Majalah Bulanan

Rp 12.500,-

Persatuan
Perusahaan Air Minum
Seluruh Indonesia

air minum

edisi 138 maret 2007

ISSN 0126-2785

Hari Air Sedunia 22 Maret 2007

Coping with Water Scarcity

CASCADE

The Art of Aeration

"Jadi..., ini yang namanya instalasi? Kok kotak-kotak semua? Baknya kaku dan kurang bersahabat. Apa nggak bisa agak nyeni sedikit?" demikian keluhan seorang mahasiswa ketika sempat melihat instalasi pengolahan air PDAM.

Tak salah penglihatan mahasiswa itu. Faktanya demikian. Kebanyakan instalasi pengolah air, baik air minum maupun air limbah, memang berbentuk bak-bak saja dan terkesan kaku bersudut. Namun sebetulnya ada juga yang sudah diupayakan berseni dengan membuatnya berbentuk lingkaran dan konfigurasi simetris, selain untuk meraih keuntungan hidrolis, juga artistik. Yang dibuat segienam (heksagonal) pun ada meskipun kinerjanya masih perlu dievaluasi. Terlepas dari itu, upaya ke arah penyesuaian area instalasi sudah ditempuh oleh sejumlah PDAM dan patutlah diapresiasi.

Fenomena Aerasi

Dari sekian banyak jenis dan tipe unit operasi-proses di PDAM, ada satu unit yang lumayan penting, meskipun tak selalu ada, yaitu aerator. Sebagai penurunan kadar ion besi dan mangan di dalam air baku, unit ini didesain agar airnya mudah berkontak dengan udara. Ketika kontak itulah oksigen di udara diharapkan bereaksi dengan ion besi dan mangan lalu

oleh **Gede H. Cahyana**

Dosen Universitas Kebangsaan Bandung
<http://gedehace.blogspot.com>

membentuk presipitat yang bisa disisihkan di unit selanjutnya, misalnya di sedimentasi setelah mengalami proses koagulasi - flokulasi atau dipisahkan di unit filter.

Hal itu terjadi kalau aeratornya mampu menghasilkan lapisan kontak air-udara (*interfacial film*) yang sedemikian tipis sehingga terjadi reaksi oksidasi-reduksi. Makin tipis dan makin luas bidang kontakannya, hasilnya akan makin bagus sehingga kian tinggi efisiennya. Karena waktu kontakannya singkat maka transfer gasnya ke dalam air harus dioptimalkan. Optimasi ini berbeda-beda antartipe aerator sehingga berbeda pula kinerjanya. Setiap tipe aerator itu memiliki ciri khas masing-masing dalam proses aerasinya.

Walau demikian, secara umum semua tipe itu berprinsip sama, yaitu kontak udara-air melalui selaput tipis tempat terjadinya reaksi. Reaksi inilah yang akan "mengeluarkan" ion tersebut dari air. Jika tidak "dikeluarkan" maka efek ekonominya cukup tinggi, juga efeknya terhadap kesehatan kita. Sebab, air berkadar besi dan mangan yang tinggi dapat menimbulkan bercak kemerahan (*reddish*) atau kecoklatan (*brownish*) pada pakaian. Warnanya yang kemerahan itu akibat besi dan kecoklatan akibat mangan. Air yang mengandung kedua ion tersebut akan berubah menjadi kemerahan atau kecoklatan, berasa logam jika diminum, dapat berefek buruk pada kesehatan,

membentuk endapan kemerahan atau kecoklatan di dalam pipa serta membiakkan bakteri besi (*Crenothrix*).

Besi dan mangan di dalam air bisa berupa ion bebas, bisa juga berikatan dengan zat organik. Yang tidak berkombinasi dengan zat organik lebih mudah disisihkan dengan cara aerasi. Tetapi yang berikatan dengan zat organik harus dibantu dengan oksidator seperti klor atau kalium permanganat. Presipitat yang terbentuk lantas diendapkan setelah dikoagulasiflokulasikan lalu difilter. Selain menyisihkan besi dan mangan, aerasi juga dapat menghilangkan bau dan rasa air yang disebabkan oleh *volatile organic compounds* (VOC). Selain *trace* VOC itu (*trace*: seangin, runut, sangat-amat sedikit), air yang berbau atau berasa mengindikasikan airnya mengandung gas-gas terlarut (*dissolved gases*) seperti CO₂, H₂S atau bahkan limbah industri.

Cascade, Aerator Undak

Menurut tipenya, aerator bisa dibagi menjadi empat kelompok, yaitu *gravity aerator*, *spray*, *diffuser* dan *mechanical aerator*. Yang disebut terakhir lebih banyak diterapkan pada air limbah, yakni pada proses *activated sludge*. Adapun yang dibahas di sini hanyalah tipe pertama: *gravity aerator*. Tipe yang dikupas ini pun masih bisa dibagi lagi menjadi beberapa varian, misalnya *inclined apron*, *perforated pipe*, *tower with gas flow*, dan *cascade*.

Cascade adalah varian aerator gravitasi yang fisiknya artistik berbentuk tangga, indah dipandang, *the art of aeration*. Ia serupa dengan tangga (*stairs*) yang ada di

setiap rumah atau kantor, tetapi bukan tangga untuk naik ke pohon kelapa misalnya. Jika dicarikan padanannya dalam bahasa Indonesia, maka nama Aerator Undak (tangga disebut juga undak-undak) dianggap mewakili. Pada Aerator Undak ini air dijatuhkan ke permukaan serial undakan untuk menghasilkan turbulensi dan menimbulkan percikan indah butiran air. Proses aerasinya akan makin bagus kalau ukuran butir airnya makin kecil. Selain itu, lapisan air tipis yang melimpas di atas undakannya juga mendukung terjadinya aerasi. Semakin luas undakannya semakin tinggi efisiensinya.

Aerator Undak seperti gambar terlampir adalah unit yang didesain mengikuti hukum gerak jatuh bebas berlandaskan hukum Newton. Itu sebabnya, elemen penting dalam kalkulasi desainnya adalah *head* yang tersedia (*available head*, *h* atau *H*) dan umumnya diambil antara 1-3 m (tetapi jarang yang 1 m). Karena memanfaatkan energi jatuh bebas inilah Aerator Undak dikatakan hemat energi. Kekurangannya tentu saja ada dan ini berkaitan dengan efisiensinya yang lebih rendah daripada tipe lain. Ini dapat dimaklumi karena energinya semata-mata dari energi alami. Oleh sebab itu, unit ini kurang layak digunakan untuk instalasi besar. Lebih cocok untuk debit kecil, misalnya dalam lingkup satu kantor atau pabrik kecil. Namun tetap bisa diterapkan untuk kapasitas besar dengan cara pembagian debit olahan menjadi beberapa unit tipikal. Dengan desain yang tepat, bisalah diperoleh penyisihannya yang tinggi.

Untuk keperluan analisis, Aerator Undak ini didekati dengan prinsip mekanika klasik yang dirilis Isaac Newton dan terangkum dalam Hukum I, II, III Newton. Dari ketiga hukum tersebut, yang langsung berkaitan adalah Hukum II Newton, terutama berkenaan dengan percepatan benda (air). Peran gaya gravitasi begitu dominan ketika air jatuh dalam satu undakan (*step*) yang menimbulkan percepatan (*a*, *acceleration*) atau dalam kasus jatuh-bebas (*free fall*) ini disebut percepatan gravitasi yang disimbolkan dengan huruf *g*.

Formulasinya dijabarkan berikut ini. Percepatan (akselerasi, *a*) ialah perubahan

kecepatan (*dv*) per perubahan waktu (*dt*) atau dalam hal ini percepatan gravitasi

disimbolkan dengan $a = \frac{dv}{dt} = -g$. Dari sini

lantas diperoleh persamaan diferensial

$dv = -gdt$. Ruas kanan-kiri diintegrasikan

sehingga dihasilkan $v = v_o - gt$. Jika kecepatan awalnya sama dengan nol ($v_o = 0$), maka waktu yang dibutuhkan untuk jatuh pada satu undakan setinggi *h* ialah

$$v = \frac{dh}{dt} = -gt. \quad \text{Hasil integrasinya:}$$

$$h = \frac{1}{2}gt_h^2. \quad \text{Disusun kembali menjadi}$$

$$\text{bentuk } t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad \text{Untuk tinggi total H}$$

yang dibagi menjadi *n* buah undakan, waktu total kontak air dan udara (t_c) ialah

$$t_c = n\sqrt{\frac{2H}{ng}} = \sqrt{\frac{2Hn}{g}}. \quad \text{Dari persamaan}$$

tersebut diperoleh bahwa waktu kontak *t* proporsional terhadap $\sqrt{n}$.

Contoh Perhitungan

Andaikanlah sebuah PDAM ingin menurunkan kadar ion besi dan mangan di dalam air bakunya. Yang akan digunakan adalah Aerator Undak (*Cascade*) bertinggi jatuh 2 m. Direncanakan dibuat empat undakan (*steps*) setinggi masing-masing 0,5 m. Berapakah waktu aerasinya? Berapa kebutuhan oksigennya kalau debit olahannya 150 l/d?

Waktu aerasi yang terjadi ialah:

$$t_c = \sqrt{\frac{2Hn}{g}}$$

t : waktu aerasi (d)

g : percepatan gravitasi (m/d²)

h : tinggi satu undakan (step) (m)

H : tinggi total jatuh air (m)

n : jumlah step

$$t_c = \sqrt{\frac{2(2)4}{9,81}} = 1,28 \text{ d. Jadi waktu total}$$

kontaknya = 1,28 detik.

Ada beberapa asumsi serial reaksi yang terjadi dalam reaksi oksidasi besi dan

mangan. Pada kesempatan ini diasumsikan reaksi kimia yang terjadi sebagai berikut:

Dari reaksi redoks tersebut bisa dihitung bahwa kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi 1 mg/l ion besi adalah 0,14 mg/l. Untuk menghilangkan 1 mg/l ion mangan diperlukan 0,29 mg/l oksigen. Jika debit olahan PDAM 150 l/d, maka kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi ion besi = 0,14 mg/l (150 l/d) = 21 mg/d. Jadi per hari dibutuhkan 21 mg/d x 86.400 d/h = 1.814.400 mg/h, atau sama dengan 1,81 ton oksigen per hari. Untuk mengoksidasi mangan: 0,29 mg/l (150 l/d) = 43,5 mg/d. Per hari = 43,5 mg/d x 86.400 d/h = 3.758.400 mg/h, atau sama dengan 3,76 ton per hari. Kebutuhan total oksigen = 5,57 ton per hari.

Tinggal sekarang ditetapkan berapa mg/l ion besi dan mangan yang harus diturunkan dalam air olahan PDAM. Ini bergantung pada kadar ion besi dan mangan di dalam air bakunya dan standar kualitas air minum yang berlaku (*besi* = 0,3 mg/l; *mangan* = 0,1 mg/l; menurut Kepmen Kesehatan RI, No. 907/Menkes/SK/VII/2002). Selisih kadar inilah yang harus disisihkan. Dengan perhitungan sederhana bisalah diperkirakan kebutuhan oksigennya, termasuk kapasitas dan jumlah alat-alat aerator yang digunakan jika tidak menggunakan Aerator Undak.

Andaikata yang harus direduksi adalah 1 mg/l seperti contoh di atas, kira-kira mampukah Aerator Undak mentransfer 5,57 ton oksigen per hari untuk mengolah air berdebit 150 l/d? Secara logika memang sulit. Tetapi tetap masih ada peluang kalau diakali dengan cara membuat, misalnya, enam unit Aerator Undak yang masing-masing mengolah 25 l/d. Dengan siasat ini Aerator Undak masih bisa berfungsi optimal sekaligus menambah seni dan indah area instalasi. Demikian dan semoga bermanfaat. ■