

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Pengangkutan sedimen merupakan pengetahuan yang bertujuan untuk mengetahui suatu sungai dalam keadaan tertentu apakah akan terjadi penggerusan (*degradasi*), pengendapan (*aggradasi*), atau mengalami angkutan sedimen (*aquilibrium transport*) dan untuk memperkirakan kuantitas yang terangkut dalam proses tersebut. Keadaan-keadaan yang menentukan pengangkutan antara lain adalah :

- a. Sifat-sifat aliran air
- b. Sifat-sifat sedimen
- c. Pengaruh timbal-balik (*inter-action*)

Sedimen merupakan hasil akhir dari suatu proses erosi yang mengendap atau diam pada satu tempat sehingga menghasilkan suatu lapisan tanah tersendiri, berbagai macam sebab dan cara pengerosian tanah di hulu sungai dapat membawa sedimentasi, baik erosi akibat gerakan air, angin atau akibat gaya gravitasi bumi. Sedangkan erosi adalah pemindahan dan transportasi material permukaan bumi yang kebanyakan berupa tanah dan debris batuan (*regolith*), bahan-bahan yang tererosi secara alami (HR. Mulyanto). Proses dari erosi yaitu tanah dapat tererosi yakni terlepas dari lokasinya, oleh aksi angin, air, gaya gravitasi (tanah longsor), dan aktivitas manusia. Erosi oleh air dapat dianggap dimulai oleh pelepasan partikel-partikel tanah oleh hempasan percikan air hujan. Proses-proses percikan dan aliran permukaan itulah yang menyebabkan erosi lapisan (*sheet erosion*), yakni degradasi permukaan tanah yang relatif merata (Ray K. Linsley, JR 1982). Sedimen yang dibawa oleh aliran air pada sungai disebabkan oleh beberapa faktor, kemungkinan terbesar adalah akibat erosi pada dasar sungai dan tebing sungai. Untuk menentukan besar laju sedimentasi yang terjadi perlu diketahui berbagai parameter yang harus dilihat. Laju erosi yang terjadi tergantung pada :

1. Cakupan areal daerah pengaliran.
2. Kondisi geologi daerah pengaliran.
3. Kondisi topografi.
4. Kondisi meteorologi.
5. Karakteristik hidrolika sungai.
6. Vegetasi daerah pengaliran.
7. Kegiatan manusia.

Faktor-faktor yang menentukan atau mempengaruhi hasil sedimen adalah sebagai berikut :

1. Jumlah dan intensitas curah hujan
2. Tipe tanah dan formasi geologi
3. Lapisan tanah
4. Tata guna lahan
5. Topografi
6. Jaringan sungai yang meliputi : kerapatan sungai, kemiringan, bentuk, ukuran dan jenis saluran (*Priyantoro Dwi,1987*).

2.2 Sedimentasi

2.2.1 Karakteristik Sedimen

Proses pengangkutan sedimen dan pengendapan sedimen tidak hanya tergantung pada sifat-sifat arus tetapi juga pada sifat-sifat sedimen itu sendiri. Sifat-sifat itu didalam proses sedimentasi terdiri dari sifat partikelnya dan sifat sedimen secara menyeluruh. Namun demikian sifat yang paling penting itu adalah mengenai besarnya atau ukurannya.

Dalam beberapa studi mengenai sedimen sungai di waktu lampau menggunakan bentuk rata-rata untuk menggambarkan karakteristik sedimen secara keseluruhan. Cara ini dapat kita lakukan apabila bentuk, kepadatan dan distribusi sedimen tidak terlalu bervariasi dalam regim sungai. Untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat, perlu dilakukan penggambaran sedimen yang lebih seksama (*Priyantoro Dwi,1987*).

2.2.2 Klasifikasi Sedimen

Pada dasarnya sedimen yang terangkut oleh aliran dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Berdasarkan sumber atau asal sedimen :
 - a. Angkutan material dasar, dapat dibagi lagi menjadi :
 - *bed load*
 - *suspended load*
 - b. *wash load*
2. Berdasarkan mekanisme transpor :
 - a. *bed load*
 - b. *suspended load*

Keterangan :

- *Suspended load*, yaitu sedimen yang bergerak di atas dasar secara melayang dimana berat partikel dikompensasi oleh turbulensi aliran.
- *Bed load*, yaitu sedimen yang bergerak di dasar secara menggelinding (*rolling*), menggeser (*sliding*), atau meloncat (*jumping*).
- *Wash load*, yaitu sedimen yang butirannya sangat halus bergerak melayang di bagian atas aliran dan tidak mengendap di dasar sungai (Kinori, B.Z, 1984).

2.2.3 Bentuk dan Ukuran Sedimen

Bentuk partikel dari sedimen alam beraneka ragam dan tidak terbatas. Ukuran partikel sedimen itu sendiri belum cukup untuk menjelaskan butir-butir sedimen. Sifat-sifat yang paling penting dan berhubungan dengan angkutan sedimen adalah bentuk dan kebulatan butir. Bentuk butiran dinyatakan dalam kebulatannya yang didefinisikan sebagai perbandingan daerah permukaan yang bulat dengan volume yang sama dari butiran dengan daerah permukaan partikel.

Dalam peristilahan sedimen digunakan tiga macam diameter yaitu:

- a. Diameter saringan (D), adalah panjang dari sisi lubang saringan dimana suatu partikel dapat melaluinya.
- b. Diameter sedimentasi (Ds), adalah diameter bulat dari partikel dengan berat spesifik dan kecepatan jatuh yang sama pada cairan sedimentasi dan temperatur yang sama pula.
- c. Diameter nominal (Dn), adalah diameter bulat suatu partikel dengan volume yang sama (dimana $\text{volume} = 1/6\pi Dn^3$)

Secara garis besar skala butiran adalah sebagai berikut:

- *boulders* : 4000 - 250mm
- *cobbles* : 250 - 64mm
- *gravel* : 64 - 2mm
- *sand* : 2000 - 62 μ
- *silt* : 62 - 4 μ
- *clay* : 4 - 0.24 μ

Penentuan ukuran *boulders*, *cobbles* dan *gravel* dilakukan dengan pengukuran langsung dari pada isi atau beberapa diameter. *Gravel* dan *sand* dengan analisa mikroskopik atau cara sedimentasi (*Kriteria Perencanaan 04, 1987*).

2.2.4. Kerapatan, Berat Spesifik, Konsentrasi dan Kecepatan Endapan

1. Rapat Massa

Pada umumnya sedimen berasal dari desintegrasi atau dekomposisi dari batuan, baik yang diakibatkan oleh angin atau air. Suatu misal: *clay* adalah fragmen-fragmen dari feldspar dan mika, silt adalah silikat, pasir adalah kwarts. Kerikil adalah pecahan-pecahan yang cukup berarti dari batu-batu asal. *Boulders* adalah segala komponen dari batu asal (batu-batu besar).

Rapat massa butiran-butiran sedimen (< 4 mm) umumnya tidak banyak berselisih. Rapat massa rata-rata dapat diambil $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ hal ini dikarenakan kwarts adalah yang paling banyak terdapat dalam sedimen alam. Bila dinyatakan sebagai *specific gravity* (s), maka besarnya = 2,65. Untuk clay, ρ berkisar antara 2500 - 2700 kg/m^3 .

2. Berat Spesifik

Berat spesifik adalah perbandingan gaya gravitasi antara benda dan air pada volume yang sama. Simbol berat spesifik adalah s dimana $s = \rho/\rho_w = \gamma/\gamma_w$.

3. Konsentrasi

Menurut AGU (*american geophysical union*) material pasir mempunyai ukuran butiran antara 0,062 sampai 2,000 mm. Dari data material dasar sungai serta material "*suspended*" yang terangkut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar material dasar sungai berupa pasir, yaitu sekitar 80 % dari seluruh material dasar sungai. Material "*suspended*" yang terangkut sebagian besar juga merupakan material pasir, yaitu sekitar 90 %. Dengan demikian material dasar sungai yang ada dapat dikatakan mempunyai agihan butiran yang sama dengan agihan butiran material "*suspended*" yang terangkut, yaitu sebagian besar berupa material pasir.

4. Kecepatan Endap

Kecepatan endap (w) sangat penting dalam masalah suspensi dan sedimentasi. Kecepatan arus kritis untuk menggerakkan butiran di dasar serta perkembangan konfigurasi dasar sungai sering dihubungkan dengan kecepatan endap. Kecepatan ditentukan oleh persamaan keseimbangan antara berat butir dalam air dan hambatan selama butir mengendap (*Priyantoro Dwi, 1987*)

2.3 Permulaan Gerak Butiran

Air yang mengalir pada permukaan sedimen mengerjakan gaya pada butiran yang cenderung menggerakkannya. Gaya yang menahan gaya yang ditimbulkan oleh air yang mengalir berbeda-beda sesuai dengan ukuran butiran dan distribusi ukuran pada sedimen.

Untuk sedimen kasar misalnya pasir dan kerikil, gaya penahan gerakan terutama disebabkan oleh berat partikel. Sedimen halus yang mengandung sedikit lumpur atau tanah liat ataupun keduanya, cenderung bersifat kohesif dan menahan gerakan dengan gaya kohesinya daripada dengan gaya berat butir secara individu. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada sekelompok sedimen atau butiran halus akan digerakkan sebagai satu kesatuan, sedangkan pada sedimen kasar yang bersifat non kohesif digerakkan sebagai butiran-butiran yang bebas.

Bila gaya hidrodinamik bekerja pada suatu butiran dari sedimen atau agregat dari partikel sedimen non kohesif telah mencapai suatu nilai yang bila bertambah sedikit saja akan menyebabkan partikel atau butiran bergerak, dikatakan sebagai keadaan kritis. Bila kondisi kritis tersebut mencapai suatu nilai atau besaran sebesar gaya geser dasar saluran, maka kecepatan rata-ratanya telah mencapai kondisi kritis. Pada kondisi ini aliran berkompeten untuk menggerakkan butiran sedimen. Pada sekelompok sedimen atau butiran halus akan digerakkan sebagai satu kesatuan, sedangkan pada sedimen kasar yang bersifat non kohesif digerakkan sebagai butiran-butiran yang bebas.

Apabila gaya hidrodinamik bekerja pada suatu butiran dari sedimen atau agregat dari partikel sedimen non kohesif telah mencapai suatu nilai yang bila bertambah sedikit saja akan menyebabkan partikel atau butiran bergerak, dikatakan sebagai keadaan kritis. Bila kondisi kritis tersebut mencapai satu nilai/besaran sebesar gaya gesek dasar saluran, maka kecepatan rata-ratanya telah mencapai kondisi kritis. Pada kondisi ini aliran berkompeten untuk menggerakkan butiran sedimen.

Pada awal gerak butiran gaya yang ditimbulkan oleh aliran air adalah seimbang dengan gaya hambatan dari butiran atau sedimen dasar. Untuk butiran sedimen kohesif, parameter penting didalam menentukan awal gerak sedimen adalah konsentrasi atau rapat massa dari endapan dasar.

Definisi dari awal gerak sedimen :

1. Bila satu partikel telah bergerak
2. Bila sedikit partikel telah bergerak
3. Bila sebagian partikel telah bergerak

Untuk material sedimen kasar (pasir dan batuan), gaya-gaya aliran tersebut diimbangi oleh berat butiran sedimen, sedangkan untuk sedimen halus (lanau dan lempung) diimbangi oleh kohesif butiran. Pada waktu gaya-gaya aliran (gaya hidrodinamik) yang bekerja pada partikel sedimen mencapai suatu harga tertentu dimana bila gaya tersebut sedikit ditambah akan menyebabkan butiran sedimen bergerak (kondisi kritis).

2.4. Metode Pengukuran Angkutan Sedimen

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi angkutan sedimen adalah sifat-sifat aliran, sifat-sifat sedimen, dan pengaruh timbal balik antara keduanya. Bentuk dan ukuran partikel sedimen, mempengaruhi kecepatan rata-rata aliran ketika partikel bergerak di dasar saluran, mempengaruhi kecepatan jatuh (fall velocity) dan angkutan sedimen dasar (bed load transpor), seperti halnya butiran pipih mempunyai kecepatan endap lebih kecil, dan lebih sulit ditranspor daripada butiran bulat (Abdurrosyid, 2003).

Kecepatan jatuh (fall velocity) atau kecepatan endap (silting velocity), yaitu kecepatan pencapaian partikel ke dasar pada kolam air yang diam, yang berhubungan langsung dengan kondisi relatif aliran diantara partikel sedimen dan air selama kondisi pergerakan sedimen, angkutan sedimen dan pengendapan (Yang, 2000).

Banyaknya rumus yang dapat digunakan untuk menghitung angkutan sedimen sejak Du Boys (1879) menyajikan hubungan gaya seretnya (*tractive forcerelation*). Masalah yang sering dihadapi adalah dalam memilih satu atau beberapa rumus yang sesuai untuk dipakai dalam memecahkan suatu masalah. Pemilihan ini tidak dapat secara langsung dilakukan selama hasil dari beberapa formula yang digunakan menunjukkan perbedaan yang besar. Oleh karena itu, penetapan rumus yang akan digunakan harus terlebih dahulu dibandingkan dengan hasil observasi langsung debit sedimen di sungai yang akan ditinjau.

Dalam menghitung angkutan sedimen kesulitannya tidak ada aturan tertentu, sehingga kita mengikuti aturan – aturan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Secara umum intensitas angkutan sedimen dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \phi (\Delta g D_{35}^3)^{0,5} \quad (2-1)$$

$$\Delta = (ps - pw) / pw \quad (2-2)$$

dimana :

$$S = \text{Volume angkutan sedimen (m}^3/\text{s/m}^2)$$

$$D = \text{Diameter butiran}$$

I = Kemiringan dasar sungai

Konversi total volume : $S/(1-\epsilon)$ sebagai hasil akhir.

Dimana :

ϵ = porositas

intensitas pengaliran : $\psi = U^2 / \Delta g D$

$\psi = \psi \cdot \mu$ (nilai efektif dari ψ)

Suatu formulasi yang lengkap tentang gerak *bed load* harus mencakup semua variable dari pada pengaliran dan sedimen. Akan tetapi umumnya rumus – rumus tidaklah demikian. Sebagian besar rumus – rumus menggunakan parameter yang menentukan keadaan batas dimana tidak terjadi angkutan, misalnya :

1. $t_o - t$ (tegangan super kritis)
2. $Q_o - Q_c$ (debit kritis)
3. $U_o - U_c$ (kecepatan kritis)

Diantara formula – formula untuk mencari *bed load*, ada Formula Einstein. Dalam formula ini Einstein menetapkan persamaan muatan dasar sebagai persamaan yang menghubungkan material dasar dengan pengaliran setempat. Persamaan itu menggambarkan keadaan keseimbangan daripada pertukaran butiran dasar antara lapisan dasar (*bed layer*) dan dasarnya. Einstein menggunakan $D = D_{35}$ untuk parameter angkutan, sedangkan untuk kekasaran digunakan $D = D_{65}$. Hubungan antara kemungkinan butiran akan terangkut dengan intensitas angkutan muatan dasar dijabarkan sebagai berikut (Einstein, 1950) :

$$Q_b = (\phi (g \cdot \Delta \cdot D_{35}^3)^{1/2}) \cdot B \quad (2-3)$$

$$\Phi = 0.044638 + (0.36249 \cdot \Psi_1) - (0.226795 \cdot \Psi_2) + (0.036 \cdot \Psi_3) \quad (2-4)$$

$$\Psi = (\mu \cdot R \cdot I) / (\Delta \cdot D_{35}) \quad (2-5)$$

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I \quad (2-6)$$

$$\mu = (C/C^c)^{3/2} \quad (2-7)$$

$$C^c = 18 \log (12R / D_{65}) \quad (2-8)$$

$$C = V / (R \cdot I)^{1/2} \quad (2-9)$$

dimana :

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

R = Jari – jari hidroulis (A/P)

V = Kecepatan (m/dt)

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{dt)} \rightarrow V \cdot A$$

Muatan layang (*suspended load*) dapat juga dihitung dengan menggunakan metode USBR (*united state bureau reclamation*) dimana untuk menghitung angkutan muatan layang, diperlukan pengukuran debit air (Q_w) dalam m^3/det , yang dikombinasikan dengan konsentrasi sedimen (C) dalam mg/l , yang menghasilkan debit sedimen dalam ton/hari dihitung dengan persamaan (Strand, 1982) :

$$Q_s = 0,0864 C \cdot Q_w \quad (2-10)$$

Keterangan :

Q_w : Debit air (m^3/det)

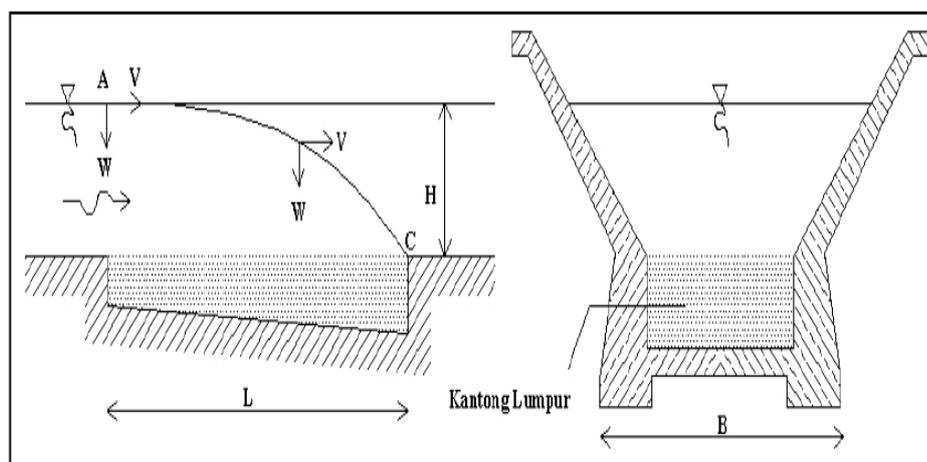
C : Konsentrasi sedimen (mg/l)

Dari hasil perhitungan di atas akan menghasilkan debit sedimen total dalam ton per hari (Priyantoro Dwi, 1987).

2.5 Kantong Lumpur

2.5.1 Pendahuluan

Walaupun telah ada usaha untuk merencanakan sebuah bangunan pengambilan dan pengelak sedimen yang dapat mencegah masuknya sedimen ke dalam jaringan saluran irigasi, masih ada banyak partikel-partikel halus yang masuk ke jaringan tersebut. Untuk mencegah agar sedimen ini tidak mengendap di seluruh saluran irigasi, bagian awal dari saluran primer persis di belakang pengambilan direncanakan untuk berfungsi sebagai kantong lumpur. Skematisasi ruang kantong lumpur dapat dilihat pada gambar 2.1



(Sumber : PUSAIR, 2004)

Gambar 2.1. Skematisasi Ruang Kantong Lumpur

Keterangan :

W = kecepatan endap partikel sedimen (m/dt)

B = lebar kantong lumpur (m)

L = panjang kantong lumpur (m)

Q = debit pengambilan (m^3/dt)

H = kedalaman aliran saluran (m)

Kantong lumpur itu merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan memberi kesempatan kepada sedimen untuk mengendap. Untuk menampung endapan sedimen ini, dasar bagian saluran tersebut diperdalam atau diperlebar. Tampungan ini dibersihkan tiap jangka waktu tertentu (kurang lebih sekali seminggu atau setengah bulan) dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran terkonsentrasi yang berkecepatan tinggi.

Perencanaan kantong lumpur yang memadai bergantung kepada tersedianya data-data yang memadai mengenai sedimen di sungai. Adapun data-data yang diperlukan adalah:

- pembagian butir
- sedimen dasar
- volume
- penyebaran ke arah vertikal
- sedimen layang

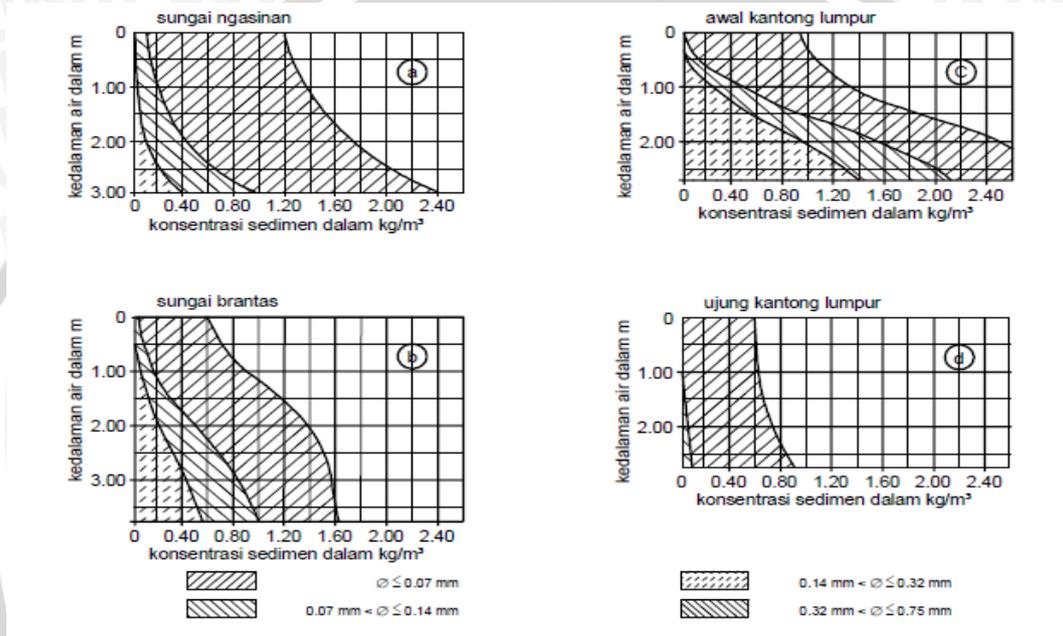
Jika tidak ada data yang tersedia, ada beberapa harga praktis yang bisa dipakai untuk bangunan utama berukuran kecil. Dalam hal ini volume bahan layang yang harus diendapkan, diandaikan $0,6 \frac{0}{00}$ (permil) dari volume air yang mengalir melalui kantong.

Ukuran butir yang harus diendapkan bergantung kepada kapasitas angkutan sedimen di jaringan saluran selebihnya. Dianjurkan bahwa sebagian besar (60 – 70%) dari pasir halus terendapkan: partikel-partikel dengan diameter di atas 0,06 – 0,07 mm.

2.5.2 Bangunan Pengambilan

Yang pertama-tama mencegah masuknya sedimen ke dalam saluran irigasi adalah pengambilan dan pembilas, dan oleh karena itu pengambilan yang direncanakan dengan baik dapat mengurangi biaya pembuatan kantong lumpur yang mahal. Penyebaran sedimen ke arah vertikal memberikan ancar-ancar diambilnya beberapa langkah perencanaan untuk membangun sebuah pengambilan yang dapat berfungsi

dengan baik. Partikel-partikel yang lebih halus di sungai diangkat dalam bentuk sedimen layang dan tersebar merata di seluruh kedalaman aliran. Semakin besar dan berat partikel yang terangkut, semakin partikel-partikel itu terkonsentrasi ke dasar sungai; bahan-bahan yang terbesar diangkat sebagai sedimen dasar. Gambar 2.2 memberikan ilustrasi mengenai sebaran sedimen ke arah vertikal di dua sungai (a) dan (b) ; pada awal (c) dan ujung (d) kantong lumpur. Dari gambar tersebut, jelas bahwa perencanaan pengambilan juga dimaksudkan untuk mencegah masuknya lapisan air yang lebih rendah, yang banyak bermuatan partikel-partikel kasar.



Gambar 2.2. Grafik Konsentrasi sedimen ke arah vertikal

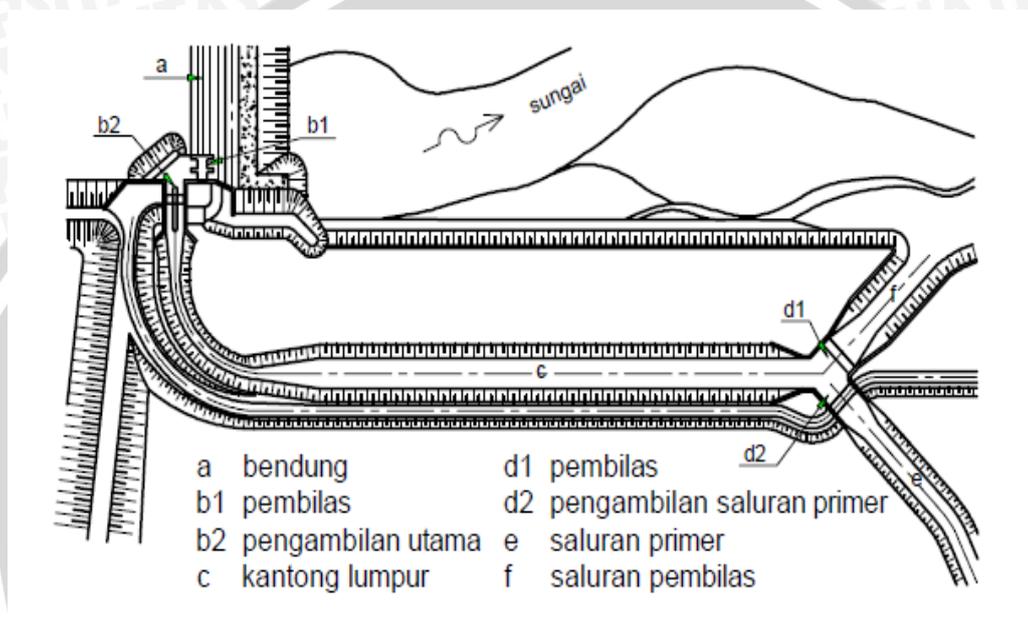
2.5.3 Jaringan Saluran

Jaringan saluran direncana untuk membuat kapasitas angkutan sedimen konstant atau makin bertambah di arah hilir. Dengan kata lain: sedimen yang memasuki jaringan saluran akan diangkat lewat jaringan tersebut ke sawah- sawah. Dalam kaitan dengan perencanaan kantong lumpur, ini berarti bahwa kapasitas angkutan sedimen pada bagian awal dari saluran primer penting artinya untuk ukuran partikel yang akan diendapkan. Biasanya ukuran partikel ini diambil 0,06 – 0,07 mm guna memperkecil kemiringan saluran primer.

Bila kemiringan saluran primer serta kapasitas angkutan jaringan selebihnya dapat direncana lebih besar, maka tidak perlu menambah ukuran minimum partikel yang diendapkan. Umumnya hal ini akan menghasilkan kantong lumpur yang lebih murah, karena dapat dibuat lebih pendek.

2.5.4 Tata Letak Kantong Lumpur

Pada Gambar 2.3 di bawah ini diberikan tipe tata letak kantong lumpur sebagai bagian dari bangunan utama. Juga ada tata letak dari : bendung, pembilas, saluran primer, saluran pembilas, pengambilan utama, pengambilan saluran primer, juga sungai. Jadi bisa dilihat jika diperlukan kemiringan sungai yang cukup curam untuk pembilasan di sepanjang kantong lumpur supaya pembilasan dapat bisa berjalan dengan baik, sehingga sedimen tidak masuk ke jaringan irigasi.



(Sumber : Kriteria Perencanaan 02,1987)

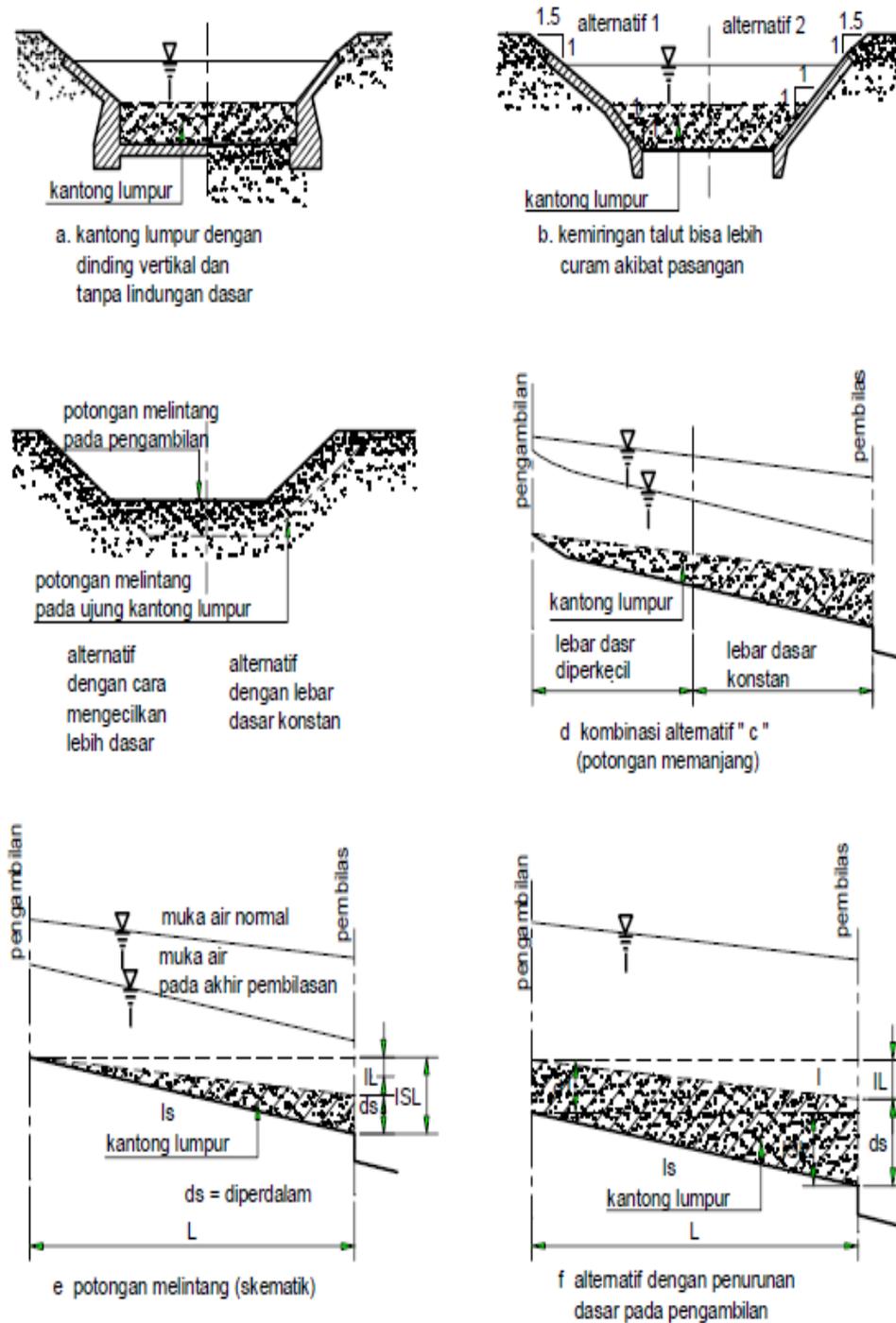
Gambar 2.3 Tipe Tata Letak Kantong Lumpur

2.6 Volume Tampungan

Tampungan sedimen di luar (di bawah) potongan melintang air bebas dapat mempunyai beberapa macam bentuk Gambar 2.4 di bawah ini memberikan beberapa metode pembuatan volume tampungan.

Volume tampungan bergantung kepada banyaknya sedimen (sedimen dasar maupun sedimen layang) yang akan hingga tiba saat pembilasan. Banyaknya sedimen yang terbawa oleh aliran masuk dapat ditentukan dari: (1) pengukuran langsung di lapangan (2) rumus angkutan sedimen yang cocok (Einstein – Brown, Meyer – Peter Mueller), atau kalau tidak ada data yang andal: (3) kantong lumpur yang ada di lokasi lain yang sejenis. Sebagai perkiraan kasar yang masih harus dicek ketepatannya, jumlah bahan dalam aliran masuk yang akan diendapkan adalah 0,5%. Kedalaman tampungan di ujung kantong lumpur biasanya sekitar 1,0 m untuk jaringan kecil (sampai $10 \text{ m}^3/\text{dt}$),

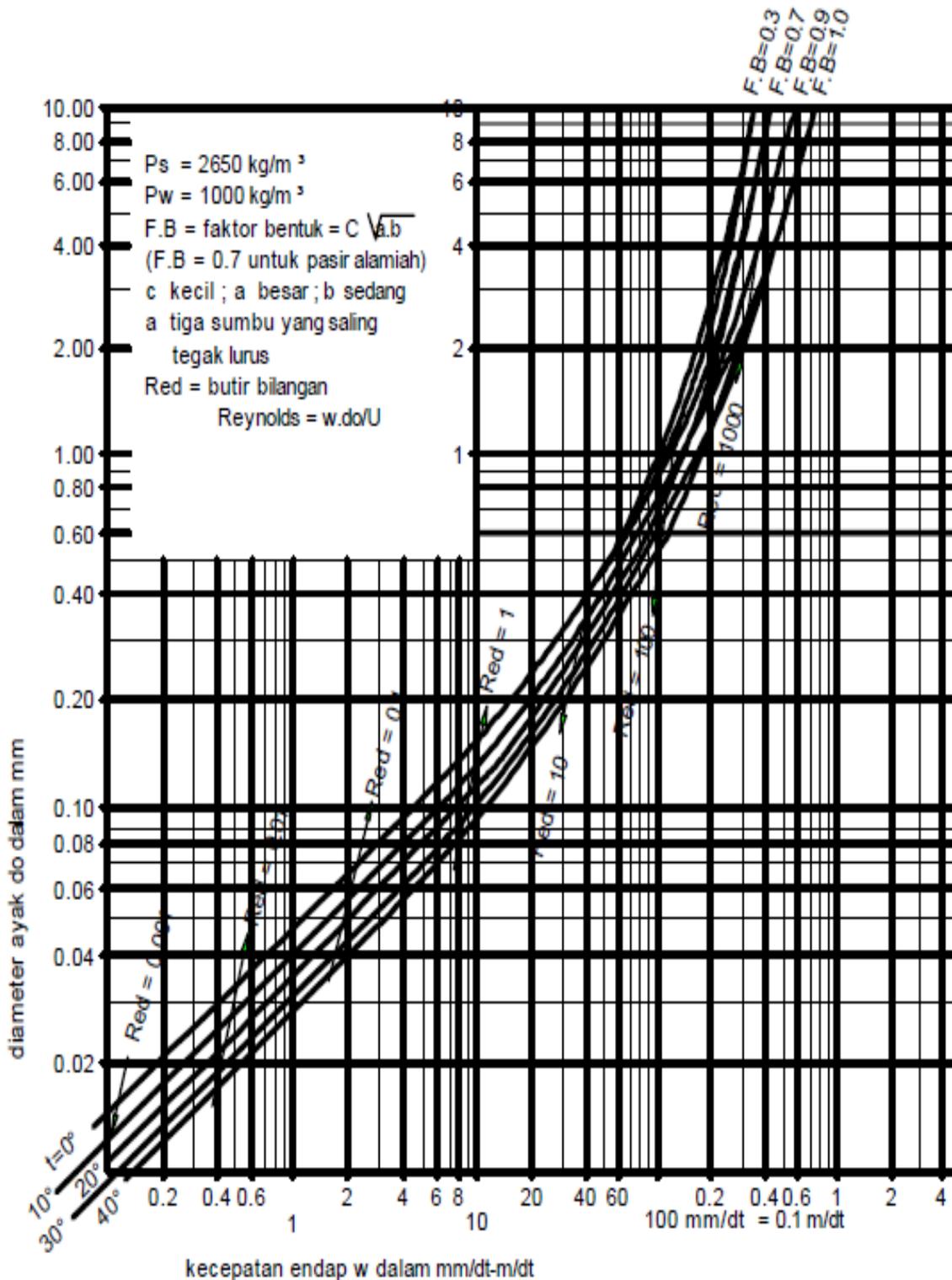
hingga 2,50 m untuk saluran yang sangat besar ($100 \text{ m}^3/\text{dt}$). Sangat penting memperhatikan volume tampungan, apabila volume tampungan tidak dapat menampung sedimen maka akan mengakibatkan banyak hal yang sangat merugikan dan juga akan berdampak sangat buruk. Maka volume tampungan harus direncanakan dengan baik dan benar.



(Sumber : Aniek Masrevaniah dan Prastumi, 2008)

Gambar 2.4 Potongan Melintang dan Memanjang Kantong Lumpur yang menunjukkan metode pembuatan tampungan

Di bawah ini juga ada gambar 2.5 grafik hubungan antara diameter saringan dan kecepatan endap untuk air tenang.



(Sumber : Kriteria Perencanaan 02,1987)

Gambar 2.5. Grafik hubungan antara diameter saringan dan kecepatan endap untuk air tenang

2.7 Pembersihan Kantong Lumpur

Pembersihan kantong lumpur, pembuangan endapan sedimen dari tampungan, dapat dilakukan dengan pembilasan secara hidrolis (*hydraulic flushing*), pembilasan secara manual atau secara mekanis. Metode pembilasan secara hidrolis lebih disukai karena biayanya tidak mahal. Kedua metode lainnya akan dipertimbangkan hanya kalau metode hidrolis tidak mungkin dilakukan.

Jarak waktu pembilasan kantong lumpur, tergantung pada eksploitasi jaringan irigasi, banyaknya sedimen di sungai, luas tampungan serta tersedianya debit air sungai yang dibutuhkan untuk pembilasan. Untuk tujuan-tujuan perencanaan, biasanya diambil jarak waktu satu atau dua minggu (*Kriteria Perencanaan 02,1987*).

2.7.1 Pembersihan Kantong Lumpur secara Hidrolis

Pembilasan secara hidrolis membutuhkan beda tinggi muka air dan debit yang memadai pada kantong lumpur guna menggerus dan menggelontor bahan yang telah terendap kembali ke sungai. Frekuensi dan lamanya pembilasan bergantung pada banyaknya bahan yang akan dibilas, tipe bahan kohesif atau nonkohesif dan tegangan geser yang tersedia oleh air. Kemiringan dasar kantong serta pembilasan hendaknya didasarkan pada besarnya tegangan geser yang diperlukan yang akan dipakai untuk menggerus sedimen yang terendap.

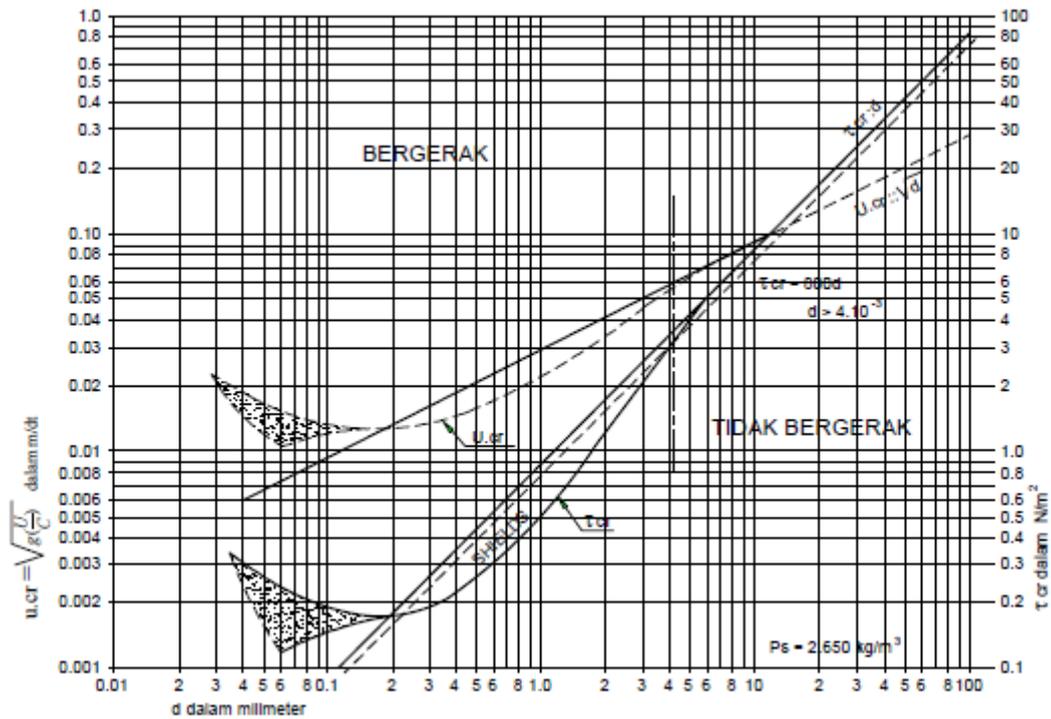
Dianjurkan untuk mengambil debit pembilasan sebesar yang dapat diberikan oleh pintu pengambilan dan beda tinggi muka air. Untuk keperluan-keperluan perencanaan, debit pembilasan di ambil 20% lebih besar dari debit normal pengambilan. Tegangan geser yang diperlukan tergantung pada tipe sedimen yang bisa berupa:

- (1) Pasir lepas, dalam hal ini parameter yang terpenting adalah ukuran butirnya, atau
- (2) Partikel-partikel pasir, lanau dan lempung dengan kohesi tertentu.

Besarnya tegangan geser dan kecepatan geser untuk diameter pasir terbesar yang akan dibilas sebaiknya dipilih di atas harga kritis. Dalam grafik ini ditunjukkan dengan kata “bergerak” (movement). Untuk keperluan perhitungan pendahuluan, kecepatan rata-rata yang diperlukan selama pembilasan dapat diandaikan sebagai berikut:

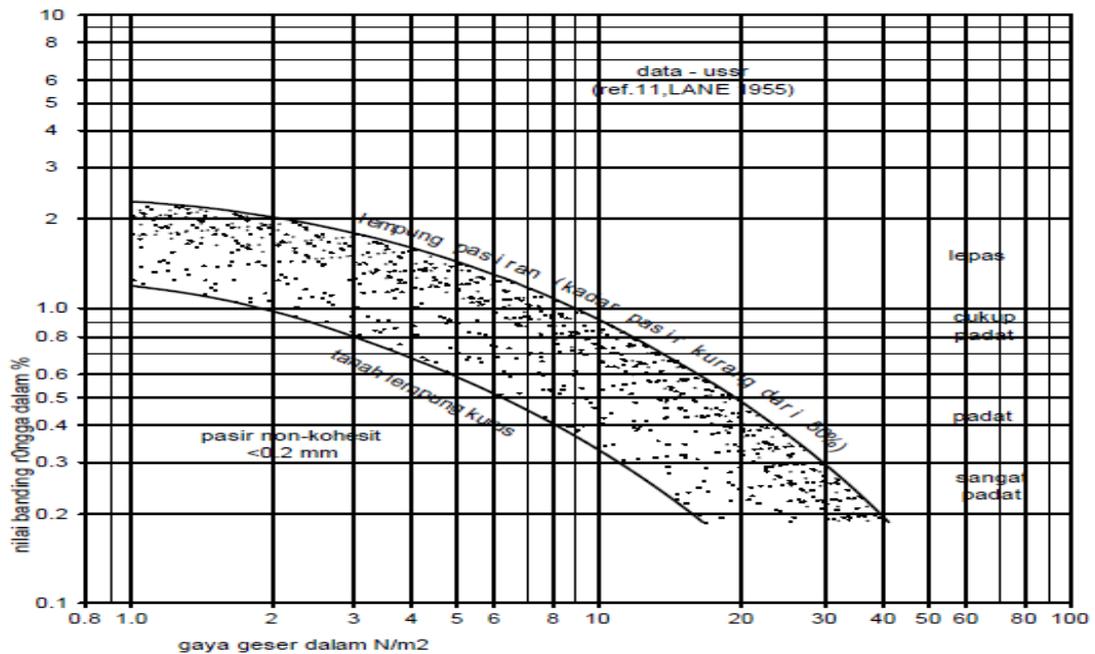
- 1,0 m/dt untuk pasir halus
- 1,5 m/dt untuk pasir kasar
- 2,0 m/dt untuk kerikil dan pasir kasar.

Bagi bahan-bahan kohesif, dapat dipakai Gambar 2.7, yang diturunkan dari data USBR oleh Lane seperti di bawah ini :



Gambar 2.6 Tegangan geser kritis dan kecepatan geser kritis sebagai fungsi besarnya butir untuk $\rho_s = 2.650 \text{ kg/m}^3$ (pasir)

Makin tinggi kecepatan selama pembilasan, operasi menjadi semakin cepat. Namun demikian, besarnya kecepatan hendaknya selalu dibawah kecepatan kritis, karena kecepatan superkritis akan mengurangi efektivitas proses pembilasan.



Gambar 2.7 Gaya tarik (traksi) pada bahan kohesif

2.7.2 Pembersihan secara Manual/Mekanis

Pembersihan kantong lumpur dapat juga dilakukan dengan peralatan mekanis. Pembersihan kantong lumpur secara menyeluruh jarang dilakukan secara manual. Dalam hal-hal tertentu, pembersihan secara manual bermanfaat untuk dilakukan di samping pembilasan secara hidrolis terhadap bahan-bahan kohesif atau bahan-bahan yang sangat kasar. Dengan menggunakan tongkat, bahan endapan ini dapat diaduk dan dibuat lepas sehingga mudah terkuras dan hanyut.

Pembersihan secara mekanis bisa menggunakan mesin penggerak, singkup tarik/backhoe atau mesin-mesin sejenis itu. Inilah yang membuat pembersihan secara manual lebih mahal, dan jarang dipakai. Selain masalah biaya yang terlalu tinggi, proses pembersihan secara manual juga membutuhkan waktu yang lebih banyak pula. Tetapi proses pembersihan secara manual, mendapatkan hasil pembersihan yang maksimal dibanding pembersihan secara hidrolis. Dan sedimen yang ada di dalam kantong lumpur hampir selalu bersih.

Biasanya pembersihan secara manual digunakan jika sedimen yang mengendap di dalam kantong lumpur sudah banyak, dan sedimen terdiri dari batuan-batuan yang mempunyai diameter cukup besar. Dan bisa juga dilakukan secara kombinasi, yaitu secara manual tetapi juga menggunakan pembersihan secara hidrolis (*Kriteria Perencanaan 02,1987*).

2.8 Pengecekan Terhadap Berfungsinya Kantong Lumpur

Perencanaan kantong lumpur hendaknya mencakup cek terhadap efisiensi pengendapan dan efisiensi pembilasan.

2.8.1 Efisiensi Pengendapan

Untuk mengecek efisiensi kantong lumpur, dapat dipakai grafik pembuangan sedimen dari Camp. Gambar 2.8 memberikan efisiensi sebagai fungsi dari dua parameter. Kedua parameter itu adalah w/w_0 dan w/v_0 .

Dimana :

w : kecepatan endap partikel-partikel yang ukurannya di luar ukuran partikel yang direncana, m/dt

w_0 : kecepatan endap rencana, m/dt

v_0 : kecepatan rata-rata aliran dalam kantong lumpur, m/dt

Dengan menggunakan grafik Camp, efisiensi proses pengendapan untuk partikel-partikel dengan kecepatan endap yang berbeda-beda dari kecepatan endap partikel rencana, dapat dicek. Suspensi sedimen dapat dicek dengan menggunakan kriteria Shinohara Tsubaki. Bahan akan tetap berada dalam suspensi penuh jika:

$$\frac{v^*}{w} > \frac{5}{3} \quad (2-11)$$

Dimana :

v^* (kecepatan geser) = $(g h I)^{0.5}$, m/dt

I = kemiringan energi

g = percepatan gravitasi, m/dt² ($\approx 9,8$)

w = kecepatan endap sedimen, m/dt

h = kedalaman air, m

Efisiensi pengendapan sebaiknya dicek untuk dua keadaan yang berbeda:

- untuk kantong kosong
- untuk kantong penuh

Untuk kantong kosong, kecepatan minimum harus dicek. Kecepatan ini tidak boleh terlalu kecil yang memungkinkan tumbuhnya vegetasi atau mengendapnya partikel-partikel lempung. Menurut Vlugter, untuk:

$$v > \frac{w}{1,61} \quad (2-12)$$

Dimana :

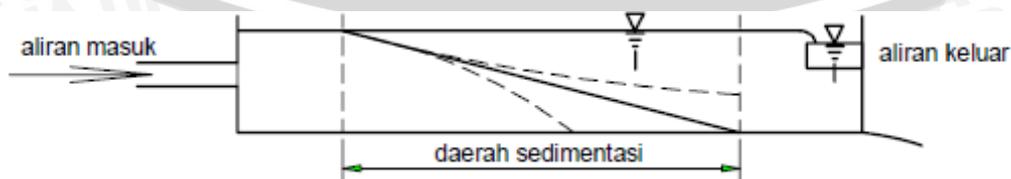
v = kecepatan rata-rata, m/dt

w = kecepatan endap sedimen, m/dt

I = kemiringan energi

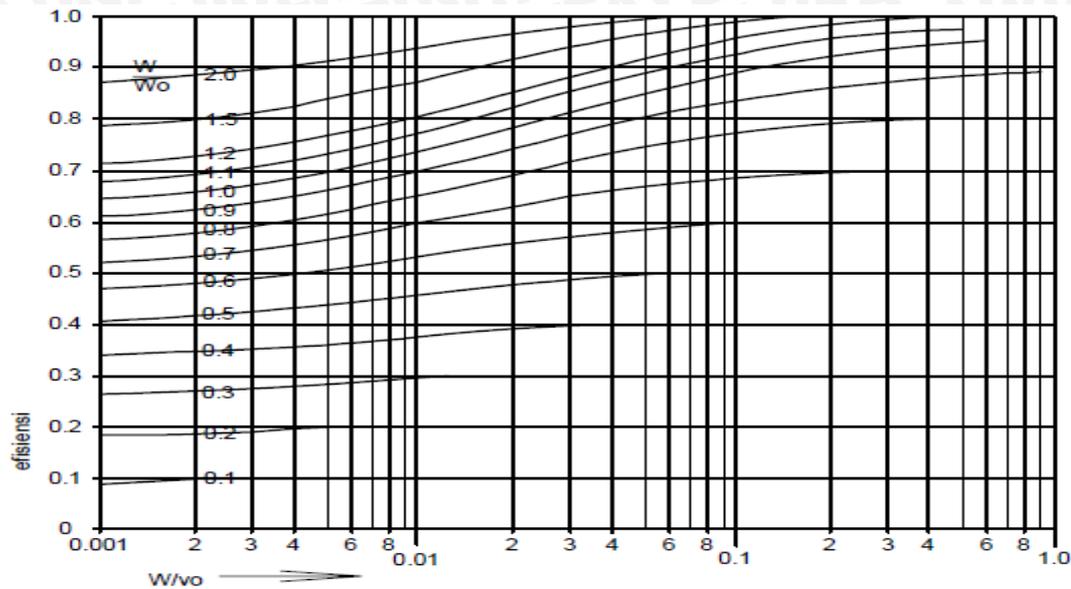
Semua bahan dengan kecepatan endap w akan berada dalam suspensi pada sembarang konsentrasi.

- pengaruh aliran turbulensi terhadap sedimentasi aliran



Gambar 2.8. Pengaruh aliran turbulensi terhadap sedimentasi aliran

- efisiensi sedimentasi partikel-partikel individual untuk aliran turbulensi



Gambar 2.9. Grafik pembuangan sedimen Camp untuk aliran turbulensi (Camp, 1945)

Apabila kantong penuh, maka sebaiknya dicek apakah pengendapan masih efektif dan apakah bahan yang sudah mengendap tidak akan menghambur lagi. Yang pertama dapat dicek dengan menggunakan grafik Camp (lihat Gambar 2.9) dan yang kedua dengan grafik Shields (lihat Gambar 2.6).

2.8.2 Efisiensi Pembilasan

Efisiensi pembilasan bergantung kepada terbentuknya gaya geser yang memadai pada permukaan sedimen yang telah mengendap dan pada kecepatan yang cukup untuk menjaga agar tetap dalam keadaan suspensi sesudah itu. Gaya geser dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot I_c \quad (2-13)$$

dimana :

τ = Besarnya tractive force pada saat pengurasan (N/m^2)

ρ = Berat jenis air (kg)

g = Gravitasi ($9,81 \text{ m/dt}^2$)

h_c = Tinggi air dikantong lumpur pada kondisi aliran pengaliran kritis untuk pengurasan bahan sedimen di kantong lumpur (m)

I_c = Kemiringan dasar kantong lumpur

Dan setelah itu dicek dengan grafik Shields (lihat Gambar 2.6). Makin tinggi kecepatan selama pembilasan, operasi menjadi semakin cepat. Namun demikian,

besarnya kecepatan hendaknya selalu dibawah kecepatan kritis, karena kecepatan superkritis akan mengurangi efektivitas proses pembilasan (lihat gambar 2.6).

2.9 Tata Cara Pembersihan / Penggelontoran Sedimen pada Kantong Lumpur

Pembersihan / Penggelontoran sedimen pada kantong lumpur, dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu Pembersihan / Penggelontoran sedimen secara hidrolis (*hydraulic flushing*), Pembersihan / Penggelontoran sedimen secara manual atau secara mekanis. Yang banyak digunakan biasanya Pembersihan / Penggelontoran sedimen secara hidrolis (*hydraulic flushing*).

Tata cara Pembersihan / Penggelontoran sedimen secara hidrolis (*hydraulic flushing*) yaitu dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- a. Ikuti jadwal pembersihan / penggelontoran sedimen yang sudah dibuat
- b. Pintu Saluran Primer ditutup, agar sedimen yang nantinya akan dibersihkan tidak masuk di saluran primer atau bahkan sampai ke jaringan irigasi
- c. Pintu Pembilas Kantong Lumpur dibuka (pintu ini hanya dibuka saat proses pembersihan / penggelontoran dilakukan)
- d. Pintu Intake dari sungai dibuka agar debit yang masuk ke dalam kantong lumpur menjadi besar sehingga proses pembilasan bisa dilakukan dengan optimal.
- e. Proses selanjutnya menunggu sampai waktu yang ditentukan untuk proses pembersihan / penggelontoran terjadi.
- f. Jika proses pembersihan / penggelontoran selesai dilakukan maka Pintu Saluran Primer kembali di buka, Pintu Pembilas Kantong Lumpur ditutup kembali.

2.10. Pengukuran Suspended Load

Pengukuran Suspended Load menggunakan alat Suspended Solid Analyzer (Model 3150). *Portable suspended solids analyzer model 3150* adalah penganalisa genggam yang dirancang untuk pengukuran padatan tersuspensi pada larutan air. *Mikroprosesor* berbasis elektronik dari analisa *model 3150* memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi serta kemudahan bagi para penggunanya. Alat ini dirancang untuk beroperasi di berbagai aplikasi. Terdapat sensor pada alat *Portable suspended solids analyzer model 3150*, dan *real-time ss* untuk kontrol proses yang lebih baik.

Pada alat ini juga terdapat sebuah sakelar otomatis yang apabila tombol pada alat tersebut tidak disentuh selama 15 menit akan mati secara otomatis. Daya yang digunakan untuk pengaktifan alat ini dari baterai isi ulang (jenis baterai : NIMH).

Baterai yang terisi penuh dapat digunakan kurang lebih sekitar 12 jam, jika baterai akan habis ada lampu siaga yang akan menyala. Sehingga memudahkan pengguna mengetahui baterai akan habis, dan dapat diisi kembali dengan mengisi daya pada baterai tersebut dengan alat *charge* selama kurang lebih 4 jam. Pada alat *Portable suspended solids analyzer model 3150* terdapat 5 menu utama, antara lain adalah :

- a) Run
- b) Lihat LOG
- c) PC Ekstrak
- d) Setup
- e) Tes

Apabila akan memilih salah satu fasilitas dari menu – menu yang ada di atas, gunakan tombol pengarah ke arah salah satu fasilitas yang ada kemudian tekan *enter* untuk memilih.



Gambar 2.10 Alat *Portable Suspended Solids Analyzer Model 3150*

Cara pengoperasian dari alat *Portable suspended solids analyzer model 3150* ada beberapa tahapan, diantaranya adalah :

- a) Tekan tombol On pada Alat
- b) Biarkan beberapa detik setelah alat dinyalakan, agar alat bisa menetralkan nilai yang tertera pada layar.
- c) Apabila pada layar angka yang ditunjukkan 0 maka alat tersebut sudah bisa digunakan.
- d) Setelah melakukan percobaan dan pengamatan di lapangan catat hasil yang didapat kemudian olah data tersebut.
- e) Setelah pemakaian selesai tekan tombol Off.