Majalah Bulanan

Rp 12.500,-

Persatuan
Perusahaan Air Minum
Seluruh Indonesia

air minum

edisi 145 oktober 2007

ISSN 0126-2785

**Gempa Jadi
Momentum untuk
Benahi PDAM
di Bengkulu**

Laporan utama:

Kerja sama Perpamsi - WBI

Camp Test

Miniatur Sedimentasi

Sebagai unit yang populer, sedimentasi nyaris selalu ada di PDAM. Di mana ada koagulasi-flokulasi di situ pasti ada sedimentasi. Dengan memanfaatkan gaya gravitasi, pemisahan padatan dari cairan (air) didasarkan atas perbedaan berat jenisnya. Dengan kata lain, gaya berat padatan lebih besar daripada gaya apung cairan (air).

oleh

Gede H. Cahyana

Water & Wastewater Treatment Specialist

<http://gedehace.blogspot.com>

Istilah sedimentasi (*sedimentation*) dapat dipertukarkan (*interchangable*) dengan istilah *settling*. Maka, istilah *sedimentation basin* = *settling basin*, istilah *sedimentation tank* = *settling tank*. Konsep sedimentasi ini diterapkan pada *grit chamber* (pemisah pasir, *grit*), *primary settling tank* (pemisah pasir, *grit* yang lebih kecil daripada partikel di *grit chamber*), *secondary settling tank* (pemisah bioflok, *activated sludge*), *sedimentation* (pemisah *kimflok* setelah koagulasi-flokulasi), *prasedimentation* (pemisah pasir dari air sungai), *sludge thickener* (pemekat lumpur).

Semua unit tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat jenis yang didasarkan atas fenomenanya dan dikaitkan dengan jenis partikel dan konsentrasinya. Empat tipenya itu ialah tipe diskrit (klarifikasi klas-1), tipe flok (klarifikasi klas-2), tipe *zone settling*, dan tipe *compression settling*. Hanya saja, empat tipe tersebut tidak mutlak terpisah kejadiannya tetapi mungkin saja terjadi lebih dari satu tipe di dalam satu unit tangki pengendap. Pada tabel 1 diberikan deskripsi ringkas setiap tipe dan di unit apa saja fenomenanya dapat terjadi.

Hukum Sedimentasi

Fenomena pengendapan tipe-1 mudah dijelaskan dengan hukum klasik Newton, hukum Stoke, dan Archimedes. Dari analisis berbagai formula tersebut diperoleh formula pengendapan yang disebut hukum Stokes. Dalam tulisan ini tidak disertakan kalkulasi matematisnya karena relatif panjang uraiannya.

Di bawah ini diberikan nilai bilangan *Reynold* yang mungkin terjadi dalam sedimentasi.

1. $Re < 1$

Aliran airnya sangat lancar tanpa gelembung udara. Garis-garis fluida melewati partikel secara laminar (*lamina* = berlapis-lapis) sehingga berlaku hukum Stoke.

2. $1 < Re < 10^3$

Kisaran ini disebut daerah transisi (*Allen area*). Terjadi gelembung tetapi partikelnya masih stabil.

Tabel Fenomena sedimentasi dalam unit pengolahan air

Tipe	Deskripsi	Aplikasi
Diskrit	. partikel diskrit, individualis . sulit membentuk flok . konsentrasinya encer (<i>dilute suspension</i>)	<i>grit chamber</i>
Flok	. partikel flok . bergabung dengan partikel yang lain . konsentrasinya encer	<i>primary settling tank</i> <i>sedimentation tank</i> (<i>kimflok</i>)
Zone	. partikel flok. . konsentrasi <i>intermediate</i> (sedang) . posisi antarpartikel relatif tetap karena sulit bergerak akibat jarak antarpartikelnya sangat pendek	<i>secondary settling tank</i> (<i>bioflok</i>)
Kompresi	. partikel flok . konsentrasi sangat tinggi . partikel bersinggungan, tak ada jarak antarpartikel . terjadi pemampatan atau kompaksi	lapisan terbawah <i>secondary settling tank</i> <i>sludge thickener</i>

3. $10^3 < Re < 2,5 \times 10^5$

Rentang ini disebut daerah Newton. Partikel berosilasi, bergelombang, naik-turun, ke kanan ke kiri sehingga muncul gelembung yang tidak stabil.

4. $Re > 2,5 \times 10^5$

Aliran ini turbulen, partikel bergoyang seperti diaduk cepat.

Pada unit sedimentasi aliran harus laminar agar partikel dapat mengendap dengan sempurna dan efisiensi pemisahannya menjadi tinggi. Dengan asumsi partikelnya berbentuk bola maka diperoleh persamaan Stoke (*Stoke's equation*), yaitu:

$$v = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}$$

Contoh:

Kita ingin tahu kecepatan endap partikel berbentuk bola berdiameter 0,5 mm dan berat jenisnya 2,65 di dalam air bertemperatur 20°C. Asumsikan alirannya laminar dulu lalu di-*trial-error*. Diketahui kekentalan mutlak air $\mu_{20} = 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ N.d/m}^2$, $N = \text{kgm/d}^2$, massa jenis air $\rho_{20} = 998,2 \text{ kg/m}^3$.

$$1. v = \frac{9,81 \text{ m/d}^2 (2650 - 998,2) \text{ kg/m}^3 (5 \cdot 10^{-4})^2 \text{ m}^2}{18 \cdot 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ N.d/m}^2} = 0,22 \text{ m/d.}$$

2. Cek bilangan Reynold, $Re = v.d.r/m$

$$Re = \frac{0,22 \text{ m/d} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot 998,2 \text{ kg/m}^3}{1,002 \cdot 10^{-3} \text{ N.d/m}^2} = 112 \text{ (transisi)}$$

$$3. Cd = \frac{24}{112} + \frac{3}{\sqrt{112}} + 0,34 = 0,84$$

4. Menentukan kecepatan pengendapan, v .

$$v = \left[\frac{4,9,81(2650-998,2)5 \cdot 10^{-4}}{3,0,84 \cdot 998,2} \right]^{1/2} = 0,11 \text{ m/d}$$

5. Dengan $v = 0,11$ ulangi lagi langkah 2, 3 dan 4.

$$6. Re = \frac{0,11 \text{ m/d} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot 998,2 \text{ kg/m}^3}{1,002 \cdot 10^{-3} \text{ N.d/m}^2} = 56 \text{ (transisi)}$$

$$7. Cd = \frac{24}{56} + \frac{3}{\sqrt{56}} + 0,34 = 1,17$$

$$8. v = \left[\frac{4,9,81(2650-998,2)5 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 1,17 \cdot 998,2} \right]^{1/2}$$

$$v = 0,096 \text{ m/d} \gg 0,10 \text{ m/d} \gg 0,11 \text{ m/d}$$

Dalam desain tangki sedimentasi biasanya langsung ditentukan besar partikel yang akan diendapkan, yaitu partikel yang memiliki *terminal settling velocity* tertentu (v_t). Kecepatan v_t ini menjadi acuan untuk mendesain unit sedimentasi. Dengan asumsi ini, semua partikel yang kecepataannya $\geq v_t$ akan mengendap. Kapasitas alirannya (laju klarifikasi), $Q = v_t A$. A = luas permukaan unit sedimentasi. $v_t = Q/A$ atau *overflow rate* = *surface loading* atau beban permukaan ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$). v_t ekuivalen dengan beban permukaan bak.

Pada persamaan $Q = v_t A$, tampak bahwa kapasitas (Q) tak bergantung pada kedalaman (*depth*) bak untuk tipe diskrit (klas-1). Hubungan antara v_t , t_d dan h (*height*, tinggi atau dalam bak) adalah $v_t = h/t_d$.

Camp Test

Sesungguhnya rumus di atas jarang digunakan dalam desain IPAM karena sulit dalam menentukan diameter partikelnya dan bentuknya tidak bulat bola (sferis) sehingga perlu faktor koreksi, y . Oleh sebab itu, dikembangkan cara tak langsung untuk mendapatkan *settling velocity*, v_t partikel diskrit dalam suspensi encer, yaitu dengan kolom pengendapan yang dikenal dengan *Camp test*.

Sampel air yang berisi suspensi partikel dimasukkan ke dalam kolom uji pengendapan, diaduk sampai terdistribusi merata dan dibiarkan mengendap dalam keadaan tenang (laminar). Misalkan partikel berada di permukaan air pada $t = 0$, maka kecepatan endap partikel saat sampai di titik sampling ialah:

$$v_o = \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{waktu tempuh}} = \frac{z_o}{t_o}$$

t_o adalah waktu tempuh proses pengendapan dari permukaan air sampai dengan titik sampling (*port*). Partikel lain yang berposisi z_p di atas titik sampling mencapai titik sampling dengan waktu yang sama dengan partikel yang berposisi di permukaan air (z_o). Maka, disimpulkan $v_p < v_o$.

$$v_p = \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{waktu tempuh}} = \frac{z_p}{t_o}$$

Karena kedua partikel tersebut waktu tempuhnya sama maka dapat dibuat persamaan sbb:

$$t_o = \frac{z_o}{v_o} = \frac{z_p}{v_p}$$

$$\text{atau } v_p/v_o = z_p/z_o.$$

Dari dua persamaan di atas, disimpulkan:

1. Semua partikel berdiameter $\geq d_o$, maka kecepatan endapnya $\geq v_o$ dan akan mencapai titik sampling pada $t \leq t_o$.
2. Partikel berdiameter $d_p < d_o$, maka kecepatan endapnya $v_p < v_o$ dan mencapai titik sampling pada $t = t_o$ apabila posisi awalnya berada di bawah z_p .
3. Apabila partikel terdistribusi merata dari atas sampai ke bawah, maka jumlah fraksi partikel yang berdiameter d_p dengan kecepatan v_p yang mencapai titik sampling pada $t = t_o$ adalah $z_p/z_o = v_p/v_o$ sehingga efisiensi pemisahan partikelnya sama dengan rasio kecepatan endap partikel v_p terhadap v_o .

Analisis Camp Test

Prinsip kolom di atas dapat digunakan untuk menentukan keterendapan (kemampuan mengendap atau *settability*) suatu suspensi partikel. Secara teoretis, kedalaman kolom air tidak berpengaruh pada hasil percobaan. Umumnya digunakan kedalaman, $h = 2$ m.

Caranya: campurkanlah suspensi secara merata agar didapat konsentrasi awal yang tepat (representatif). Ukurlah konsentrasi awalnya, C_o . Setelah dibiarkan mengendap dalam waktu t_1 , ambillah konsentrasi kedua, yaitu C_1 . Semua partikel C_1 punya kecepatan endap kurang dari z_o/t_1 sehingga fraksi massanya ialah $x = C_1/C_o$ dan $v_1 < z_o/t_1$. Proses ini diulang beberapa kali dan x_i adalah fraksi partikel yang berkecepatan $v_i < z_o/t_i$. Data yang didapat lalu diplotkan pada kertas grafik dan dibuatkan grafiknya.

Dari percobaan kolom pengendapan itu, apabila ditentukan waktu detensi (*detention time*) t_o , maka persentase pemisahan totalnya bisa diketahui. Semua partikel berkecepatan endap lebih besar dari v_o ($v_o = z_o/t_o$) akan terendapkan 100%. Dengan kata lain, sejumlah fraksi partikel $(1-x_o)$ akan lengkap mengendap sedangkan sisanya akan mengendap dengan rasio v_i/v_o , seperti

diperlihatkan oleh daerah yang diarsir pada gambar terlampir. Luas daerah yang diarsir didapat dengan integrasi apabila persamaan v dan x diketahui.

$$X = 1 - x_o + \int_0^{x_o} (v_i/v_o) dx$$

X adalah fraksi massa total yang dipisahkan dengan sedimentasi. Cara sederhana dan mudah untuk solusi persamaan di atas dengan cara membuat interval (partisi) Dx .

Contoh analisis tipe -1

Misalkan kita melakukan percobaan kolom uji Camp terhadap suatu sungai dan data yang diperoleh sbb:

waktu, menit	0	60	80	100	130	200	240	420
konsentrasi sisa, mg/l	300	189	180	168	156	111	78	27

Debit yang direncanakan adalah $Q = 25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$. Berapakah efisiensi teoretis yang mungkin diperoleh?

Jawab

1. Hitunglah sisa fraksi massa dan laju endapnya.

waktu, menit	60	80	100	130	200	240	420
sisa fraksi masa, mg/l	0,63	0,60	0,56	0,52	0,37	0,26	0,09
$v_t \times 10^{-2} \text{ m/menit}$	3,3	2,5	2,0	1,55	1,00	0,83	0,48

2. Buatlah grafik sisa fraksi partikel vs kecepatan mengendap.
3. Tentukan $v_o = 25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} = 1,74 \times 10^{-2} \text{ m/menit}$.
4. Tentukanlah x_o . Dari grafik di dapat » 54%.
5. Tentukan $Dx.v_t$ dengan integrasi grafis.

Δx	v_t	$\Delta x.v_t$
0,06	1,50	0,09
0,06	1,22	0,07
0,1	1,00	0,10
0,1	0,85	0,09
0,1	0,70	0,07
0,06	0,48	0,03
0,06	0,16	0,01
		$\Sigma = 0,46$

6. Efisiensinya (*overall removal efficiency*)

$$X = 1 - x_o + \sum \frac{Dx.v_t}{v_t} X = 1 - 0,54 + \frac{0,46}{1,74}$$

$$X = 0,46 + 0,26 \quad X = 72\%$$

Jadi, apabila air sungai tersebut diolah dengan unit Prased dan dengan asumsi seperti di atas, maka kita berharap efisiensinya 72 persen. Faktanya tentu saja bisa berkisar di sekitar angka itu, bisa lebih bisa juga kurang.