac{\text{massa solid harian}}{A_t} \\
 &= \frac{120,67 \text{ kg/hari}}{8,1 \text{ m}^2} = 14,88 \text{ kg/m}^2 \text{ hari}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Nilai *overflow* ditentukan melalui persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Solid loading rate} &= \frac{Q}{A_t} \\
 &= \frac{(0,002 \text{ m}^3/\text{detik})}{8,1 \text{ m}^2} = 21,31 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hari}
 \end{aligned} \tag{8}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan kurva *hindered zone interface settling*, luas zona lumpur (*thickener*) mencapai $8,1 \text{ m}^2$; laju pengendapan sebesar $0,001 \text{ m}^3/\text{detik}$; luas zona pengendapan sebesar $8,47 \text{ m}^2$; nilai *solid loading* mencapai $14,88 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{detik}$; dan nilai *overflow* mencapai $21,31 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$.

Daftar Pustaka

- Droste, R. L. (1997): *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Willy & Sons Inc., New Jersey.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F. (2014): *Wastewater Engineering: Treatment and Resouce Recovery*, McGraw-Hill, New York.