

## SIMULASI NUMERIS TIGA DIMENSI KANTONG LUMPUR BENDUNG SAPON

Dwi Anung Nindito<sup>1)</sup>, Istiarto<sup>2)</sup>, Bambang Agus Kironoto<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Fakultas Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya

Jalan Yos Sudarso Palangka Raya, Kalimantan Tengah

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik,  
Universitas Gadjah Mada. Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

### ABSTRACT

*The success factor of a settling basin planning is the trap efficiency. In reality, it is difficult to create a detailed physical model of the sedimentation process. In a more detailed way, sedimentation process phenomena can be formulized by using mathematical equation, for this matter numerical simulation is selected to observe the settling basin performance.*

*A three-dimensional numerical model from SSIIMWin 1.1 is used to carry out this settling basin simulation of the Sapon weir planning. The trap efficiency of the sedimentation process is observed in two different situations: at the time when the settling basin is empty and when it is full. During the empty situation, the velocity and the initial trap efficiency process is measured. When the settling basin is full, inspection is performed to check whether the sedimentation trap process remains effective.*

*The trap efficiency depends on the characteristics of the inflowing sediment (fall velocity of the particle) and the water flow characteristic in the settling basin (flow velocity). Flow velocity simulation is demonstrated using a three-dimensional velocity vectors. Velocity distribution simulation indicates that the value of the horizontal flow velocity component from the upstream to the downstream (augmentation of  $x/b$  value) is decreased. The minimum horizontal flow velocity occurs in locations close to the bottom of the bed channel and increasing towards  $z/h$  to the surface water. Approaching the wall, the horizontal flow velocity is decreasing and reaches its maximum at  $y/B=0.5$ . The flow vertical velocity component indicates that approaching the bed channel, the vertical velocity is increasing. The lateral flow velocity component indicates a velocity increase at the horizontal expansion. A three-dimensional vortex occurs on the inlet of the settling basin, due to the vertical expansion. The vortex does not exist in the middle location of the settling basin. Another vortex occurs at the bottom of the channel approaching the downstream of the settling basin. The profile of sediment concentration distribution indicates an increase from the water surface to the bottom (bed channel). The sediment concentration is decreased in quantity to the downstream of the channel. The ratio of the incoming sediment that is deposited (trapped) and inflow the sediment mass entering a settling basin is 69,85 % for the upper 0.06 mm diameter particles. Volume changes of the pond, due to the deposit sediment volume, have lead to a decline in the trap efficiency process. When the volume of the sediments reaches a percentage of 71,84 % of the total pond volume, the settling basin is considered ineffective in performing sedimentation trap process.*

**KEYWORDS:** *three-dimensional numerical simulation, trap efficiency, settling basin*

### PENDAHULUAN

Salah satu bagian penting pada perencanaan pembangunan Bendung Sapon yang terletak di Desa Sapon, Kecamatan Lendah, Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta adalah pembangunan kantong lumpur.

Keberhasilan sebuah perencanaan kantong lumpur terletak pada efisiensi pengendapan sedimen selain efisiensi pembilasan. Studi tentang perencanaan dimensi sebuah kantong lumpur sering dilakukan melalui pemodelan fisik. Namun pada kenyataannya, sangat sulit untuk memodelkan kasus pergerakan sedimen pada

sebuah model fisik. Simulasi numeris dapat menjadi alternatif yang cukup tepat untuk mengkaji kinerja kantong lumpur.

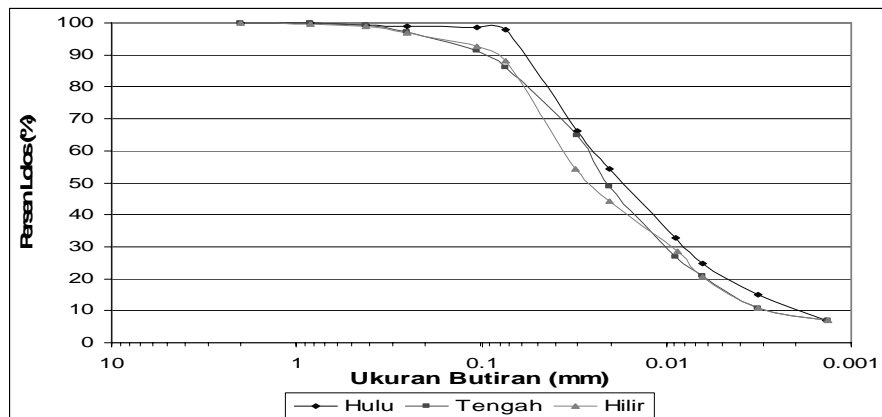
Dalam naskah ini dipaparkan simulasi numerik tiga dimensi kantong lumpur Bendung Sapon yang dilakukan dengan bantuan model numeris SSIIMWin 1.1. Model Numerik ini dipilih karena memiliki kelebihan dibanding program *Computational Fluid Dinamik* lainnya, yaitu pada kemampuannya untuk memodelkan transpor sedimen dengan dasar yang bergerak dalam geometri yang kompleks dalam tiga dimensi.

TINJAUAN PUSTAKA

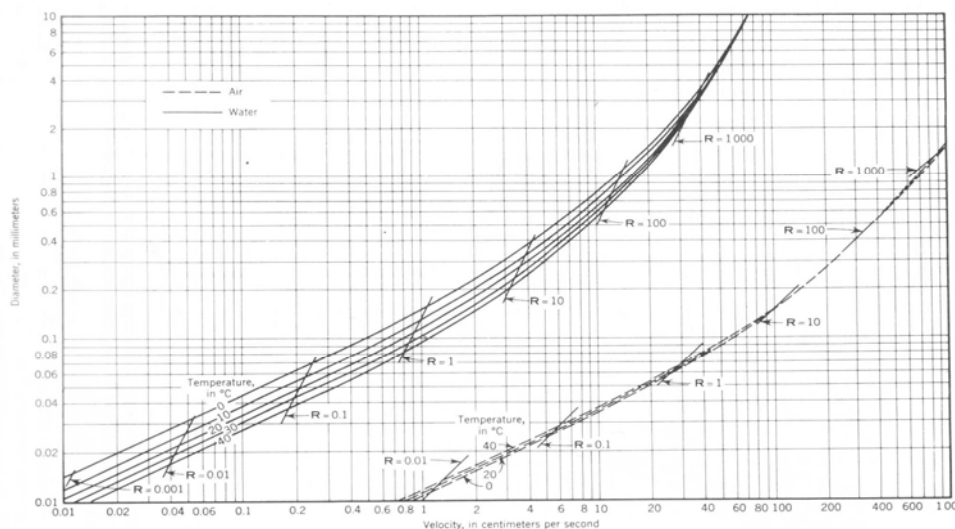
Simulasi adalah suatu teknik yang digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap akibat atau konsekuensi dari pengambilan keputusan tanpa implementasi pada sistem yang ditinjau (Habr dan Veprek, 1973 dalam Jayadi 2002).

Kustinah (2004), memperoleh data tentang karakteristik gradasi butiran sedimen pada bagian hulu, tengah dan hilir kantong lumpur Bendung Gerak Serayu Kabupaten Banyumas. (Gambar 1).

Kecepatan jatuh butiran sedimen (Gambar 2) didasarkan pada ukuran diameter butiran bentuk bola pada suhu tertentu untuk air diam dapat diperoleh dari Rouse (dalam Vanoni 1977).



Gambar 1. Gradasi butiran kantong lumpur Bendung Gerak Serayu.



Gambar 2. Hubungan kecepatan jatuh dengan diameter bola ( $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ ).

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi, volume bahan layang yang harus diendapkan diandaikan 0,5 ‰ (permil) dari volume air yang mengalir melalui kantong. Dianjurkan bahwa sebagian besar (60-70%) dari pasir halus terendapkan yang terdiri dari partikel-partikel dengan diameter di atas 0,06-0,07 mm. Kecepatan aliran tidak boleh kurang dari 0,3 m/s, guna mencegah tumbuhnya vegetasi. Untuk tujuan perencanaan, jarak waktu pembilasan kantong lumpur biasanya diambil satu atau dua minggu.

SSIIM adalah program yang dibuat untuk digunakan di bidang Teknik Sungai, Lingkungan, Hidraulika dan Sedimen (Olsen, 2005). Penyelesaian numerisnya didasarkan pada penyelesaian aliran 3D dengan metode volume hingga (*Finite Volume Method*, FVM).

## LANDASAN TEORI

Efisiensi pengendapan adalah perbandingan antara sedimen yang mengendap (*trap*) dengan sedimen yang masuk pada sebuah tampungan (Verstraeten dan Jean Poesen, 2000) :

$$TE = \frac{S_{inflow} - S_{outflow}}{S_{inflow}} = \frac{S_{settled}}{S_{inflow}} \quad (1)$$

dimana :

$S_{inflow}$  = massa sedimen yang masuk ke dalam tampungan (= sedimen yang terbawa aliran) ;

$S_{outflow}$  = massa sedimen yang meninggalkan tampungan bersama dengan aliran air;

$S_{settled}$  = massa sedimen yang terendap di tampungan.

Persamaan dasar aliran *fluida non-kompresibel* adalah persamaan berikut :

1. Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \text{ dan} \quad (2)$$

2. Persamaan momentum arah  $x, y, z$  :

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u}{\partial x} + \frac{\partial u_i v}{\partial y} + \frac{\partial u_i w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} +$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial z} + g_i \quad (3)$$

dengan  $i, j = x, y, z$ . Suku  $\tau_{ij}$  ( $i, j = x, y, z$ ) adalah tegangan geser arah  $j$  yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu  $i$ .

Diskritisasi persamaan Navier-Stokes untuk aliran *non-kompresible* dan kekentalan konstan (Olsen, 2000) :

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ - \left( P + \frac{2}{3} k \right) \delta_{ij} + v_T \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (4)$$

Suku pertama adalah *transient term*, suku kedua dan kelima konveksi dan difusi, suku ketiga tekanan, suku keempat tenaga kinetik dan suku keenam tegangan akibat fluktuasi kecepatan.

Persamaan konveksi-difusi untuk aliran permanen (*steady*) adalah :

$$U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_T \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

dimana :

$w$  : kecepatan endapan partikel sedimen;

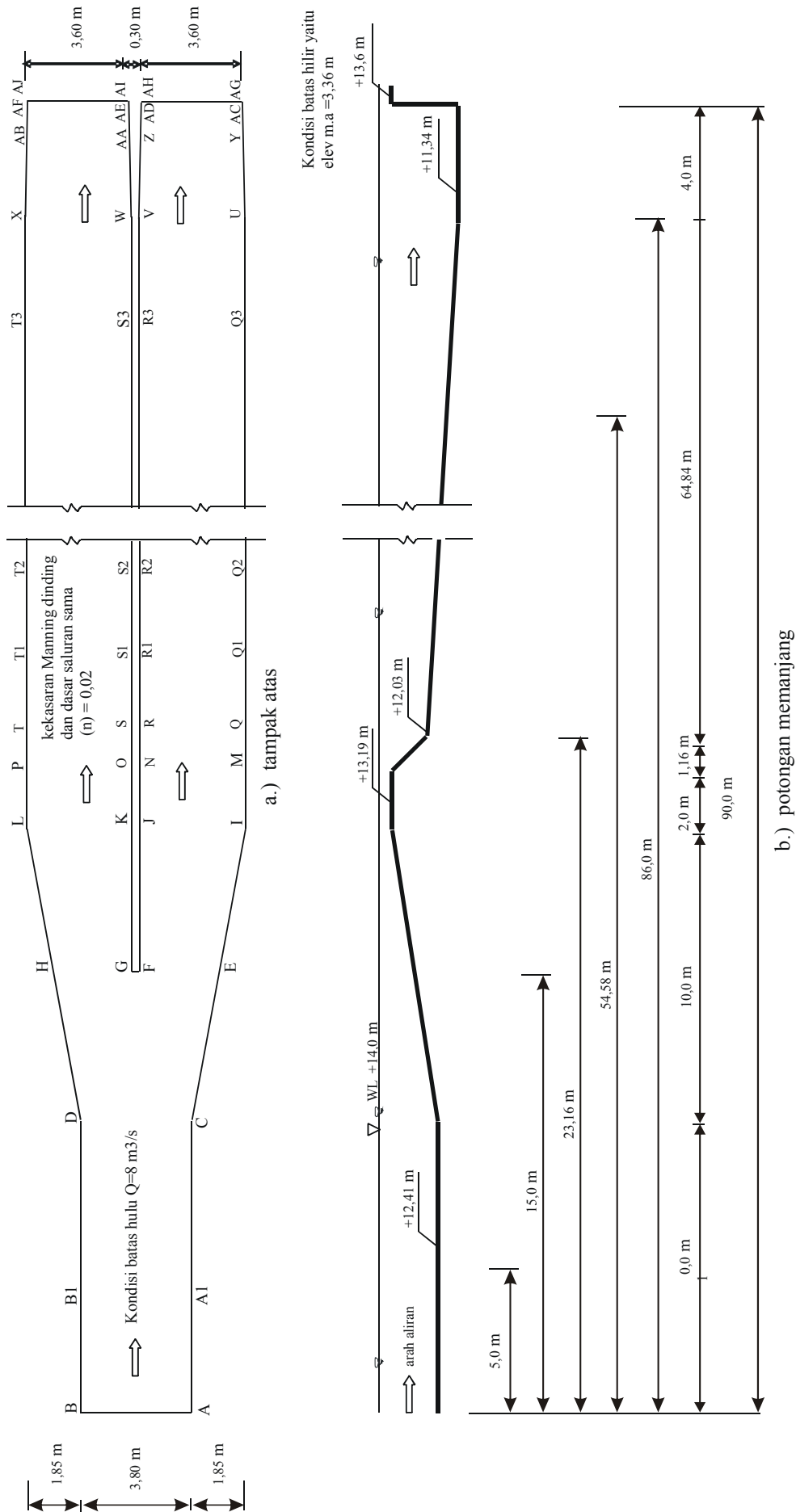
$\Gamma_T$  : koefisien difusi;

$\Gamma_T$  : koefisien difusi yang diambil dari k-ε

$$\text{model : } \Gamma_T = \frac{v_T}{Sc}$$

## METODOLOGI PENELITIAN

Simulasi numeris dilakukan dalam ruang 3 dimensi menggunakan model numeris, *Simulation of Sediment Movements In Water Intakes With Multiblock Option*, Versi 1.1 untuk *Windows* (SSIIM Win 1.1) pada kasus perencanaan kantong lumpur Bendung Sapon (Gambar 3). Data sekunder diperoleh dari data perencanaan Bendung Sapon. Unjuk kerja kantong lumpur Bendung Sapon dibahas dengan mengacu pada Standar Perencanaan Irigasi Dinas Pekerjaan Umum. Proses kalibrasi dilakukan melalui uji sensitivitas grid. Simulasi dilakukan dengan memvariasi *time step* ( $\Delta t$ ), fraksi sedimen, diameter (m), kecepatan



Gambar 3. Dimensi saluran kantong lumpur bendung Sapon

jatuh (m/s) dan *inflow* sedimen (kg/s). Untuk mendekati keadaan sebenarnya di lapangan, gradasi butiran yang dipakai adalah gradasi butiran kantong lumpur Bendung Gerak Serayu Kabupaten Banyumas (Gambar 1). Parameter yang diukur meliputi parameter kontrol proses sedimentasi dan efisiensi pengendapan. Prosedur *running* dilakukan melalui empat tahap, yaitu pembuatan grid sekaligus uji sensitivitas grid, menghitung aliran air 3D, menghitung aliran sedimen dan mengolah hasil untuk mendapatkan besarnya efisiensi pengendapan.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penamaan *running* didasarkan pada perbedaan parameter yang digunakan (Tabel 1).

Variasi besarnya *inflow* sedimen dinotasikan dengan huruf S dan angka yang ditunjukkan pada kode kedua menunjukkan urutan variasi *inflow* sedimen. Variasi *time step* ( $\Delta t$ ) dinotasikan dengan huruf T dan angka yang ditunjukkan pada kode keempat menunjukkan urutan *time step* ( $\Delta t$ ) *running* sedimen. Variasi banyaknya iterasi dinotasikan dengan huruf I dan angka yang

ditunjukkan pada kode keenam menunjukkan urutan banyaknya perulangan hitungan untuk prosedur perhitungan yang sama tiap *time step*.

Karena kantong lumpur Bendung Sapon belum selesai dibangun (masih dalam perencanaan dan pembangunan), terdapat kesulitan mencari kesesuaian parameter model yang dibuat dengan prototipenya, sehingga uji sensitivitas model menjadi perlu untuk dilakukan sebagai pendekatan sekaligus pengganti proses kalibrasi model. Uji sensitivitas grid dilakukan untuk berbagai ukuran dan bentuk grid. Pemilihan ukuran grid dilakukan berdasarkan tujuan keakuratan perhitungan berdasarkan fenomena aliran, konvergensi hitungan yang cepat dan waktu komputasi yang singkat. Ketiga kriteria ini mendasari prinsip sensitivitas grid sebagai indikator kedekatan hasil perhitungan dengan prototipe. Tabel 2 memberikan penjelasan tentang hasil uji sensitivitas grid dan efek yang terjadi pada hasil *running water flow*. Waktu komputasi yang singkat diperoleh sejalan dengan konvergensi yang cepat. Berdasarkan hasil uji sensitivitas grid, grid yang dipakai terdiri dari 108 grid sel pada arah longitudinal dan 25 grid sel pada arah transversal dan 10 grid pada arah vertikal.

Tabel 1. Berbagai parameter utama berdasarkan variasi *running*

No.	Kode <i>Running</i>	Q aliran (m <sup>3</sup> /dt)	Crata <i>inflow</i> (gr/lt)	<i>Inflow</i> sedimen (kg/dt)	<i>Time step</i> $\Delta t$ (dt)	Jumlah iterasi	Lama waktu proses pengendapan (hari)
1	S1T2I1	8	0.2	1.6	3600	1173	48.875
2	S2T2I2	8	0.3	2.4	3600	724	30.167
3	S3T2I3	8	0.4	3.2	3600	523	21.792
4	S4T2I4	8	0.5	4	3600	409	17.042
5	S5T2I5	8	0.6	4.8	3600	336	14.000
6	S6T2I6	8	0.7	5.6	3600	285	11.875
7	S7T2I7	8	0.8	6.4	3600	247	10.292
8	S8T2I8	8	0.9	7.2	3600	219	9.125
9	S9T2I9	8	1	8	3600	196	8.167
10	S10T2I10	8	1.1	8.8	3600	177	7.375
11	S11T2I11	8	1.2	9.6	3600	162	6.75
12	S12T1I12	8	1.3	10.4	2700	32	1
13	S12T2I13	8	1.3	10.4	3600	24	1
14	S12T2I14	8	1.3	10.4	3600	48	2
15	S12T2I15	8	1.3	10.4	3600	72	3
16	S12T2I16	8	1.3	10.4	3600	96	4
17	S12T2I17	8	1.3	10.4	3600	120	5
18	S12T2I18	8	1.3	10.4	3600	144	6
19	S12T2I19	8	1.3	10.4	3600	149	6.208
20	S12T2I20	8	1.3	10.4	3600	168	7
21	S12T2I21	8	1.3	10.4	3600	192	8

No.	Kode <i>Running</i>	Q aliran (m <sup>3</sup> /dt)	Crata <i>inflow</i> (gr/lit)	<i>Inflow</i> sedimen (kg/dt)	<i>Time step</i> Δt (dt)	Jumlah iterasi	Lama waktu proses pengendapan (hari)
22	S12T3I22	8	1.3	10.4	7200	12	1
23	S13T2I23	8	1.4	11.2	3600	138	5.75
24	S14T2I24	8	1.5	12	3600	129	5.375
25	S15T2I25	8	1.6	12.8	3600	120	5
26	S16T2I26	8	1.7	13.6	3600	113	4.708
27	S17T2I27	8	1.8	14.4	3600	107	4.458
28	S18T2I28	8	1.9	15.2	3600	101	4.208
29	S19T2I29	8	2	16	3600	96	4.000
30	S20T2I30	8	2.1	16.8	3600	91	3.792
31	S21T2I31	8	2.2	17.6	3600	87	3.625
32	S22T2I32	8	2.3	18.4	3600	83	3.458
33	S23T2I33	8	2.4	19.2	3600	79	3.292
34	S24T2I34	8	2.5	20	3600	76	3.167
35	S12T2I13G0,5	8	1.3	10.4	3600	24	1
36	S12T2I13G0,5i	8	1.3	10.4	3600	24	1
37	S12T2I13G0,5j	8	1.3	10.4	3600	24	1
38	S12T2I13G0,5k	8	1.3	10.4	3600	24	1
39	S12T2I13G2	8	1.3	10.4	3600	24	1
40	S12T2I13G2i	8	1.3	10.4	3600	24	1
41	S12T2I13G2j	8	1.3	10.4	3600	24	1
42	S12T2I13G2k	8	1.3	10.4	3600	24	1
43	S12T2I13V0,7	8	1.3	10.4	3600	24	1
44	S12T2I13V0,8	8	1.3	10.4	3600	24	1
45	S12T2I13V0,9	8	1.3	10.4	3600	24	1
46	S12T2I13V1,1	8	1.3	10.4	3600	24	1
47	S12T2I13V1,2	8	1.3	10.4	3600	24	1
48	S12T2I13V1,3	8	1.3	10.4	3600	24	1

Keterangan : Q = debit aliran;  $\bar{C}$  *inflow* = konsentrasi *inflow* rata-rataampang; *Inflow* sedimen = terdistribusi vertikal secara *uniform*; *Time step* = langkah perhitungan.

Tabel 2. Hasil uji sensitivitas grid

No.	Jenis uji sensitivitas grid	Hasil yang baik	Akibat
1.	Perpotongan garis grid	Grid dibuat setegaklurus mungkin. Dihindari membuat perpotongan dengan sudut yang kurang dari 45 <sup>0</sup> .	Berpengaruh terhadap konvergensi
2.	Jenis pembangkit grid	<i>Transfinite</i>	<i>Mesh</i> lebih halus
3.	Arah garis grid	Mengikuti aliran sejajar dengan vektor kecepatan	Mengurangi penyebaran yang salah
4.	Rasio distorsi grid	Tidak terlalu besar	Berpengaruh terhadap konvergensi
5.	Ukuran sel grid terhadap sel sekitarnya	Perbedaan tidak terlalu besar	Vektor kecepatan jadi logis

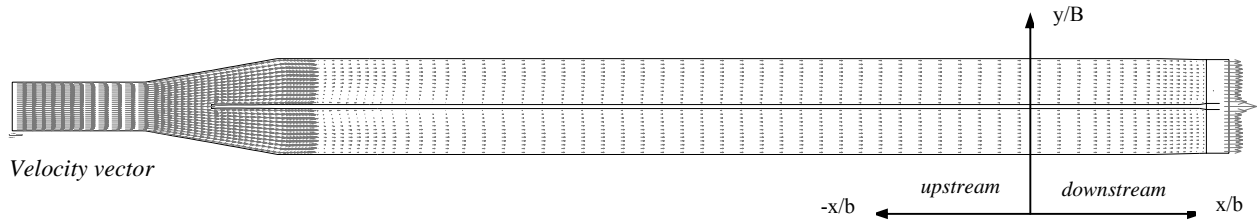
Kompleksnya pemasalahan yang berkaitan dengan kecepatan jatuh partikel menyebabkan diambil suatu pendekatan bahwa kecepatan jatuh butiran didasarkan pada sebuah penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dengan asumsi un-

tuk air diam dan nilainya didasarkan pada ukuran diameter butiran bentuk bola pada suhu tertentu (Rouse 1937), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengoperasian kantong lumpur yang terkait dengan efisiensi pengendapan dicek untuk dua keadaan yang berbeda yaitu untuk kondisi kantong lumpur kosong dan penuh. Untuk kondisi kantong lumpur kosong, dilakukan pengecekan terhadap *magnitude* kecepatan. Hasil simulasi aliran ditampilkan melalui vektor kecepatan. Pola aliran yang terjadi digambarkan oleh vektor kecepatan (Gambar 4 dan Gambar 5). Komponen horisontal kecepatan aliran dari hulu ke hilir (bertambahnya nilai  $x/b$ ) nilainya semakin mengecil. Kecepatan aliran horisontal minimum terjadi di dekat dasar saluran dan bertambah besar terhadap  $z/h$  menuju ke permukaan. Semakin mendekati dinding batas, kecepatan aliran horisontal semakin kecil dan

maksimum di  $y/B=0,5$ . Komponen vertikal kecepatan aliran menunjukkan bahwa semakin mendekati dasar saluran, kecepatan arah vertikalnya semakin besar. Profil muka air di sepanjang saluran kantong lumpur yang dimodelkan berdasarkan kedalaman aliran disajikan pada Gambar 6. Distribusi kecepatan rata-rata tampang di seluruh *cross-section* sepanjang  $x/b$  disajikan pada Gambar 7.

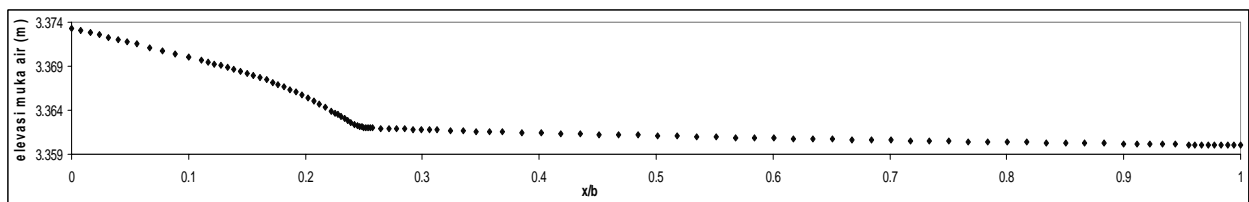
Di awal kantong lumpur, timbul pusaran tiga dimensi akibat penurunan elevasi dasar. Pusaran tidak tampak di tengah kantong lumpur. Pusaran kembali muncul di dasar saluran saat mendekati ujung hilir kantong lumpur. Penjelasan hal ini ditunjukkan pada Gambar 8.



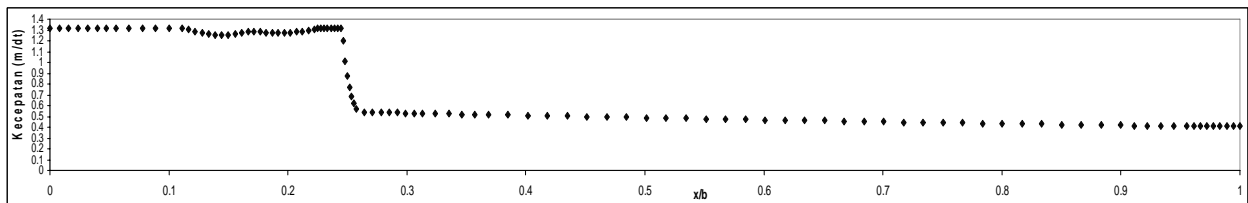
Gambar 4. Tampak atas saluran di  $\frac{z}{h}=0,4$



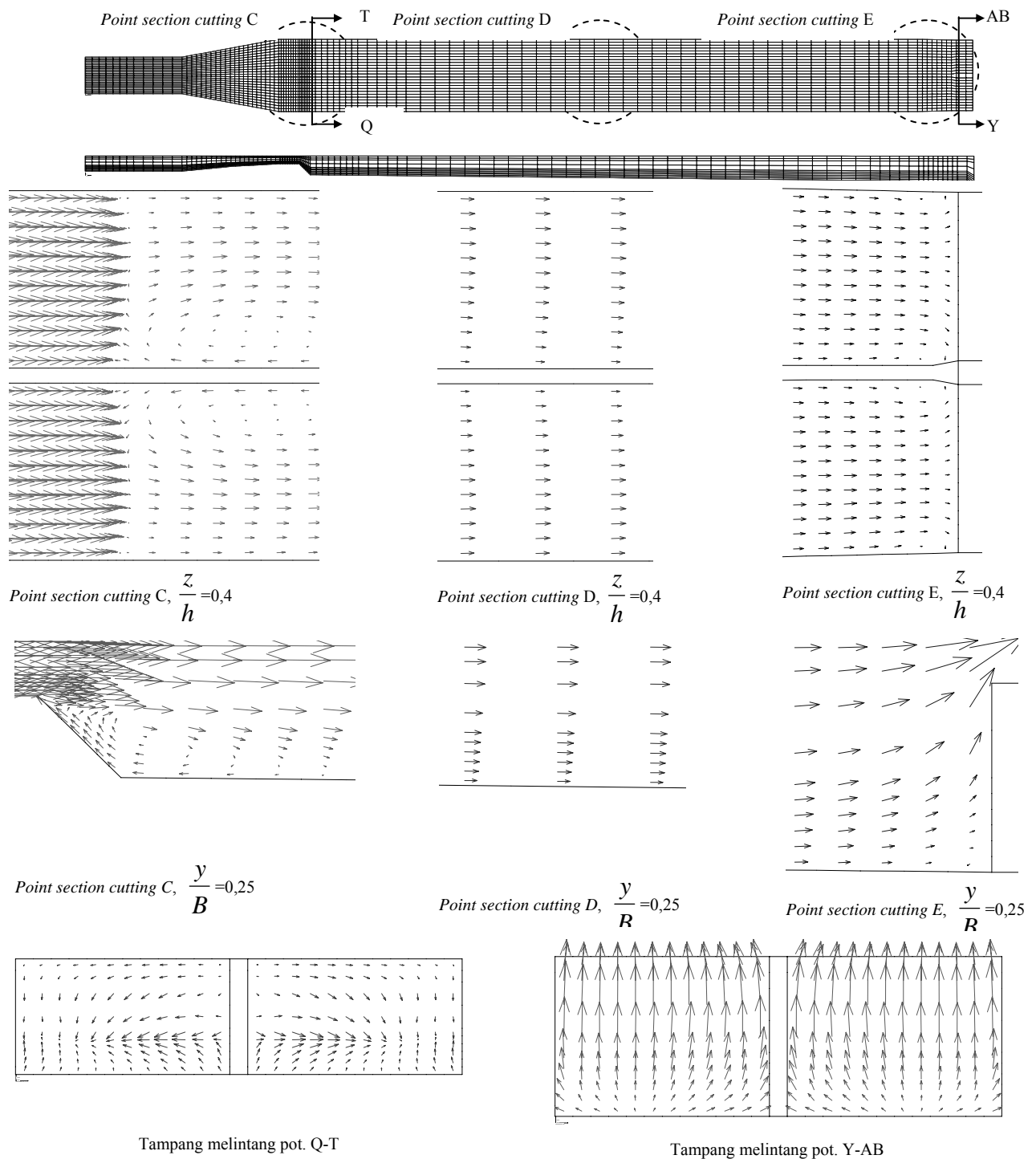
Gambar 5. Tampang memanjang saluran di  $\frac{y}{B}=0,25$ .



Gambar 6. Grafik profil muka air.



Gambar 7. Fluktuasi kecepatan rata-rata tampang di seluruh *cross-section*.



Gambar 8. Vektor kecepatan dalam ruang 3 dimensi (tampak atas, tampak memanjang dan tampak melintang) saluran kantong lumpur.

Perubahan profil distribusi konsentrasi di awal masuk kantong lumpur hingga ujung hilir kantong lumpur pada lokasi  $1/2B$  ditunjukkan pada Gambar 9. Secara umum, profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi membesar ke arah dasar saluran dan semakin mengecil ke arah

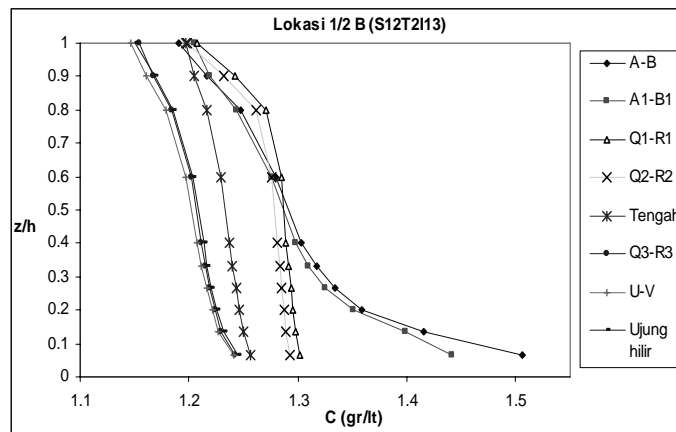
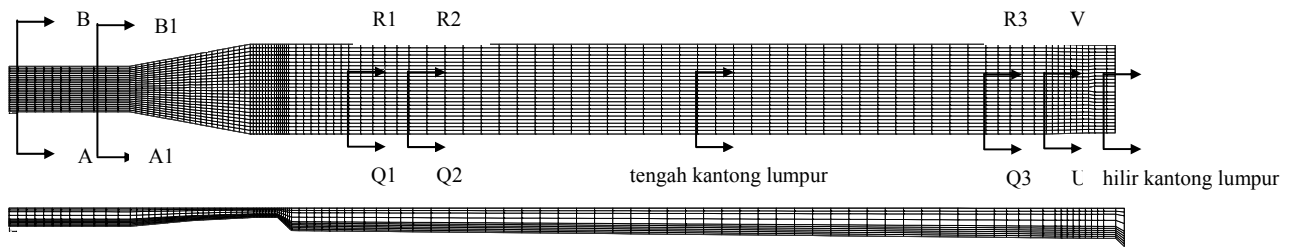
permukaan. Hal ini dianggap cukup logis karena pada wilayah dasar saluran, nilai komponen kecepatan vertikal adalah besar sehingga pada wilayah ini konsentrasi sedimen suspensi akan semakin besar pula. Pada bagian permukaan, distribusi kecepatan mendekati maksimum dan



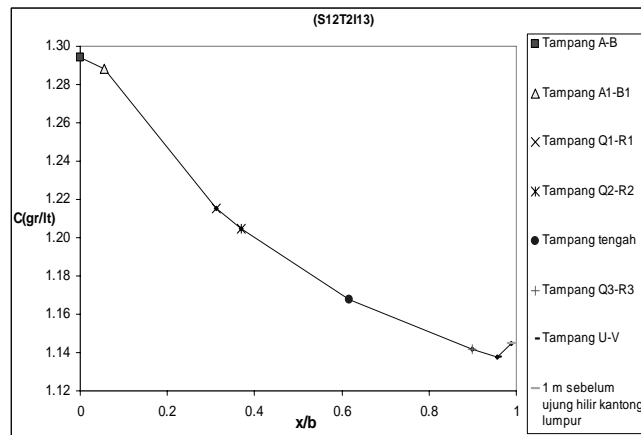
partikel-partikel yang berada di zona ini cenderung berukuran lebih kecil dibandingkan daerah dasar sehingga kecepatan endap partikel menjadi kecil dan gaya untuk menggerakkan atau mengangkat partikel lebih besar, akibatnya daerah ini akan senantiasa tersuspensi sepanjang aliran dan kuantitas sedimen suspensi relatif kecil. Secara kuantitatif, perubahan konsentrasi sedimen suspensi rata-rata tampang saluran diperoleh dari :

$$\bar{C} = \left( \frac{1}{\frac{y_2 - y_1}{B} - \frac{y_1}{B}} \right) \int_{\frac{y_1}{B}}^{\frac{y_2}{B}} C_z dy, \text{ sedangkan } \bar{C}_z = \frac{1}{h-a} \int_a^h C dz$$

dimana  $B$  = lebar saluran (m);  $y_1=0$  (posisi pengukuran di paling tepi saluran) [-];  $y_2=B$ ,  $h$ =kedalaman aliran (m);  $a$  = posisi titik pengukuran dari dasar (m) dan  $C$ = konsentrasi titik (g/l). Hasil perhitungan  $\bar{C}$  ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Perubahan profil distribusi konsentrasi.



Gambar 10. Perubahan  $\bar{C}$  rata tampang.

Semakin ke hilir saluran, konsentrasinya semakin mengecil, maka dapat dikatakan bahwa proses pengendapan sedimen telah terjadi di kantong lumpur. Hal ini dapat dipahami mengingat semakin ke hilir saluran kantong lumpur, kecepatan gesek dan kecepatan rata-ratanya semakin kecil, sehingga jumlah rata-rata angkutan sedimen suspensi yang terangkut juga semakin kecil dan sebagian besar mengendap di dasar saluran.

Efisiensi pengendapan yang terjadi untuk tiap-tiap diameter butiran ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 11.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa butiran partikel dengan diameter 0,06 mm memiliki efisiensi pengendapan sebesar 27,785 % sedangkan butiran partikel dengan diameter 0,07 mm memiliki efisiensi pengendapan sebesar 35,0 %. Sedangkan efisiensi pengendapan total adalah sebesar 15,188 %. Sebesar 69,85 % dari sedimen yang terendapkan yang terdiri dari partikel-partikel dengan diameter di atas 0,06 mm.

Untuk kecepatan jatuh butiran yang bernilai sama berdasarkan diameter butiran tertentu, namun dengan besar *inflow* sedimen yang berbeda, akan memberikan efisiensi pengendapan yang sama.

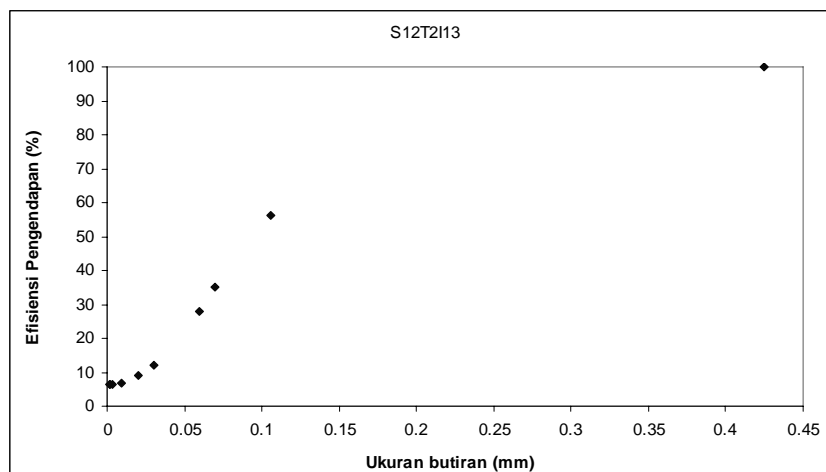
Perubahan kontur elevasi dasar yang dihitung tiap waktu tertentu diperlihatkan oleh Gambar 12. Pada daerah sepanjang kantong lumpur, terbentuk kontur endapan sedimen seperti sebuah pancaran mengikuti dasar saluran yang semakin lama bentuknya semakin panjang mendekati ujung. Pada daerah ini terjadi pergerakan deposit sedimen mengikuti arah aliran dan terlihat adanya penambahan/penumpukan secara vertikal dari penam-

bahan/deposit tersebut. Semakin mendekati hilir, penumpukan sedimen semakin besar.

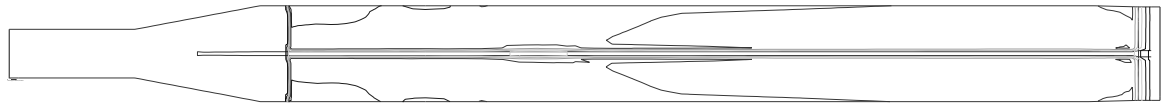
Untuk kantong lumpur penuh, dilakukan pengecekan apakah pengendapan masih efektif. Indikator keefektifitasannya adalah perubahan volume tampungan yang terjadi selama beroperasi berdasarkan ketepatan lokasi distribusi pengendapan sedimen. Setelah waktu (t), volume tumpukan endapan sedimennya di kantong lumpur akan konstan sebesar 241,3 m<sup>3</sup>. Sehingga pada kondisi ini kantong lumpur sudah tidak efektif lagi mengendapkan sedimen. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya perubahan besarnya penambahan / penumpukan secara vertikal dari deposit sedimen. Besarnya volume tampungan total kantong lumpur Bendung Sapon adalah sebesar 335,88 m<sup>3</sup>.

Sehingga dapat dikatakan bahwa kantong lumpur sudah tidak efektif mengendapkan sedimen pada saat volume endapan sedimennya sudah mencapai 71,84 % dari seluruh volume tampungan.

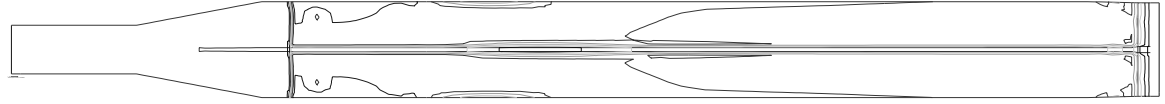
Perubahan volume tampungan seperti yang dijelaskan diatas terkait dengan besarnya perubahan efisiensi pengendapan. Semakin banyak volume sedimen yang mengendap, nilai efisiensi pengendapan semakin kecil. Besarnya penurunan efisiensi pengendapan total hingga kantong lumpur tidak efektif lagi mengendapkan sedimen ditunjukkan pada Gambar 13. Sedangkan penurunan efisiensi pengendapan tiap ukuran butiran yang disimulasikan ditunjukkan pada Gambar 14. Penurunan nilai efisiensi pengendapan yang terjadi ini disebabkan oleh perubahan faktor pengontrol proses efisiensi pengendapan, yaitu perubahan geometri saluran.



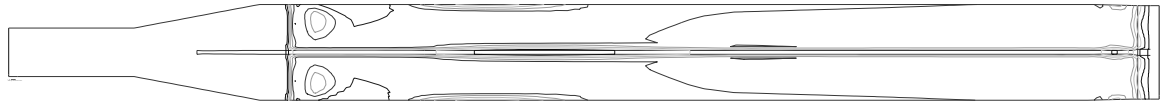
Gambar 11. Nilai efisiensi pengendapan untuk tiap-tiap diameter butiran.



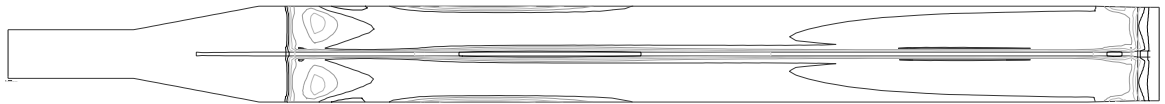
a.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 24 jam (1 hr)



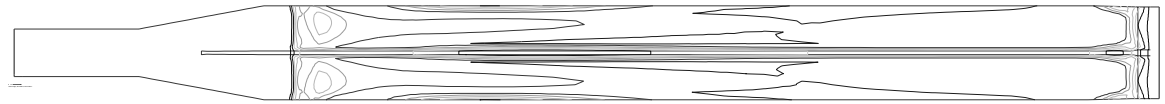
b.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 48 jam (2 hr)



c.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 72 jam (3 hr)



d.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 96 jam (4 hr)



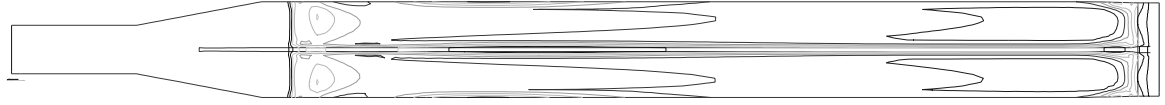
e.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 120 jam (5 hr)



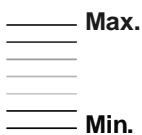
f.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 144 jam (6 hr)



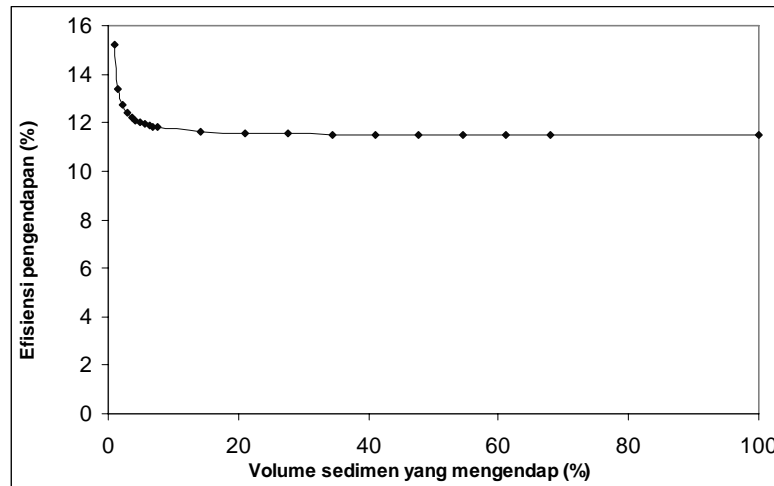
g.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 168 jam (7 hari)



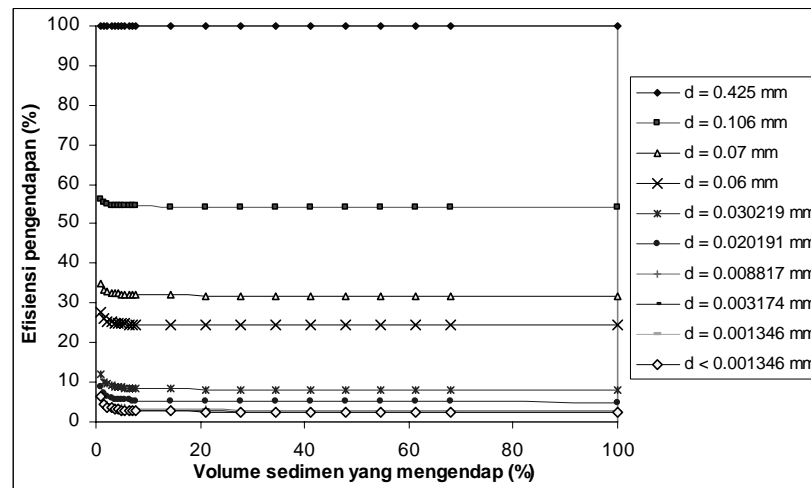
h.  $C=1,3$  g/l, *inflow* sedimen = 10,4 kg/s selama 192 jam (8 hari)



Gambar 12. Perubahan kontur elevasi dasar tiap waktu.



Gambar 13. Penurunan efisiensi pengendapan total setiap perubahan volume sedimen yang mengendap hingga kantong lumpur penuh.



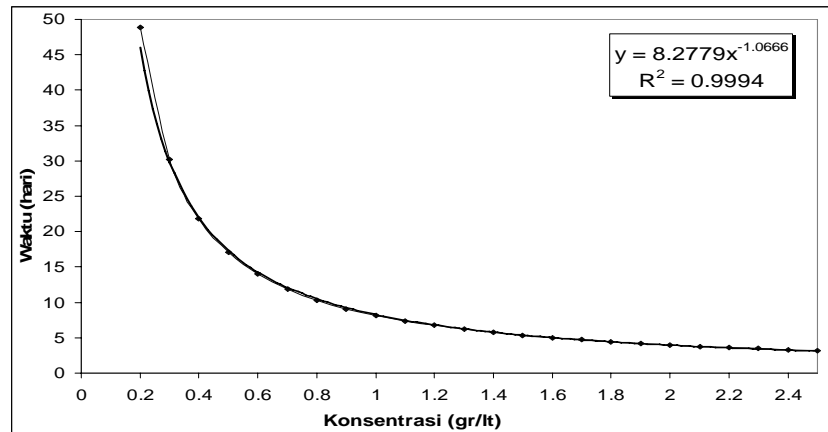
Gambar 14. Penurunan efisiensi pengendapan tiap ukuran butiran setiap perubahan volume sedimen yang mengendap hingga kantong lumpur penuh.

Sesuai dengan aplikasi dari hukum konservasi massa, debit  $Q$  berasal dari kecepatan  $U$  dan luas area aliran di *cross-section* ( $A$ ). Semakin kecil luas penampang saluran akibat proses deposit sedimen, kecepatan aliran semakin bertambah. Perubahan magnitude kecepatan arah horisontal yang tidak dibarengi dengan perubahan kecepatan arah vertikal ini mengakibatkan besarnya sedimen yang keluar kantong lumpur semakin besar, sebaliknya sedimen yang mengendap akan semakin kecil, sehingga efisiensi pengendapan juga semakin kecil.

Ketidakpastian besarnya konsentrasi sedimen yang masuk ke dalam aliran air yang melalui

kantong lumpur tiap waktu mengakibatkan sulitnya memprediksi kapan kantong lumpur penuh. Kriteria kondisi kantong lumpur penuh ini adalah kondisi awal dimana kantong lumpur tidak efektif lagi untuk mengendapkan sedimen. Lama waktu kantong lumpur menjadi penuh berdasarkan konsentrasi sedimen tertentu diperlihatkan oleh grafik seperti pada Gambar 15.

Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar konsentrasi sedimen yang masuk kantong lumpur, semakin singkat waktu yang dibutuhkan agar kantong lumpur menjadi penuh.



Gambar 15. Grafik hubungan antara konsentrasi sedimen yang masuk kantong lumpur dengan waktu penuh kantong lumpur.

## KESIMPULAN

Efisiensi pengendapan dari sebuah tampungan kantong lumpur tergantung dari beberapa parameter, antara lain jumlah deposit sedimen dan parameter kontrol proses sedimentasi. Jumlah deposit sedimen tergantung dari karakteristik *inflow* sedimen (kecepatan jatuh), sedangkan parameter kontrol proses sedimentasi terkait dengan karakteristik aliran air di kantong lumpur (kecepatan aliran). Kedua parameter ini terkontrol oleh geometri dan karakteristik tampungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1986, "Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02", Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonim, 2003, "Design Drawing", Sapon Irrigation Sub-Project, Yogyakarta.
- Jayadi, R., 2002, "Operasi Waduk", Diktat kuliah Jurusan Teknik Sipil S2 UGM, Yogyakarta.
- Kustinah, M.W., 2004, "Evaluasi Operasional Kantong Lumpur Bendung Gerak Serayu, Kabupaten Banyumas", Tugas Akhir S1 UGM, Yogyakarta.
- Olsen, N.R.B., 2000, "CFD Algorithms For Hydraulic Engineering", Department of Hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- Olsen, N.R.B., 2005, "A Three-Dimensional Numerical Model For Simulation Of Sediment Movement In Water Intakes With Multiblock Option, Version 1.1 and 2.0 for Windows", User's Manual, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- Vanoni, V.A., 1977, "Sedimen Engineering", the American Society of Civil Engineering, New York
- Verstraeten, G., and Poesen, J., 2000, "Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield", Fund for Scientific Research, Flanders Laboratory for Experimental Geomorphology, KU Leuven, Redingenstraat 16, B-3000 Leuven, Belgium.