

DESAIN BANGUNAN PENANGKAP SEDIMEN DENGAN TEKNOLOGI BAFFLE (SEKAT)

Suhendrik Hanwar dan Revalin Herdianto
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri, Unand Padang
Kampus Limau Manis Padang, e-mail: suhendrik@polinpdg.ac.id

Abstract: *Suspended load transported by irrigation water should be inhibited to enter irrigation channels and farms due to its effects on channel and land aggradations. Current sediment traps are perceived to be costly in land requirement and construction cost. This research is intended to obtain an optimum length: width ratio for sediment traps, in order to minimize land requirement by extending their length without extra land. Experiment was conducted by introducing 1, 3, 5, and 7 cross baffles, and 0, 1, 2, and 3 elongated baffles into the model with 5 discharge for each configuration. From the experiment, it was found that the optimum sedimentation was gained by introducing 5 cross baffles into the current model, since the increment in discharge does not significantly increase sediment outcome.*

Keywords: *sediment traps, baffles, suspended solids, length:width ratio*

Abstrak: Muatan sedimen layang yang terbawa oleh air irigasi harus dicegah memasuki jaringan irigasi dan lahan karena dampaknya yang merugikan terhadap pendangkalan saluran dan peninggian lahan. Kantong lumpur yang dipakai saat ini dirasakan tidak efisien dalam hal biaya dan lahan. Penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh perbandingan panjang:lebar yang ideal untuk kantong lumpur, untuk meminimalkan kebutuhan lahan dengan cara meningkatkan panjangnya tanpa menambah luas lahan. Penelitian dilakukan dengan menambahkan 1, 3, 5, dan 7 sekat arah melintang, dan 1, 2, dan 3 sekat arah memanjang, dengan perlakuan 5 debit untuk masing-masing sekat. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa pengendapan sedimen yang optimum diperoleh dengan 5 sekat melintang, dimana peningkatan debit tidak meningkatkan persentase sedimen yang lolos melalui sekat secara signifikan.

Kata Kunci: sedimen layang, kantong lumpur, sekat, perbandingan panjang:lebar

PENDAHULUAN

Sifat sungai di Indonesia umumnya membawa sedimen, baik sedimen dasar (*bed load*) maupun sedimen layang (*suspended load*). Proses sedimentasi bisa membawa dampak positif karena menambah kesuburan tanah dan membuka daerah garapan baru ke arah hilir sungai. Tetapi kerugian yang ditimbulkan sedimentasi ini jauh lebih besar daripada manfaatnya (Asdak, 2002).

Sedimen dari sungai harus dielakkan pada tubuh bendung beserta bangunan-bangunan pelengkapanya, sehingga tidak mencapai saluran pembawa (primer, sekunder, maupun tersier). Penumpukan sedimen di

saluran irigasi akan mempersingkat umur pelayanan jaringan irigasi karena pendangkalan dan penurunan kapasitas. Selanjutnya, penumpukan sedimen di petak sawah akan menaikkan permukaan sawah, sehingga mempersulit air untuk mencapai permukaan sawah dan mengairi sawah. Partikel sedimen yang halus bahkan bisa menyumbat pori-pori tanah dan menghambat penyerapan air oleh tanaman (Kuiper, 1989). Meskipun demikian tidak semua fraksi sedimen berpotensi merusak jaringan irigasi.

Fraksi sedimen batuan biasanya sudah teratasi dengan konstruksi pembilas bawah (*under sluice*) sehingga tidak masuk ke intake

dalam kondisi debit normal. Tetapi fraksi pasir, lanau, dan lempung akan terbawa melewati pintu intake dan dapat mencapai saluran irigasi dan petak sawah. Fraksi lanau dan lempung ($< 70\mu\text{m}$) diperbolehkan masuk ke sawah, karena dapat meningkatkan kesuburan tanah (Puslitbang Pengairan, 1986). Fraksi pasir ($> 0.063\text{ mm}$), disisi lain, harus ditahan jangan sampai masuk ke sawah. Fraksi pasir ini diusahakan untuk mengendap di penangkap sedimen (*sediment trap*), yang berada di hilir pintu pengambilan (*intake*).

Secara konvensional, desain penangkap sedimen relatif berbentuk persegi dalam arah memanjang maupun melintang (Departemen Pekerjaan Umum, 1986). Rumus-rumus yang selama ini dipakai, seperti Stokes, Newton, atau grafik-grafik yang terdapat pada buku acuan perencanaan, tidak memperhitungkan kondisi alam seperti distribusi ukuran butir, konsentrasi suspensi, dan *specific weight*, sedangkan faktor-faktor tersebut besar sekali pengaruhnya terhadap sifat-sifat sedimen (Puslitbang Pengairan, 1986).

Konstruksi penangkap sedimen yang panjang, selain memerlukan areal yang cukup luas, juga memerlukan biaya yang mahal untuk perkuatan (*lining*) dinding dan dasarnya, yang biasanya terbuat dari pasangan batu, sehingga diperlukan usaha-usaha lain untuk mengendapkan sedimen dengan areal yang lebih kecil dan biaya yang lebih rendah.

TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Aliran

Banyak faktor aliran yang berpengaruh terhadap pengendapan partikel dalam suatu aliran, tetapi yang terpenting adalah kecepatan endap dan karakteristik aliran (Takamatsu dan

Naito, 1967). Simmon dan Senturk (1992) menekankan pentingnya turbulensi terhadap keberadaan sedimen di dalam suspensi. Turbulensi menjaga sedimen yang tersuspensi untuk tidak mengendap, bahkan mampu mengangkat sedimen yang sudah mengendap untuk tersuspensi lagi.

Karakter aliran yang paling sesuai untuk mengendapkan partikel sedimen adalah aliran laminar dengan kecepatan yang rendah. Banyak cara dilakukan untuk mendapatkan pola aliran yang seperti ini, atau yang lebih dikenal dengan "*plug-flow*", seperti merancang posisi *inlet* dan *outlet* (Pearson *et.al*, 1995), mencegah pembentukan gelombang dipermukaan dengan meminimalkan angin (Kim dan Kim, 2000), menggunakan *baffle*/sekat (Muttamara dan Puetpaiboon, 1997), dan merancang bentuk atau geometri dari konstruksi (European Investment Bank, 1998).

Faktor yang Berpengaruh terhadap Sedimen

Sedimen yang masuk atau mengendap dalam suatu aliran dipengaruhi oleh dua grup variabel, yang pertama adalah yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas sedimen yang masuk ke aliran tersebut, sedangkan yang kedua adalah variabel yang mempengaruhi kapasitas angkut sedimen dari aliran tersebut (Simons dan Senturk, 1992):

1. Sedimen yang masuk ke aliran. Kualitas: ukuran, kecepatan endap, *specific gravity*, bentuk, kondisi penyebaran, dan kohesi; Kuantitas: kondisi geologi dan topografi dari DAS, besar, intensitas, lama dan penyebaran hujan, kondisi tanah, tumbuhan erosi permukaan, dan pemotongan tebing
2. Kapasitas suatu aliran untuk mengangkut Sedimen. Sifat-sifat geometri saluran:

kedalaman, lebar, bentuk dan lengkungan. Sifat-sifat hidrolis saluran pengangkut: kemiringan, kekasaran, radius hidrolis, debit, kecepatan, distribusi kecepatan, turbulensi, gaya seret, sifat-sifat fluida, dan keseragaman debit.

Sedimentasi

Menurut Polprasert dan Battarai (1985), pengendapan sedimen dipengaruhi oleh turbulensi. Aliran yang laminar mendorong pengendapan terjadi lebih cepat karena jarak yang dibutuhkan partikel untuk mengendap lebih pendek. Pengendapan partikel bisa dihalangi oleh angin yang bertiup di permukaan karena angin bisa menimbulkan gelombang dan menyebabkan turbulensi. Selain itu, pengendapan sedimen ini juga dipengaruhi oleh kecepatan endap partikel (Puslitbang Pengairan, 1986).

Penangkap Sedimen Konvensional

Bangunan penangkap sedimen yang ada biasanya memiliki bentuk persegi panjang, dengan kemiringan tertentu pada dasar saluran dalam arah memanjang. Perbandingan panjang: lebar disyaratkan minimal 8 (Departemen Pekerjaan Umum, 1986). Keseluruhan panjang bangunan ini diakomodir oleh lahan, sehingga kebutuhan akan lahan menjadi cukup besar.

Geometri

Pada umumnya, saluran dengan rasio panjang: lebar saluran yang besar lebih baik untuk pengendapan partikel, karena pola aliran yang lebih mendekati *plug-flow* (teratur) daripada *mix* (tidak beraturan). Herdianto (2002) berpendapat bahwa semakin panjang saluran, semakin baik untuk pengendapan partikel,

sampai pada perbandingan tertentu. Kesimpulan ini diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan pada kolam pengolahan limbah (*waste stabilization pond*) yang bertujuan untuk mengendapkan partikel alga, yang bersifat sebagai sedimen layang (*suspended load*).

Tetapi saluran yang panjang tidak ekonomis. Mangelson dan Watters (1972) pertama kali mengusulkan untuk memperpanjang jalur pengaliran pada suatu kolam berbentuk hampir bujursangkar dengan menggunakan sekat (*baffle*) dalam arah horizontal, sehingga luas areal dapat diminimumkan. Hasil percobaan ini menyimpulkan bahwa semakin besar rasio panjang:lebar saluran, semakin baik efisiensi kolam.

Tetapi Xianghua dan Yi (1991) menyatakan bahwa perbandingan panjang: lebar saluran untuk pengendapan partikel harus dibatasi, karena saluran yang terlalu sempit akan meningkatkan kecepatan, yang justru mengurangi laju pengendapan partikel. Pendapat ini didukung oleh rumusan sebagai berikut (Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

$$L = \frac{h_n \times v_n}{w} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- L : Panjang saluran;
- h_n : kedalaman saluran;
- v_n : kecepatan aliran;
- w : laju endap partikel

Pemakaian Sekat/Baffle

Sekat ini banyak dipakai pada *waste stabilization ponds* (kolam pengolah limbah) (Lloyd *et.al*, 2001; Mangelson and Watters, 1972; Muttamara and Puetpaiboon, 1997; Pearson *et.al*, 1995; Pedahzur *et.al*, 1993; Vega *et.al*, 2001; Xianghua and Yi, 1991).

Penggunaanya dimaksudkan untuk meningkatkan perbandingan L:W (panjang:lebar) karena dengan meningkatnya rasio panjang:lebar, aliran cenderung bersifat “*plug-flow*” atau teratur dan searah. Kondisi ini mempercepat pengendapan partikel-partikel zat padat yang tersuspensi di dalam air. Banyak percobaan yang dilakukan untuk menentukan perbandingan L:W yang optimum untuk pengendapan partikel tersuspensi. Mangelson and Watters (1972) berpendapat bahwa semakin panjang suatu kolam (L:W), semakin baik efisiensinya.

Kilani and Ogunrombi (1984) melakukan percobaan dengan empat konfigurasi masing-masing tanpa sekat, dengan tiga, enam, dan sembilan sekat. Percobaan ini menyimpulkan bahwa model dengan sembilan sekat memiliki efisiensi yang paling baik.

Sedangkan Pedahzur (1991) and Lloyd et.al (2001) menyatakan bahwa peningkatan rasio L:W meningkatkan kecepatan dan bisa menurunkan efisiensi, karena luas penampang aliran berkurang dengan penambahan sekat.

METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan Model

Bahan

1. Saluran. Bahan untuk pembuatan dinding saluran adalah *plastic fiber* yang transparan dan mudah dibentuk, sehingga pola aliran dan pengendapan sedimen bisa dilihat dengan jelas dan dihitung ketinggiannya. Dasar saluran dan bak penangkap sedimen terbuat dari pasangan bata yang diplester kedap air. Dinding saluran diperkuat dengan baja siku untuk mengatur ketegakan dinding saluran. Seluruh bangunan ini diletakkan di atas meja yang terbuat dari kayu untuk memudahkan pengamatan.

2. Pintu. Pintu *off-take* dan pintu penguras terbuat dari pelat baja yang dicat supaya tahan karat.
3. Sedimen. Sedimen menggunakan fraksi *silt* dan *clay* yang telah dianalisa saringan terlebih dahulu.
4. *Baffle*/sekat. Sekat terbuat dari plastik fiber. Bagian bawah dari sekat dipasang baja siku supaya dapat dipasang baut ke dasar saluran.

Peralatan

1. Pompa. Pompa yang digunakan adalah pompa berkapasitas 100 liter/menit yang terdapat di laboratorium
2. *Regulator*/pengatur *debit*. Pengatur debit digunakan supaya debit air yang masuk dapat diatur dengan tepat. Selain itu perlu mempertahankan debit yang konstan setiap waktu, karena debit yang berfluktuasi akan menyebabkan masukan sedimen tidak tetap.
3. Pemasok sedimen. Pemasok sedimen terdiri dari sebuah tangki berkapasitas 5 liter yang dilengkapi dengan pompa kecil dan *regulator* otomatis.
4. Alat pengaduk sedimen. Terbuat dari *mixer* khusus yang berkecepatan rendah dan konstan.
5. Pengukur kecepatan. Kecepatan aliran diukur dengan *current meter* digital.
6. Perhitungan dan pengukuran sedimen dilakukan dengan *oven* dan timbangan digital.

Pembuatan Penangkap Sedimen

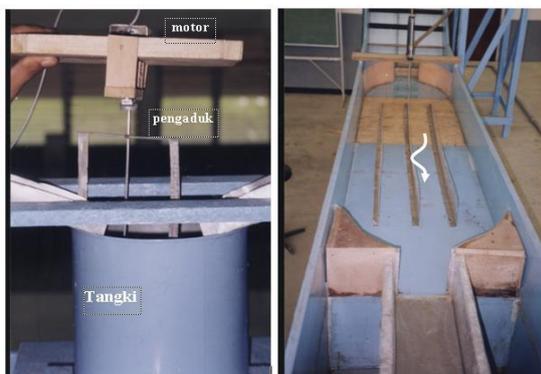
Terlebih dulu dibuat meja dari kayu untuk perletakan keseluruhan bangunan. Dasar saluran dan penangkap sedimen dibuat dari multiplek. Setelah itu dipasang pintu *off-take*

dan pintu penguras dihilir penangkap sedimen.

Alat pemasok sedimen terbuat dari tangki plastik yang dilengkapi dengan pompa kecil dan regulator, untuk mengatur volume sedimen yang keluar (lihat Gambar 10). Tangki sedimen dilengkapi dengan pengaduk yang bekerja kontinyu menjaga agar sedimen tetap tersuspensi dengan baik. Pipa yang mengeluarkan sedimen ini disambungkan dengan pipa dari reservoir yang mengalirkan air ke saluran.

Dipangkal saluran dipasang pengatur debit, dan dihubungkan dengan pipa dari pompa dan reservoir. Pipa ini berhubungan dengan pipa dari alat pemasok sedimen. Kedua pipa ini mengalir ke saluran, yang dilengkapi dengan penenang. Air lalu dialirkan ke bangunan penangkap sedimen.

Di hilir pintu *off-take* dipasang saringan dan bak penangkap lumpur untuk menampung sedimen yang lolos dari penangkap sedimen. Pintu penguras dihubungkan dengan saluran menuju bak penangkap lumpur yang dilengkapi dengan saringan. Sekat (*baffle*) dipasang dengan bantuan baja siku dan baut ke dasar saluran. Pada setiap jarak 10 cm di dinding saluran dipasang pengukur kedalaman air dan sedimen (lihat Gambar 11 dan 12).



Gambar 10, 11. Pengaduk Sedimen dan Model



Gambar 12. Model dengan Sekat Melintang

Prosedur Pengujian

1. Sedimen dimasukkan ke tangki pemasok sedimen dengan konsentrasi tertentu dan dicampur dengan air. Sedimen diaduk dengan mixer secara kontinyu. Untuk mengalirkan sedimen, pompa dinyalakan. Sedimen dan air dari pompa bercampur sebelum memasuki bangunan penangkap sedimen.
2. Kecepatan aliran diukur dengan current meter dan debit diukur dengan ambang segitiga (Thompson).
3. Air bercampur sedimen dialirkan ke bangunan penangkap sedimen selama satu jam, ketinggian muka air dicatat, dan kecepatan aliran diukur dengan current meter. Setelah itu pompa dimatikan dan pasokan sedimen dihentikan.
4. Air dikeringkan dengan kanebo dan pompa kecil secara hati-hati. Supaya sedimen tidak terbawa maka pengeringan dengan pompa dan kanebo dijaga di permukaan saja. Sedimen yang terperangkap di bak penangkap dikumpulkan.
5. Sedimen dari bangunan penangkap sedimen dikeringkan dengan oven, lalu ditimbang dan dilakukan analisa gradasi butiran.
6. Percobaan dilanjutkan dengan variasi jumlah sekat. Percobaan dilakukan dengan 3 (tiga) debit dengan kombinasi tanpa sekat, satu, dua, tiga, empat, lima, dan enam sekat

berturut-turut untuk masing-masing debit. Pada percobaan tanpa sekat, perbandingan L/W adalah $1/0.50 = 2$. Selanjutnya, dengan satu dan dua sekat dan seterusnya, perbandingan L/W semakin meningkat. Konfigurasi percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Debit dan Jumlah Sekat

Debit	Jumlah Sekat				
	0	1	2	3	4
1	*	*	*	*	*
2		*	*	*	*
3		*	*	*	*

Setiap percobaan dengan konsentrasi sedimen yang sama menghasilkan 13 kali percobaan dengan 13 sampel. Pada setiap debit dilakukan variasi konsentrasi sedimen sebanyak tiga variasi, sehingga total jumlah sampel sebanyak 39 buah.

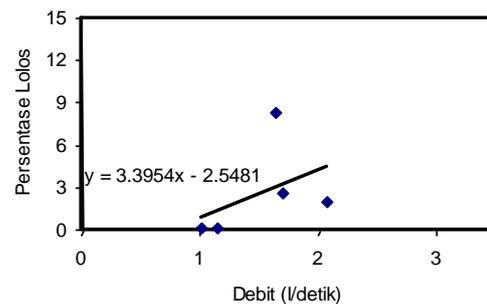
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sekat Melintang.

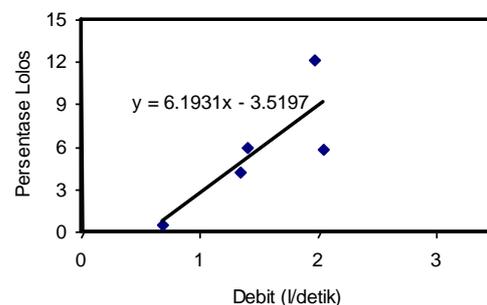
Gambar 1 sampai Gambar 5 menunjukkan hubungan antara debit aliran dengan persentase lolos dari sedimen. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa pada semua konfigurasi (model), semakin besar debit aliran maka semakin tinggi pula persentase sedimen lolos, yang berarti kecepatan pengendapan menurun. Sedang pada Gambar 2 sampai Gambar 4 masing-masing dengan 1, 3 dan 5 *baffle*/sekat terlihat bahwa semakin besar jumlah *baffle*/sekat (yang berarti ratio L:W makin meningkat), akan cenderung menghasilkan persentase sedimen yang lolos makin kecil. Ini menandakan bahwa semakin besar jumlah *baffle* (L:W makin besar), menghasilkan aliran

yang bersifat "*plug-flow*" yaitu teratur dan searah sehingga dapat mempercepat mengendapan partikel tersuspensi dan meningkatkan efisiensi pengendapan yang ditandai dengan semakin berkurangnya prosentase lolos endapan.

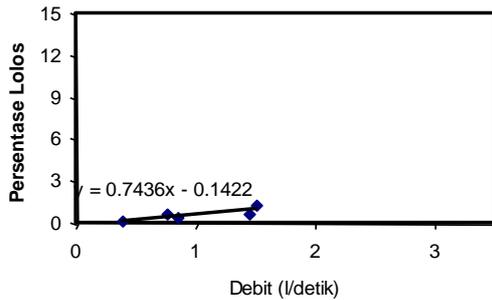
Pada debit yang telah ditetapkan, dari semua konfigurasi yang ada, persentase lolos endapan yang relatif kecil (kondisi optimum) diperoleh pada Gambar 4. Pada kondisi ini diperoleh kecepatan dan efisiensi endapan yang paling baik. Kajian ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh Mangelson dan Watters (1972) bahwa semakin panjang suatu kolam (L:W) semakin baik efisiensi; dan Kilani dan Ogunrombi (1984), bahwa model dengan *baffle*/sekat paling banyak (dalam percobaan 9 sekat) memiliki efisiensi paling baik.



Gambar 1. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen tanpa Sekat Melintang

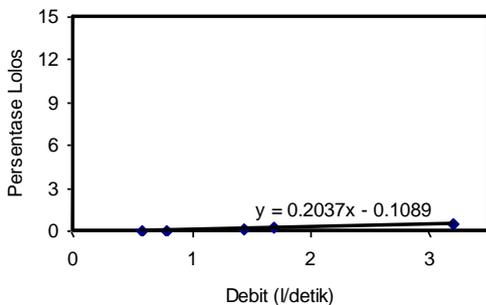


Gambar 2. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 1 Sekat Melintang

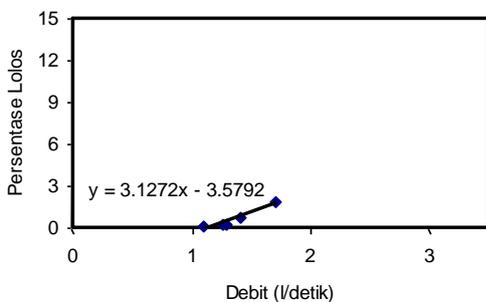


Gambar 3. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 3 Sekat Melintang

Namun hasil semua percobaan ternyata tidak selalu signifikan, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut terjadi kecenderungan peningkatan persentase sedimen yang lolos. Ini berarti terjadi penurunan efisiensi pengendapan. Hal tersebut disebabkan luas penampang aliran di antara sekat makin sempit sehingga terjadi turbulensi. Turbulensi ini disebabkan adanya gesekan antara air dengan permukaan dinding sekat.

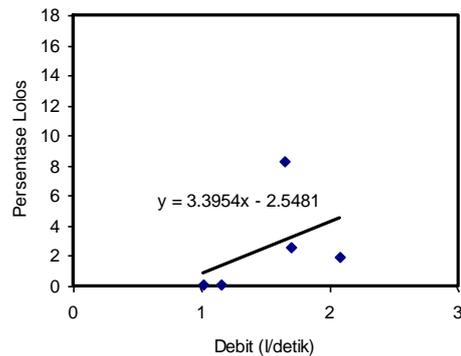


Gambar 4. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 5 Sekat Melintang

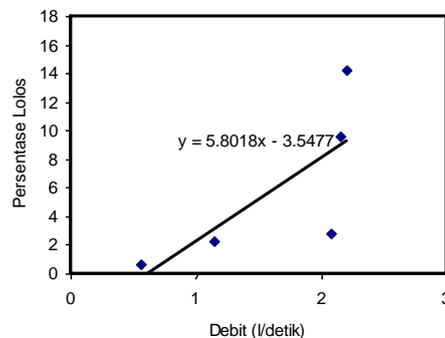


Gambar 5. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 7 Sekat Melintang

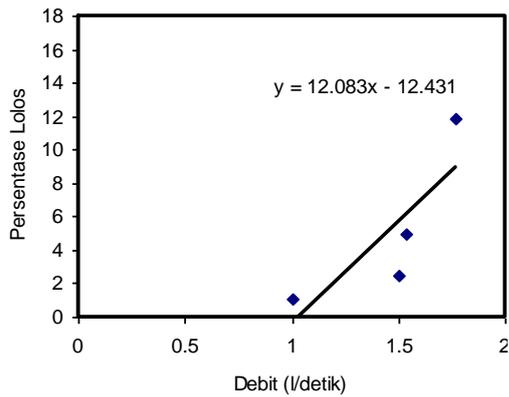
Pada batas tertentu (turbulensi yang kuat) menyebabkan partikel sedimen yang telah mengendap tersuspensi kembali. Semakin sempit jalur pengaliran kemungkinan terjadi turbulensi makin besar, sehingga efisiensi pengendapan makin rendah. Ini sesuai dengan yang disimpulkan Xiang Hua dan Yi (1991), bahwa efisiensi akan meningkat sampai batas kecepatan tertentu. Di atas kecepatan ini, efisiensi akan berkurang. Sehubungan dengan itu (Gambar 5) penambahan jumlah *baffle*/sekat (peningkatan *ratio* L:W) hingga 7 sekat dapat meningkatkan kecepatan pengendapan namun pada batas tersebut bisa menurunkan efisiensi disebabkan luas penampang aliran akan berkurang dengan penambahan sekat. Teori ini sesuai dengan yang disimpulkan Pedahzur (1991) dan Lloyd (2001).



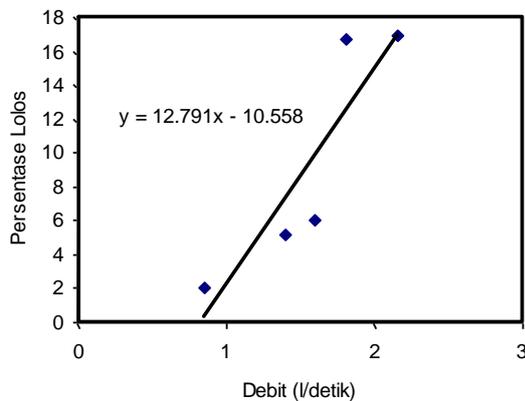
Gambar 6. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen tanpa Sekat Memanjang



Gambar 7. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 1 Sekat Memanjang



Gambar 8. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 2 Sekat Memanjang



Gambar 9. Hubungan antara Debit Aliran dengan Persentase Lolos Sedimen dengan 3 Sekat Memanjang

Sekat Memanjang

Percobaan dilakukan dengan sekat memanjang melalui empat konfigurasi (model), masing-masing dengan tanpa 1, 2, dan 3 sekat yang dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 9. Debit aliran berkisar antara 0,5 liter/detik sampai 2 liter/detik. Pada percobaan ini terlihat bahwa secara umum (dengan atau tanpa sekat) persentase sedimen yang lolos meningkat, sejalan dengan penambahan debit.

Namun konfigurasi dengan memakai *baffle*/sekat memanjang baik 1, 2, 3 sekat (Gambar 7, 8 dan 9), memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan persentase sedimen yang lolos dibanding tanpa sekat. Peningkatan

persentase lolos tersebut sejalan dengan bertambahnya jumlah *baffle*/sekat. Gejala tersebut menandakan bahwa keberadaan *baffle*/sekat yang memanjang akan menyebabkan terjadi turbulensi yang lebih besar, sehingga partikel yang mulai mengendap tersuspensi kembali dan terbawa ke hilir. Semakin banyak jumlah *baffle*/sekat akan semakin besar pula turbulensi yang terjadi, sehingga efisiensi pengendapan semakin kecil yang diperlihatkan dengan semakin besarnya persentase lolos endapan.

KESIMPULAN

Dari uraian sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin besar debit aliran akan semakin besar pula persentase lolos sedimen, yang berarti kecepatan pengendapan menurun.
2. *Baffle*/sekat berpengaruh terhadap persentase lolos sedimen, kecepatan dan efisiensi pengendapan.
3. Makin besar jumlah *baffle*/sekat (perbandingan *ratio* L:W makin besar), pada batas tertentu, cenderung menghasilkan persentase sedimen lolos makin kecil yang menandakan kecepatan dan efisiensi meningkat. Namun jika jumlah *baffle*/sekat ditambahkan lagi, sampai pada batas kecepatan pengendapan tertentu justru dapat menurunkan efisiensi pengendapan.
4. Konfigurasi dengan 5 *baffle*/sekat yang tersusun melintang untuk pengendapan partikel tersuspensi adalah kondisi optimum, untuk memperoleh kecepatan dan efisiensi pengendapan terbaik.
5. Penggunaan *baffle*/sekat memanjang ternyata tidak efektif untuk disain bangunan penangkap sedimen. Karena keberadaan

baffle/sekat yang dipasang memanjang akan meningkatkan persentase lolos sedimen atau dengan kata lain kecepatan dan efisiensi sedimen menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1986. *Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi-Bagian Penunjang untuk Standar Perencanaan Irigasi*. cetakan I. Bandung: C.V. Galang Persana.
- Graf, H. W.. 1971. *Hydraulics of Sedimen Transport*. USA: McGraw-Hill.
- Herdianto, R.. 2002. *The Design of Geometry to Improve Algal Removal of Waste Stabilisation Pond*, Master Thesis, in publication. Flinders University, Adelaide, Australia.
- Kim, Y. and Kim, W. J.. 2000. "Roles of Water Hyacinth and their Roots for Reducing Algal Concentration in the Effluent from Waste Stabilization Ponds", *Water Research*, vol. 34, no.13, pp. 3285-3294.
- Krishnamoorthi, K.P., Abdulappa, M.K., Sarkar, R., and Siddiqi, R.H.. 1975. "Productivity of Sewage Fertilized Fish Pond", *Water Research*, vol. 9, pp. 269-274.
- Kuiper, E.. 1989. *Water Resources Developmen*. London: Butterworth.
- Lloyd, B.J., Vorkas, C.A., and Guganesharajah, R.K.. 2002. *Reducing Hydraulic Short-Circuiting in Maturation Ponds to Maximize Pathogen removals Using Channel and Wind Breaks*. in *IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilisation Ponds*, Auckland, New Zealand, April.
- Mangelson, K. A., and Watters, G. Z. 1972 "Treatment Efficiency of Waste Stabilisation Ponds", *Journal of Sanitary Engineering Division*, April, pp. 407-424.
- Muttamara, S. and Puetpaiboon, U.. 1997. "Roles of Baffles in Waste Stabilisation Ponds", *Water Science & Technology*, vol. 35, no.8, pp.275-284.
- Pearson, H.W.. 1996. "Expanding the Horizons of Pond Technology and application in an Environmentally Conscious World", *Water Science & Technology*, vol. 33, no.7, pp.1-9.
- Pedahzur, R., Naser, A.M., Dor, I., Fattal, B., and Shuval, H.I.. 1993. "The Effect of Baffle Installation on the Performance of a Single-Cell Stabilization Pond", *Water Science & Technology*, vol. 27, no.7-8, pp.45-52
- Polprasert, C., and Bhattarai, K.K.. 1985. "Dispersion Model for Waste Stabilisation Ponds", *Journal of the Environmental Engineering Division*, ASCE, vol. 111, pp. 45-59.
- Puslitbang Pengairan. 1986. *Konstruksi Cara-cara Untuk Mengurangi Angkutan Sedimen yang Akan Masuk ke Intake Saluran Pengairan*, cetakan ke 11. Departemen Pekerjaan Umum.

