

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Model Fisik Hidraulik

Model hidrolis dipakai untuk mensimulasi perilaku hidrolis pada prototip bendung atau bendung gerak yang direncanakan dengan skala lebih kecil. Kemungkinan lain untuk mensimulasi perilaku hidrolis adalah membuat model matematika pada komputer. Pengukuran langsung di lapangan atau dalam model fisik harus dilakukan untuk memantapkan hasil-hasil yang diperoleh dari perhitungan analitis.

Penyelidikan model dilakukan untuk menyelidiki perilaku (*performance*) hidrolis dari seluruh bangunan atau masing-masing komponennya. Model komputer dipakai untuk studi banjir dan gejala morfologi seperti aggradasi dan degradasi yang akan terjadi di sungai itu.

2.1.1 Penyelidikan Model untuk Bangunan Bendung

Komponen-komponen bangunan bendung berikut serta konstruksi-konstruksi pelengkapannya dapat diselidiki dalam model hidrolis:

- Lokasi dan tata letak umum bangunan bendung
- Pekerjaan pengaturan sungai di hulu bangunan
- Bentuk mercu bendung pelimpah tetap
- Pintu-pintu utama bendung gerak termasuk ambangnya
- Kolam olak dan efisiensinya sebagai peredam energi
- Eksploitasi pintu bendung gerak sehubungan dengan penggerusan lindungan dasar sungai
- Kompleks pembilas/pengambilan sehubungan dengan pengelakkan sedimen
- Saluran pengarah dan kantong lumpur sehubungan dengan distribusi kecepatan yang seragam.

2.1.2. Skala Model

Definisi dari skala model adalah *ratio* antara nilai masing-masing parameter yang ada di *prototype* dengan nilai masing-masing parameter yang ada di model. Prinsip pembuatan skala adalah membentuk kembali masalah yang ada di *prototype* dengan suatu angka pembanding. Sehingga kejadian (fenomena) yang ada di model sebangun dengan kondisi di *prototype*.

Ada dua jenis skala yang dapat digunakan dalam model fisik hidraulika, yaitu skala model terdistorsi (*distorted*) dan skala model tanpa distorsi (*undistorted*). Skala model

terdistorsi adalah skala yang dipakai dalam pembuatan model dimana skala vertikal dan skala horizontal adalah tidak sama. Sedangkan skala model tanpa distorsi adalah perbandingan antara skala vertikal dan skala horizontal adalah sama. Hubungan skala (*scale relations*) yang digunakan untuk pembuatan/perencanaan model fisik dibedakan menjadi dua kelompok (de Vries, 1977:28):

- a. *Scale Law* : adalah hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi (dalam hal ini adalah *roughness condition* dan *Froude condition*).
- b. *Scale Condition* : adalah hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi untuk menghindari *scale effects* (dalam hal ini adalah kriteria kesebangunan)

Hubungan antara model dan prototype dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidraulika. Perbandingan antara prototype dan model disebut skala model. Dalam merencanakan suatu model terdapat sifat-sifat kesebangunan model, yang amat menentukan ketelitian model tersebut.

Yang dimaksud dengan kesebangunan tersebut adalah:

1. Sebangun geometris. Disebut juga dengan sebangun bentuk. Yaitu perbandingan antara ukuran analog *prototype* dengan model harus sama besarnya. Perbandingan yang digunakan adalah Panjang, Luas, dan Volume.

$$L_r = \frac{\text{ukuran di prototype}}{\text{ukuran di model}} = \frac{L_p}{L_m} \quad (2-1)$$

Sebagaimana ukuran pada titik sembarang di model dan *prototype* harus mempunyai skala yang sama.

$$\text{Skala panjang : } \frac{(L_1)_p}{(L_1)_m} = \frac{(L_2)_p}{(L_2)_m} = L_r \quad (2-2)$$

$$\text{Skala luas : } \frac{(A_1)_p}{(A_1)_m} = \frac{(L_2^2)_p}{(L_2^2)_m} = L_r^2 \quad (2-3)$$

$$\text{Skala volume : } \frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(L_2^3)_p}{(L_2^3)_m} = L_r^3 \quad (2-4)$$

Sebangun geometrik sempurna tidak selalu mudah dicapai, sehingga kekasaran permukaan dari model yang kecil tidak mungkin merupakan hasil dari skala model, tetapi hanya dibuat permukaan yang lebih licin daripada *prototype*.

2. Sebangun kinematis, yaitu sebangun gerakan. Perbandingan yang digunakan adalah waktu, kecepatan, dan debit.

$$\text{Skala kecepatan : } \frac{V_p}{V_m} = \frac{\frac{L_p}{t_p}}{\frac{L_m}{t_m}} = \frac{L_r}{t_r} \quad (2-5)$$

$$\text{Skala percepatan : } \frac{a_p}{a_m} = \frac{L_p/t_p^2}{L_m/t_m^2} = \frac{L_r}{t_r^2} \quad (2-6)$$

$$\text{Skala debit : } \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{L_p^3/t_p}{L_m^3/t_m} = \frac{L_r^3}{t_r} \quad (2-7)$$

3. Kesebangunan dinamis, yaitu kesebangunan gaya-gaya yang terjadi bila gerakannya sebangun kinematis, dan rasio dari massa yang bergerak serta gaya penyebabnya sudah homolog besarnya, maka:

$$F_r = \frac{(F_1)_p}{(F_1)_m} = \frac{(F_2)_p}{(F_2)_m} \quad (2-8)$$

Apabila hubungan antar skala dan kesebangunan telah dipenuhi, maka tingkat ketelitian perlu diperhatikan sehubungan dengan besarnya nilai skala yang digunakan.

Tabel 2.1. Rasio Skala antara Model dan Prototipe

No	Besaran	Notasi	Rasio
1.	Skala horizontal	L_r	25
2.	Skala vertical	H_r	25
3.	Debit Aliran	Q_r	3125,00
4.	Waktu Aliran	t_r	5,00
5.	Koefisien Manning	n_r	1,71

Sumber: perhitungan

2.2. Model Dasar Tidak Tetap (*Movable Bed Model*)

Pada model dasar tidak tetap, tidak hanya memperhatikan kesebangunan aliran, tetapi juga mempertimbangkan kesebangunan angkutan sedimen. Persamaan dan hukum yang berlaku untuk model dasar tidak tetap adalah sebagai berikut :

1. Hukum Reynold's Butiran (*Grain Reynold's Law*)

$$\frac{U_p^* \cdot D_p}{\nu_p} = \frac{U_m^* \cdot D_m}{\nu_m} \quad (2-9)$$

dengan :

$$U^* = \sqrt{g \cdot R \cdot Sf} = \text{kecepatan gesek (m/dt)}$$

$$D = \text{ukuran butir sedimen (m)}$$

$$\nu = \text{kekentalan kinematik air (m}^2/\text{dt)}$$

Untuk tujuan praktis, umumnya studi model hidrolis menggunakan $\nu_p = \nu_m$ substitusi (H) pada (R) untuk alur alamiah sehingga untuk model skala distorsi diperoleh :

$$D_r = (L_r)^{1/2} \cdot (H_r)^{-1} \quad (2-10)$$

2. Hukum Gerak Butiran (*Grain Mobility Law*)

$$\frac{U_p^*}{\sqrt{g \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \cdot D_p}} = \frac{U_m^*}{\sqrt{g \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \cdot D_m}} \quad (2-11)$$

dengan :

$$\rho_s = \text{rapat massa sediment (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_w = \text{rapat massa air (kg/m}^3\text{)}$$

apabila $U_p^* = U_m^*$ maka persamaan untuk model skala distorsi menjadi :

$$D_r = H_r^2 L_r^{-1} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^{-1} \quad (2-12)$$

3. Persamaan Kontinuitas Sedimen

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial s}{\partial x} = 0 \quad (2-13)$$

dengan :

$$z = \text{elevasi dasar sungai}$$

$$t = \text{waktu}$$

$$\lambda = \text{porositas material dasar}$$

$$s = \text{debit sedimen persatuan lebar}$$

x = jarak sepanjang arah aliran

Persamaan diatas ditulis dalam bentuk differensial/beda hingga (*finite different*) secara terpisah pada prototipe dan model, adalah sebagai berikut :

$$S_p = -(1-\lambda)_p \cdot \frac{\Delta z_p}{\Delta t_p} \cdot \Delta x_p \quad (2-14)$$

$$S_m = -(1-\lambda)_m \cdot \frac{\Delta z_m}{\Delta t_m} \cdot \Delta x_m \quad (2-15)$$

diasumsikan $(1-\lambda)_p = (1-\lambda)_m$, jika dikombinasikan antara 2 persamaa diatas sehingga diperoleh :

$$S_r = \Delta z_r \cdot \frac{\Delta x_r}{\Delta t_r} \quad (2-16)$$

Sepanjang $\Delta z_r = H_r$ dan $\Delta x_r = L_r$, maka persamaan untuk model skala distorsi dapat disederhanakan menjadi :

$$t_r = H_r \cdot L_r \cdot S_r^{-1} \quad (2-17)$$

dengan :

t_r = rasio waktu dari sedimen

Secara teoritis persamaan yang akan digunakan bersama-sama untuk menentukan skala horizontal dan rasio ukuran sedimen apabila skala vertikal model dan rapat massa sedimen telah terpilih. Untuk model Froudian gravitasi dasar tidak tetap, rasio skala berbagai parameter ditunjukkan pada table berikut ini :

Tabel 2.2 Rasio Skala untuk Parameter Model Dasar Tidak Tetap

Uraian	Simbol	Rasio
Skala Horisontal	L_r	L_r
Skala Vertikal	H_r	$D_r^{1/2} L_r^{1/2} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)_r^{1/2}$
Uraian	Simbol	Rasio
Ukuran sedimen	D_r	$H_r^2 L_r^{-1} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)_r^{-1}$
Debit air	Q_r	$L_r \cdot (H_r)^{3/2}$
Waktu Sedimen	t_r	$H_r \cdot L_r \cdot S_r^{-1}$

Sumber: Anonim, 2014

2.3. Computation Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah pengetahuan tentang kalkulasi aliran fluida dan variabel yang berhubungan menggunakan komputer. Pada umumnya badan fluida dibagi menjadi *cell* atau elemen yang

membentuk grid. Lalu persamaan untuk variabel yang tidak diketahui diselesaikan pada masing-masing *cell*. Hal ini membutuhkan beberapa sumber perhitungan substansial. Oleh karena itu, ilmu ini belum berkembang ke tahap praktis sampai saat ini. Di tahun-tahun mendatang, CFD akan semakin digunakan dalam rekayasa hidrolis dan sedimentasi. karena itu penting bahwa mahasiswa teknik diberikan wawasan topik ini (Olsen, 1999:5).

2.4. Pemodelan Numerik Menggunakan Program SSIIM2

2.4.1 Definisi dan Tujuan Umum Program SSIIM2

SSIIM adalah singkatan dari *Sediment Simulation in Intakes with Multiblock Option*. Program ini dibuat untuk kebutuhan *engineering* di bidang sungai, lingkungan, hidrolis maupun sedimentasi. Pada mulanya program ini dibuat untuk mensimulasikan pergerakan sedimen pada geometri sungai. Selanjutnya penggunaan program ini diperluas untuk topik-topik ilmu teknik hidrolis lainnya, seperti pemodelan *spillway*, perhitungan kehilangan tinggi (*head loss*) pada saluran tertutup, kekeruhan aliran dan sebagainya.

Keunggulan utama program SSIIM2 adalah kemampuan pemodelan transportasi sedimen dengan dasar bergerak pada geometri yang kompleks. Termasuk algoritma untuk berbagai pemrosesan sedimen yaitu pendataan, *bed load* dan *suspended load*, bentuk dasar sungai dan efek dari kemiringan dasar saluran. (Olsen, 2014:9)

2.4.2. Sistematika pemodelan

Sama seperti pemodelan numerik *multi dimensional* lainnya, pemodelan menggunakan program SSIIM dibagi menjadi 3 yaitu *pre-processing*, *calculation*, dan *post-processing*.

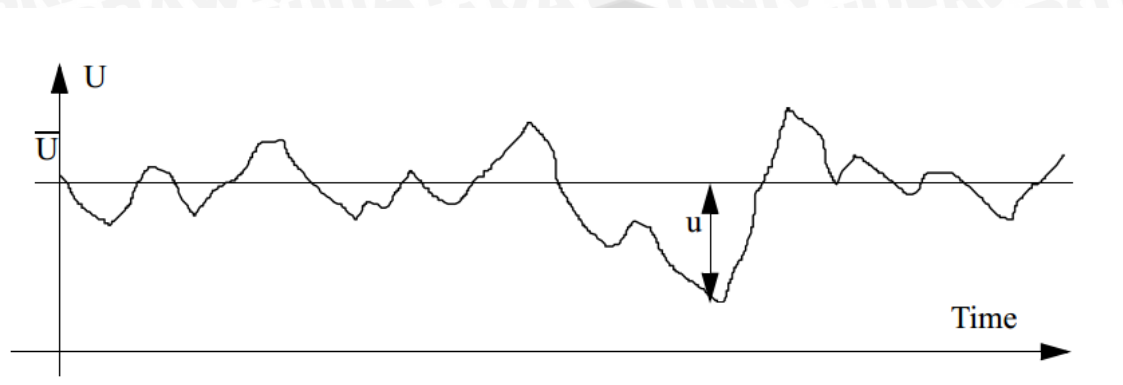
Pre-processing merupakan pembuatan grid dan input untuk keperluan pemodelan. Program SSIIM menggunakan *grid generator* untuk membantu membuat grid. *Post-processing* adalah pengamatan hasil model. Pembuatan grafis model harus dibuat untuk memodelkan menggunakan SSIIM. Pekerjaan grafis juga bisa dilakukan menggunakan paket grafis lain seperti *Tecplot* atau *ParaView*. Sedangkan *calculation* adalah perhitungan mengenai kecepatan aliran, analisa aliran sedimen, perubahan elevasi dasar saluran, perubahan elevasi aliran dan/atau kualitas air. Masing-masing perhitungan dilakukan menggunakan modul yang tersedia di dalam SSIIM.

Dalam menjalankan model pada SSIIM 2, program ini secara otomatis akan menulis (*write*) beberapa file ekstensi pada lokasi penyimpanan proyek, antara lain *control* dan *coordina*, yang dapat dibuka menggunakan aplikasi Notepad. Dua *file* berfungsi sebagai kontrol variabel dan dimensi pada model yang akan dibuat. Khusus untuk SSIIM 2, terdapat file ekstensi tambahan yaitu *unstruc* sebagai *output* dimensi dari obyek yang akan dimodelkan.

2.4.3. Teorema Komputasi Menggunakan Aplikasi SSIIM 2

A. Perhitungan Kecepatan

Pada pemodelan numerik menggunakan SSIIM 2, perhitungan kecepatan diproses dengan menggunakan persamaan *Navier-Stokes*. Persamaan didapat dari dasar keseimbangan gaya pada volume air pada aliran laminar. Sedangkan untuk aliran turbulen, umumnya digunakan persamaan *Reynold*.



Gambar 2.1. Grafik *time series* kecepatan pada aliran turbulen

Sumber: Olsen, 1999:34

Kecepatan dipisah menjadi rata-rata nilai $\bar{U}$, dan nilai u dinamis. Dua variabel tersebut dimasukkan ke persamaan *Navier-Stokes* untuk aliran laminar, dan setelah beberapa manipulasi dan simplifikasi, persamaan *Navier-Stokes* untuk aliran turbulen adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P \delta_{ij} - \rho \overline{u_i u_j}) \quad (2-18)$$

P adalah tekanan dan δ_{ij} adalah *Kronecker delta*, yaitu 1 jika $i=j$ dan 0 jika $i \neq j$. ketentuan terakhir adalah terminologi tekanan reynold, yang dimodelkan dengan pendekatan *Boussinesq*:

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \rho \nu_T \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2-19)$$

Dimana k adalah energi kinetik turbulen. (Olsen, 1999:34)

B. Proses Transportasi Sedimen

Ada dua proses transportasi inti untuk transportasi sedimen suspensi, yaitu konvektif dan difusi. Konvektif sedimen adalah transportasi oleh kecepatan air rata-rata. Transportasi

dikarenakan *fall velocity* dari sediments juga merupakan tipe transportasi konvektif. Ketika menghitung flux, F , melalui permukaan dengan area A , persamaan yang digunakan adalah:

$$F = c \cdot U \cdot A \quad (2-20)$$

U adalah kecepatan rata-rata dari sedimen normal menuju permukaan dan c adalah konsentrasi sedimen rata-rata pada suatu luasan. Kecepatan sedimen akan menjadi jumlah dari kecepatan air dan *fall velocity* sedimen. (Olsen, 1999:16)

C. Komputasi Local Scour

Memodelkan *local scour* mulanya membutuhkan pemodelan water flow di sekitar bangunan. Tegangan geser dasar dapat dimunculkan, dan memungkinkan untuk menilai potensial erosi. Jika pergerakan dasar sudah terprediksi, memungkinkan untuk memperkirakan bentuk dan besaran dari lobang gerusan. Lalu komputasi menggunakan geometri terkoreksi dapat dilaksanakan. Setelah beberapa percobaan, memungkinkan untuk mengestimasi ukuran lobang gerusan. Pendekatan ini pernah digunakan oleh Richardson dan Panchang (1998).

Algoritma yang digunakan untuk dasar yang memiliki kemiringan adalah:

1. Reduksi pada tegangan geser kritis.
2. Pergeseran dasar saluran

Jika kemiringan dasar menghadap atas atau menyamping dibandingkan dengan *vector* kecepatan, tegangan geser kritis pada partikel akan berubah. Factor pertambahan, K , sesuai dengan fungsi sloping bed oleh Brooks (1963):

$$K = -\frac{\sin \phi \sin \alpha}{\tan \theta} + \sqrt{\left(\frac{\sin \phi \sin \alpha}{\tan \theta}\right)^2 - \cos^2 \phi \left[1 - \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta}\right)^2\right]} \quad (2-21)$$

Sudut diantara arah aliran dan garis normal menuju bidang dasar dinotasikan dengan α . Sudut kemiringan dinotasikan dengan ϕ , dan sudut perubahan sedimen dinotasikan dengan θ . θ adalah parameter empirik berdasarkan studi pengamatan pada saluran. Faktor K kemudian dikalikan dengan tegangan geser kritis pada permukaan horizontal untuk menentukan tegangan geser kritis efektif untuk partikel sedimen. (Olsen, 2001:21)

D. Implementasi pada SSIIM 2.

Grid disekitar objek harus dibuat. Biasanya proses *outblocking* pada grid digunakan untuk memodelkan geometri. Jika akan membuat *outblocking*, data set G13 harus ditulis didalam control file.

Data pada jenis sedimen diberikan dengan menulis data set S pada *control file*. Data set S memberikan ukuran partikel dan diameter untuk klasifikasi sedimen yang akan dimasukkan. Untuk distribusi ukuran sedimen yang tidak seragam, beberapa ukuran partikel dapat dimodelkan secara bersamaan. Masing-masing ukuran diberikan pada satu data set S. Data set diberi nomor notasi, sehingga data paling kasar diberikan dengan data set S 1, untuk data paling kasar kedua diberikan data set S 2, dan seterusnya. Untuk fraksi masing-masing ukuran sedimen pada material dasar diberikan menggunakan data set N. Notasi data set N menyesuaikan dengan data set S.

Algoritma untuk reduksi tegangan geser dimunculkan dengan data set F 7 B pada *control file*. Parameter kemiringan pada rumus Brook diberikan dengan data set F 109.

Sedangkan algoritma pergeseran dasar saluran dimunculkan dengan data set F 56. Dua angka yang dituliskan pada data set F 56 adalah *integer* kemudian *float*. *Float* adalah tan (perubahan sudut). Ketika garis *grid* lebih curam daripada yang ditentukan, maka algoritma pergeseran dasar akan memberikan koreksi. Bagaimanapun juga setelah koreksi, garis *grid* disekitarnya bisa jadi lebih curam daripada yang ditentukan walaupun setelah mengalami proses koreksi. Untuk menangani masalah ini, semua garis harus diperiksa. (Olsen, 2001:22)

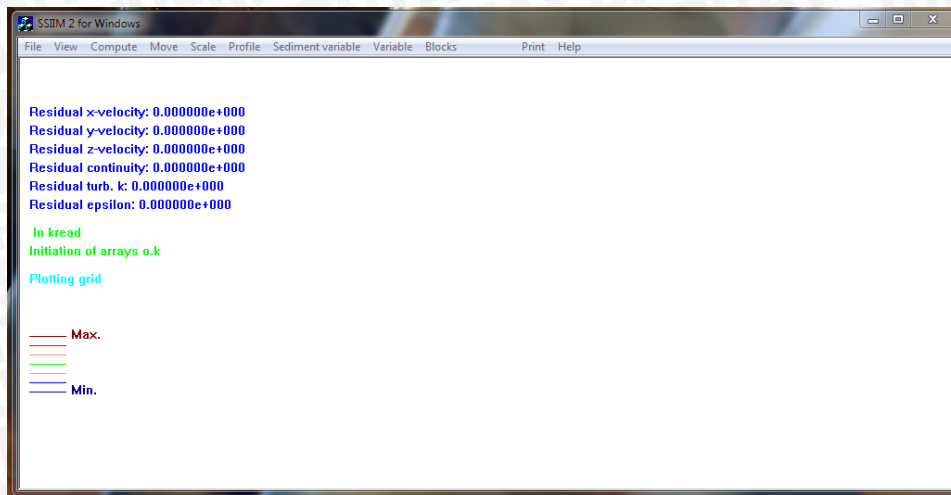
2.4.4. Tahap Pembuatan Model Numerik

Dalam program SSIIM 2, tahapan pembuatan dibagi menjadi 4 langkah yaitu:

- a. Pembuatan *grid*

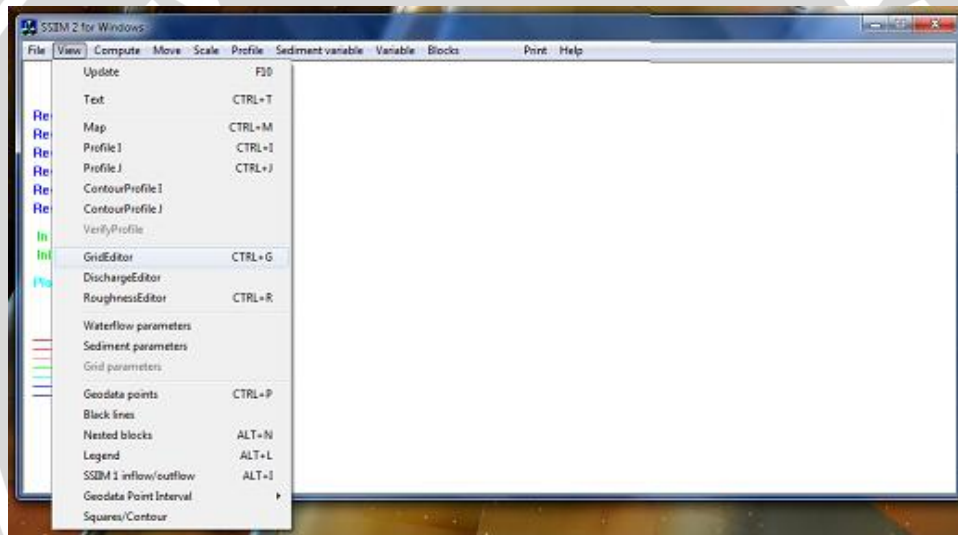
Langkah ini adalah dimana dimensi dari obyek dibuat. Untuk SSIIM 2, langkah ini dibuat di dalam program SSIIM. Berikut adalah urutan pembuatan *grid* pada program SSIIM 2:

1. Masuk pada *interface* utama SSIIM 2.



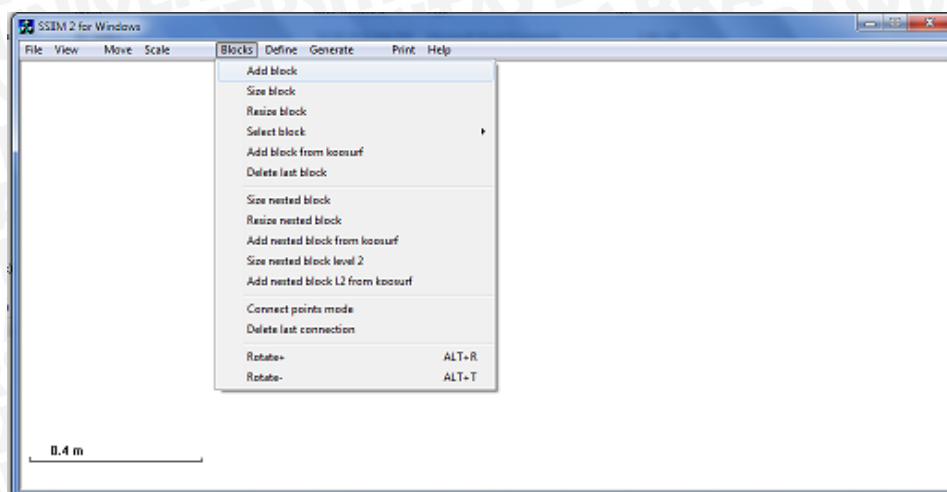
Gambar 2.2. *Interface* utama SSIIM 2

2. Klik View – Grid Editor

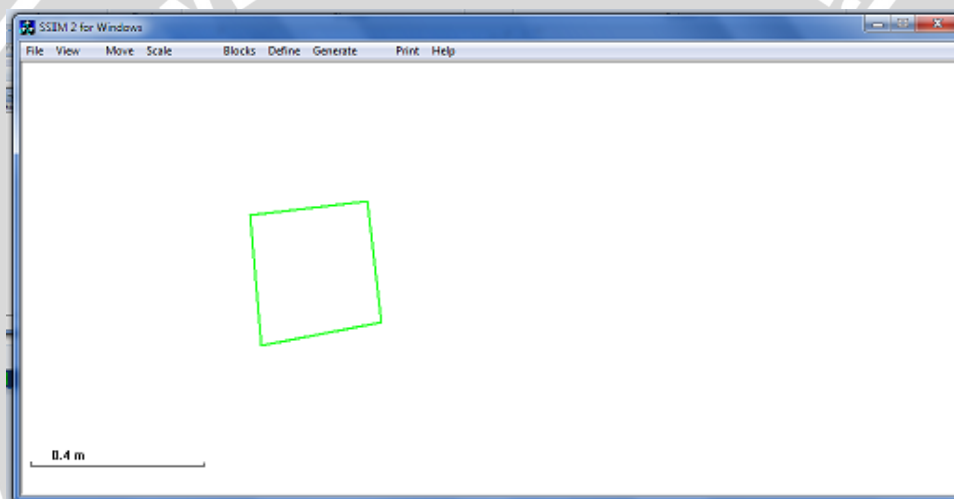


Gambar 2.3. Memunculkan *grid editor*

3. Klik *Block – Add Block*, lalu buat *grid* sesuai kebutuhan.

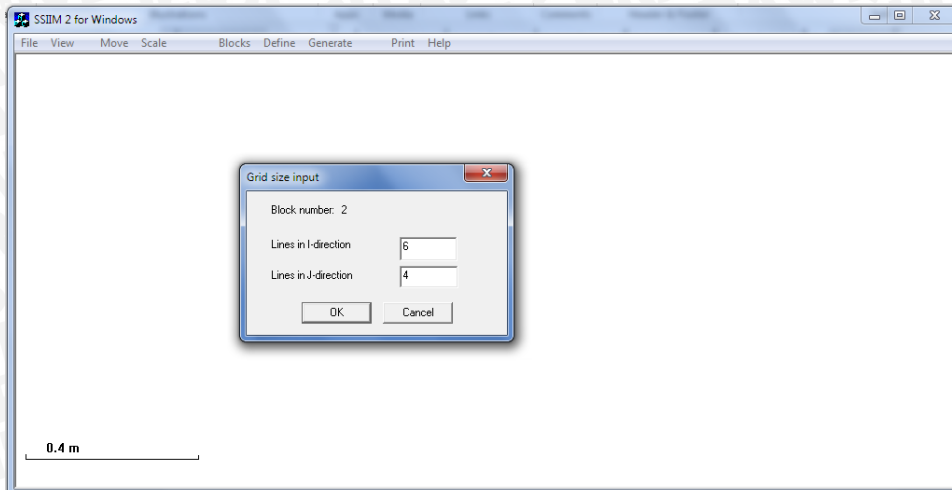


Gambar 2.4. Menambahkan *block* pada SSIM 2

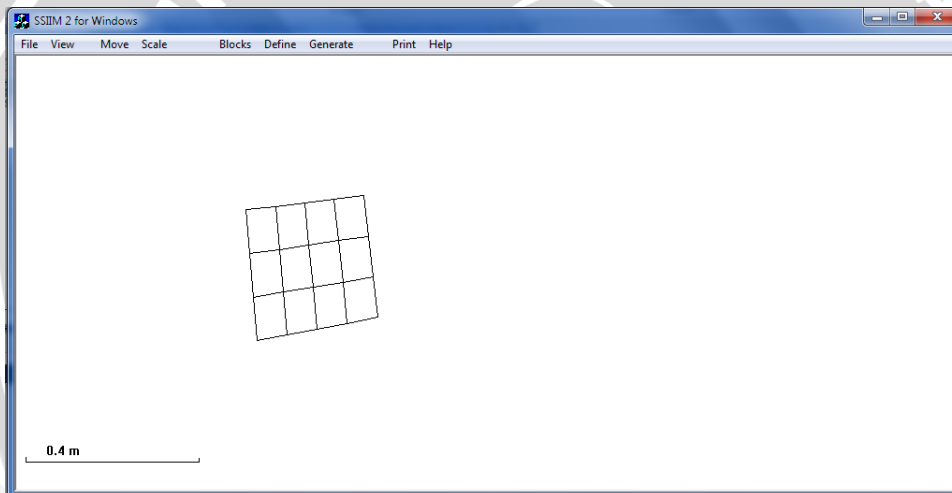


Gambar 2.5. Proses pembuatan *block*

4. Atur *Size Block* sesuai kebutuhan, klik *Block – Size Block*



Gambar 2.6. Pemberian ukuran *block*

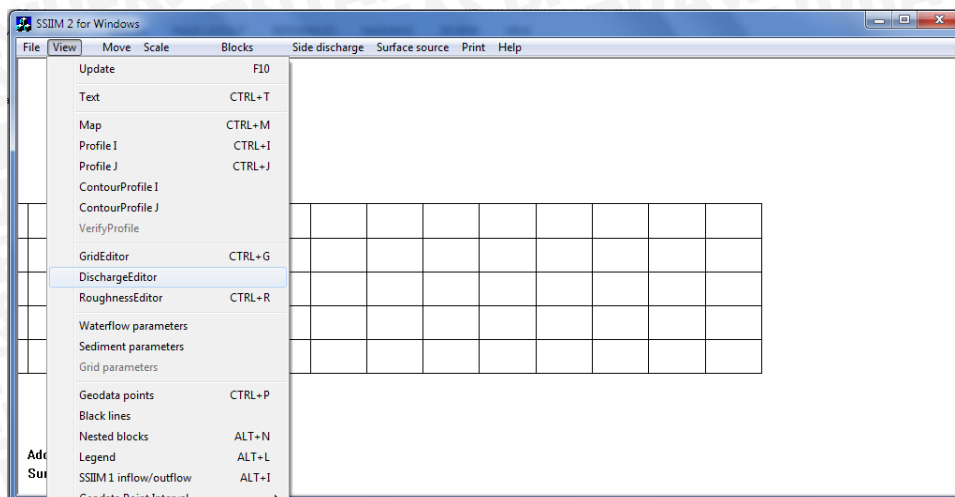


Gambar 2.7. Hasil *block*

b. Penentuan spesifikasi pelepasan fluida

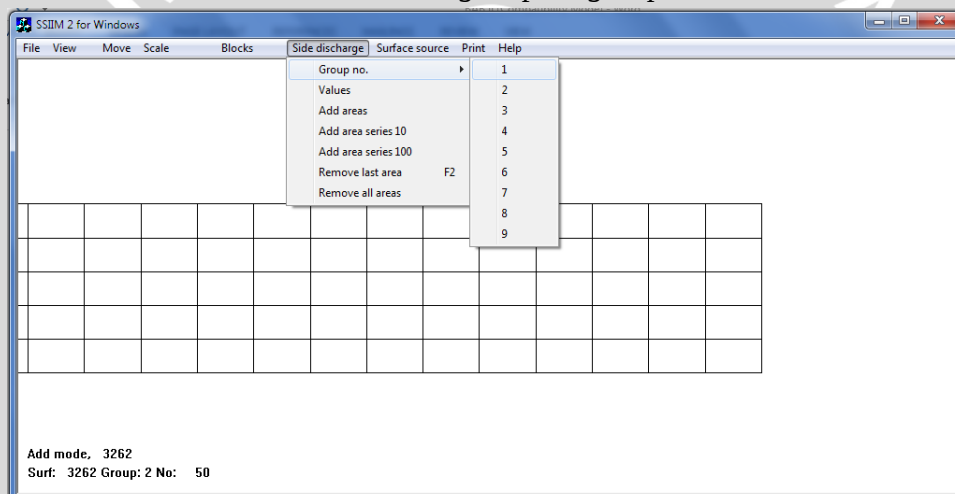
Ini adalah pemasukan input debit *inflow* dan *outflow* yang akan dimodelkan. Dengan syarat debit *inflow* dan *outflow* harus sama.

1. Klik view – *discharge editor*



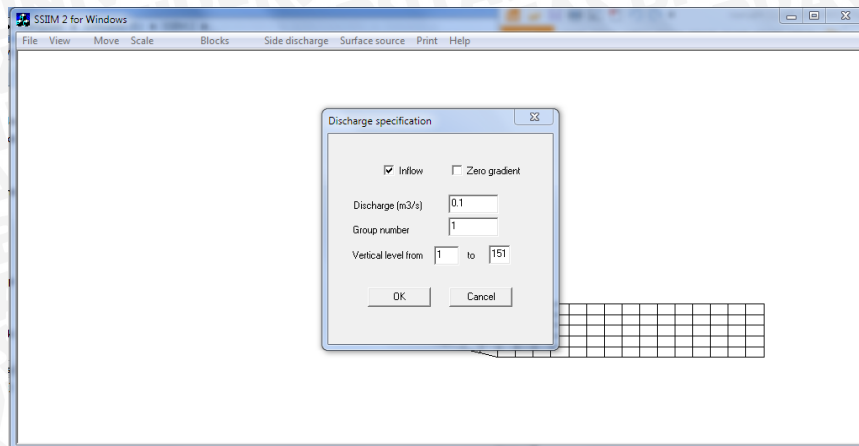
Gambar 2.8. Memunculkan *discharge editor*

2. Atur debit inflow, klik *side discharge* – pilih *group 1*



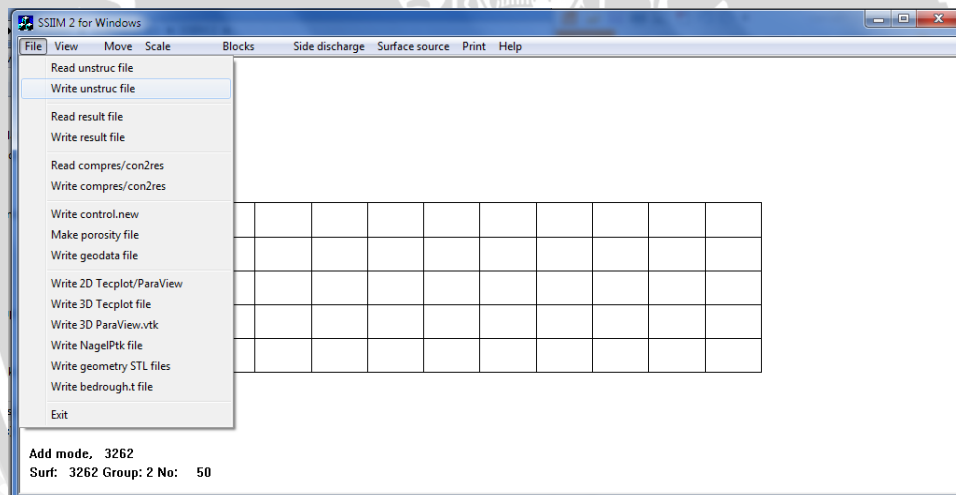
Gambar 2.9. Penentuan grup pada *discharge editor*

3. Atur debit inflow sesuai dengan data model, lalu klik pada bagian kiri (hulu) model.



Gambar 2.10. Proses input data debit

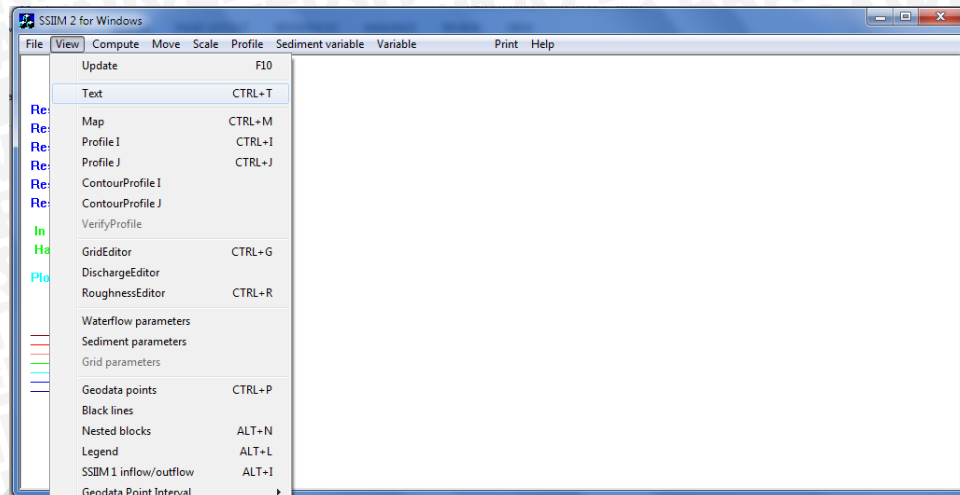
4. Dengan cara yang sama, pilih *group 2* atur debit outflow, hilangkan centang pada dialog box inflow, lalu klik bagian kanan (hilir) model.
5. Save data dengan cara *file – write unstruck file*



Gambar 2.11. Proses penyimpanan *unstruc file*

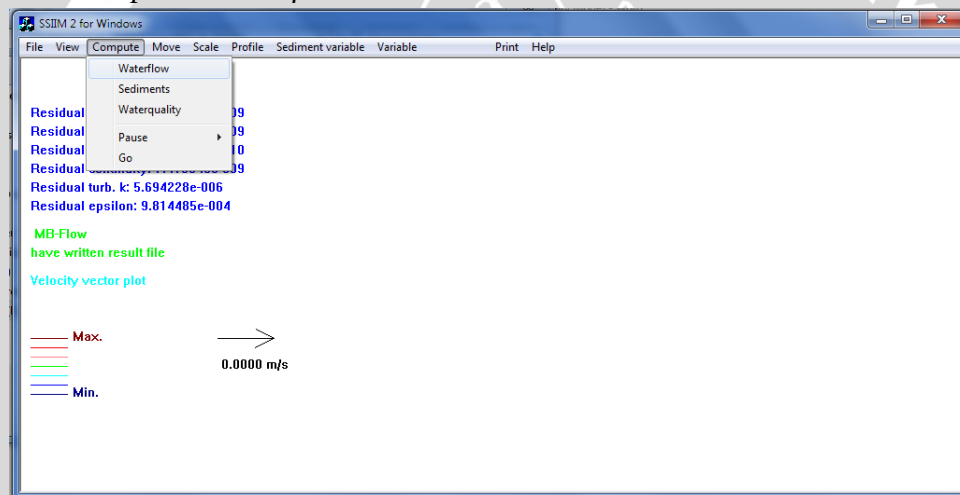
c. Pemrosesan perhitungan kecepatan (*velocities*)

1. Pilih View – Text



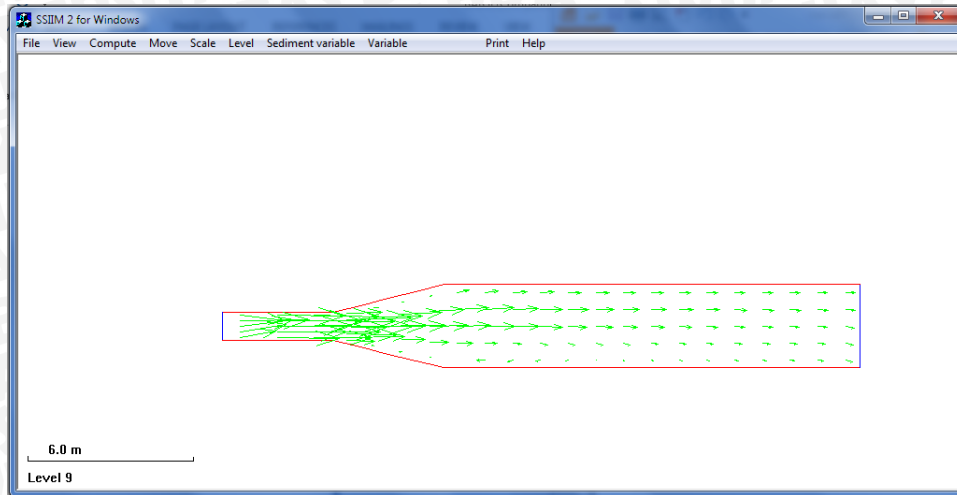
Gambar 2.12. Tahap komputasi awal

2. Pilih *compute – waterflow*



Gambar 2.13. Tahap komputasi

3. Tekan F10 pada keyboard sehingga program menghitung atau *running* model sesuai data geometri dan debit.
4. Untuk melihat hasilnya pilih view – *map*, lalu dapat dilihat masing-masing hasil sesuai variabel yang diinginkan. Dibawah merupakan contoh hasil *velocity vector*



Gambar 2.14. Tampilan hasil komputasi (*velocity factor*)

2.5. Lebar Efektif Pelimpah

Pada saat terjadi pelimpahan air melintasi mercu suatu pelimpah terjadi kontraksi aliran baik pada kedua dinding samping pelimpah maupun di sekitar pilar-pilar yang dibangun di atas mercu pelimpah tersebut, sehingga secara hidraulik lebar efektif suatu pelimpah akan lebih kecil dari lebar keseluruhan pelimpah yang sebenarnya. Dan debit air yang melintasi mercu pelimpah yang bersangkutan selalu didasarkan pada lebar efektifnya, yaitu dari hasil pengurangan lebar sesungguhnya dengan jumlah seluruh kontraksi yang timbul pada aliran air yang melintasi mercu pelimpah tersebut (Sosrodarsono 1989:190).

Rumus yang digunakan untuk menghitung panjang efektif bendung adalah sebagai berikut :

$$L = L' - 2(N.K_p + K_a).H \quad (2-22)$$

dengan :

L = lebar efektif pelimpah (m)

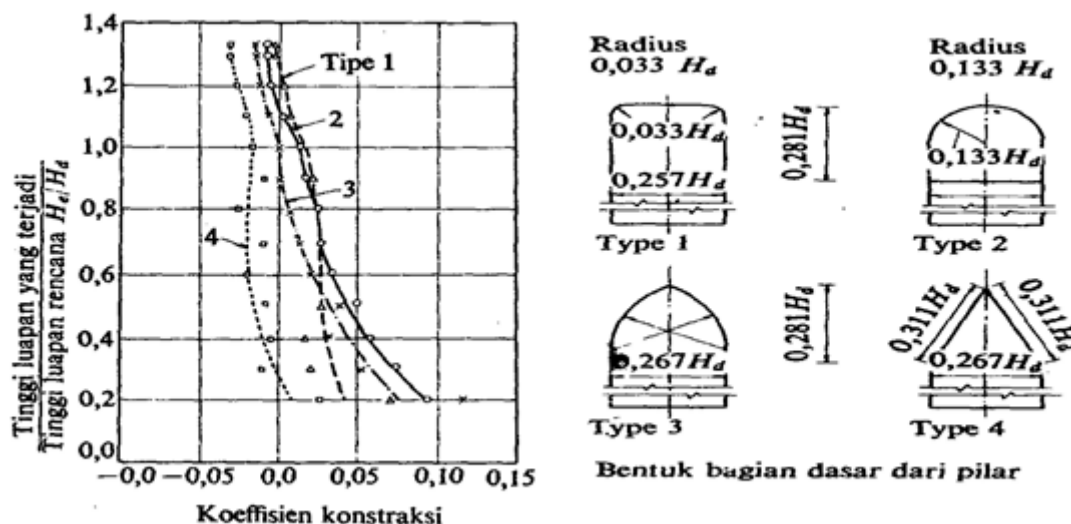
L' = lebar pelimpah sebenarnya (m)

N = jumlah pilar-pilar di atas mercu

K_p = koefisien kontraksi pilar (sesuai gambar 2.6)

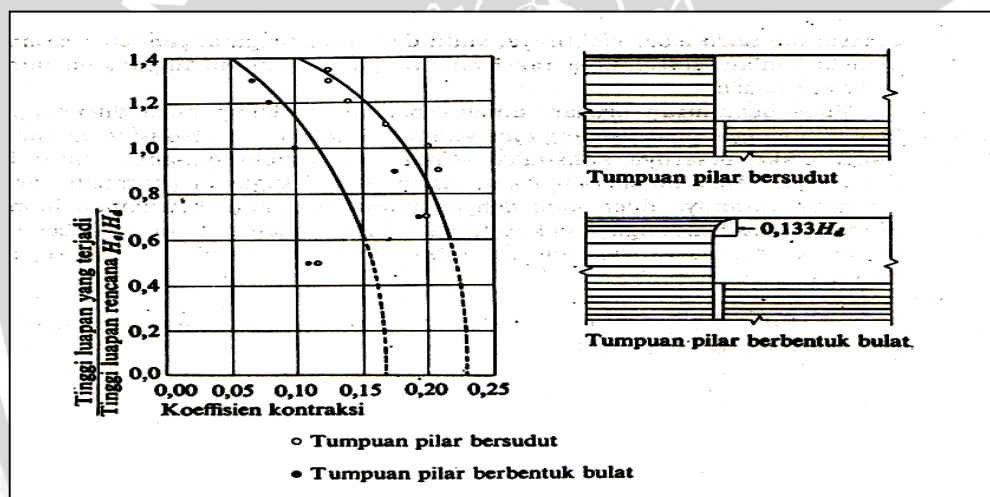
K_a = koefisien kontraksi dinding samping (sesuai gambar 2.7)

H = tinggi tekanan total di atas mercu pelimpah (m)



Gambar 2.15. Koefisien Kontraksi Pilar

Sumber: Sosrodarsono, 1989:183

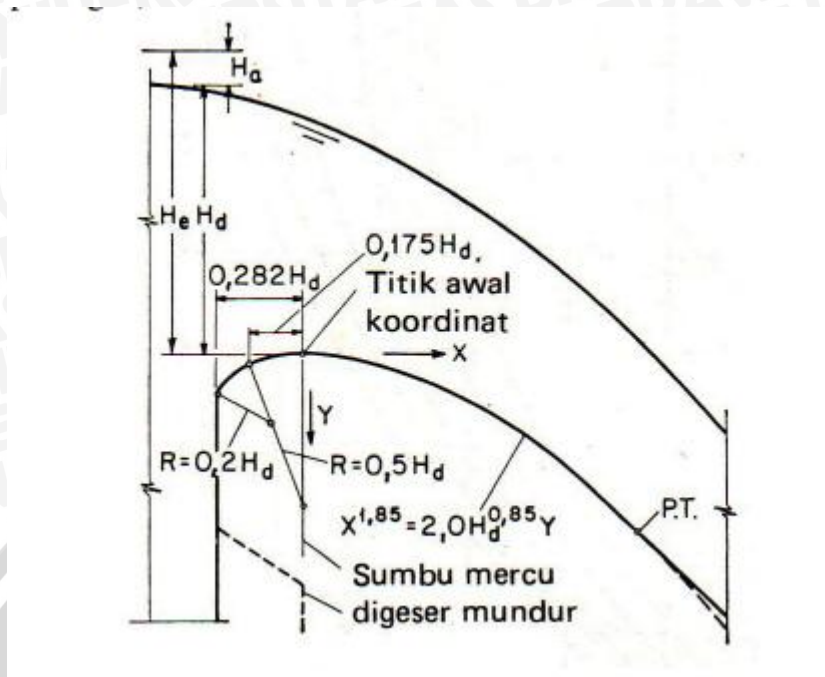


Gambar 2.16. Koefisien Kontraksi Pilar (sesuai dengan bentuk tumpuan)

sumber: Sosrodarsono, 1989:184

2.6. Perencanaan Profil Ambang Pelimpah

Tipe profil ambang pelimpah standar biasanya ditetapkan berdasarkan aliran di atas ambang rencana. Cara pembentukan tipe OGEE ini disebut metode US ARMY. As ambang pelimpah tepat pada puncak ambang. Satu cara lagi disebut metode USBR.

Tipe I (Tegak)

Gambar 2.17. Profil Ambang Pelimpah Tipe I

Sumber: Chow, 1989:330

Berdasarkan metode *The United State Army Corps of Engineers* telah menyusun beberapa bentuk baku pelimpah di *Waterways Experiment Station (WES)*, dinyatakan berdasar lengkung Harrold (Chow 1989: 330):

$$X^n = K \cdot H_d^{n-1} \quad (2-23)$$

Dengan:

X, Y = koordinat profil mercu dengan titik awal pada titik tertinggi mercu,

H_d = tinggi tekan rancangan tanpa tinggi kecepatan dari aliran yang masuk,

K, n = parameter yang tergantung pada kemiringan muka pelimpah bagian hulu.

Tabel 2.3. Nilai K dan n

Kemiringan muka hulu	K	n
Tegak lurus	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
3 : 3	1,873	1,776

Sumber: Chow, (1989: 360)

Dari profil lengkung Harrold, bagian hilir pelimpah dirubah profilnya menjadi garis lurus dengan kemiringan 1 : 1 atau 1 : 0,7 atau berapa saja asal tidak terjadi banyak pembulatan angka.

Pertemuan lengkung Harrold dan garis lurus tersebut harus merupakan garis/bidang singgung sehingga tidak menyebabkan adanya cekungan yang menyebabkan terjadi rongga udara. Rongga udara tersebut akan menyebabkan bahaya kavitasi.

Profil depan dapat ditetapkan dengan persamaan dari US Army sebagai berikut:

$$y = 0,724 \frac{(x + 0,270H_d)^{1,85}}{H_d^{0,85}} + 0,126H_d - 0,4315H_d^{0,375}(x + 0,270H_d)^{0,625} \quad (2-24)$$

Sambungan lengkung Harrold dan garis lereng hulu bendung harus merupakan garis singgung. Titik singgung berkoordinat

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1,85x^{0,85}}{2Hd^{0,85}} = 1 : m \quad (2-25)$$

Yang mana, m adalah kemiringan lereng hulu bendung.

Tekanan di atas ambang, untuk pelimpah dengan tinggi tekan sedang, dan tekanan negatif yang diijinkan sekitar – 1,5 m. Sedangkan untuk pelimpah dengan tinggi tekan besar, U.S.B.R. menetapkan tekanan negatif yang diijinkan – 4,8 m. Tekanan negatif perlu diwaspadai karena menyebabkan beberapa hal yang kurang menguntungkan

- menambah momen guling
- menambah gaya akibat beban berguna pada pintu
- mengurangi kapasitas peralatan yang dikontrol secara otomatis
- menimbulkan getaran pada seluruh konstruksi
- menimbulkan getaran pada lapisan selimut yang menyebabkan retaknya bangunan

Untuk lengkungan di akhir profil ambang pelimpah tidak boleh kurang dari 10 d, d adalah tinggi muka air tegak lurus terhadap kemiringan saluran di awal lengkungan. (Varsney, 1977:596)

2.7. Tinggi Muka Air di Atas Pelimpah dan Tubuh Pelimpah

Kecepatan aliran teoritis pada pelimpah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Chow, 1989:345)

$$V_z = \sqrt{2g(Z + Hd - y_z)} \quad (2-26)$$

$$\frac{Q}{L} = V_z \cdot y_z \quad (2-27)$$

$$F_1 = \frac{V_z}{\sqrt{g \cdot y_z}} \quad (2-28)$$

dengan :

Q = debit aliran (m^3/dt)

L = lebar efektif pelimpah (m)

V_z = kecepatan aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

Z = tinggi jatuh atau jarak vertikal dari permukaan hulu sampai lantai kaki hilir (m)

H_a = tinggi kecepatan hulu (m)

Y_z = kedalaman aliran di kaki pelimpah (m)

F_z = bilangan froude

Sedangkan untuk menghitung tinggi muka air di atas mercu (*crest*) pelimpah, digunakan persamaan dimana kondisi di atas mercu pelimpah dianggap kritis (nilai $Fr = 1$); sehingga :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y_{cr}}} = \left(\frac{Q}{L \cdot y_{cr}} \right) \quad (2-29)$$

$$y_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2-30)$$

dengan :

y_{cr} = tinggi muka air kritis di atas mercu pelimpah (m)

q = debit aliran persatuan lebar ($m^3/dt/m'$)

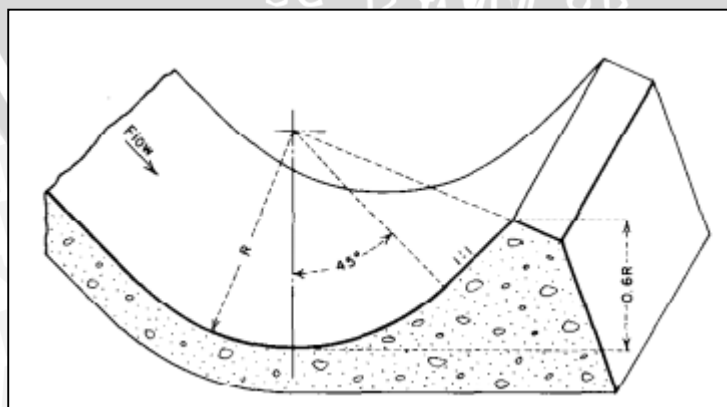
g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

2.8. *Stilling Basin*

Tujuan perencanaan kolam peredam energi (*stilling basin*) adalah untuk mengurangi aliran energi yang datang melalui pelimpah dengan merubah aliran super kritis menjadi subkritis. Selain kondisi hidrolika yang dideskripsikan dengan *Froude number* dan kedalaman hilir, kondisi dasar saluran dan jenis sedimen juga berpengaruh dalam pemilihan tipe kolam peredam energi.

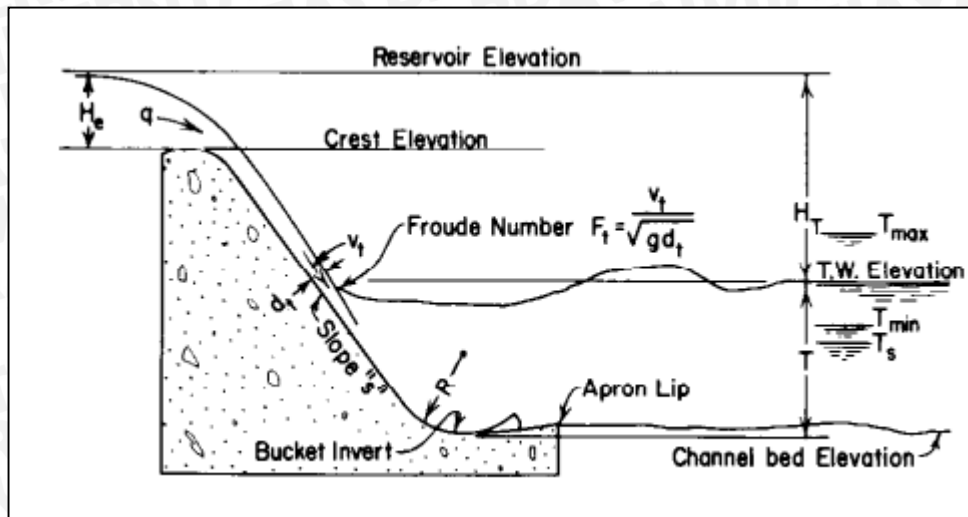
Submerged Bucket Dissipators

Ketika kedalaman *tailwater* terlalu besar untuk loncatan hidrolis, besarnya energi dapat diredam menggunakan tipe kolam *submerged bucket dissipator*. Perilaku hidrolika pada kolam tipe ini utamanya berbentuk dua penggulung, satu terjadi pada permukaan bergerak berlawanan arah jarum jam, dan terdapat didalam bagian atas lengkungan *bucket*, yang lainnya terdapat pada dasar *roller* bergerak searah jarum jam, dan terletak pada hilir dari *bucket*. (Anonim, 1987:398)



Gambar 2.18. Peredam Energi tipe Roller Bucket

Sumber: Anonim, 1987:398

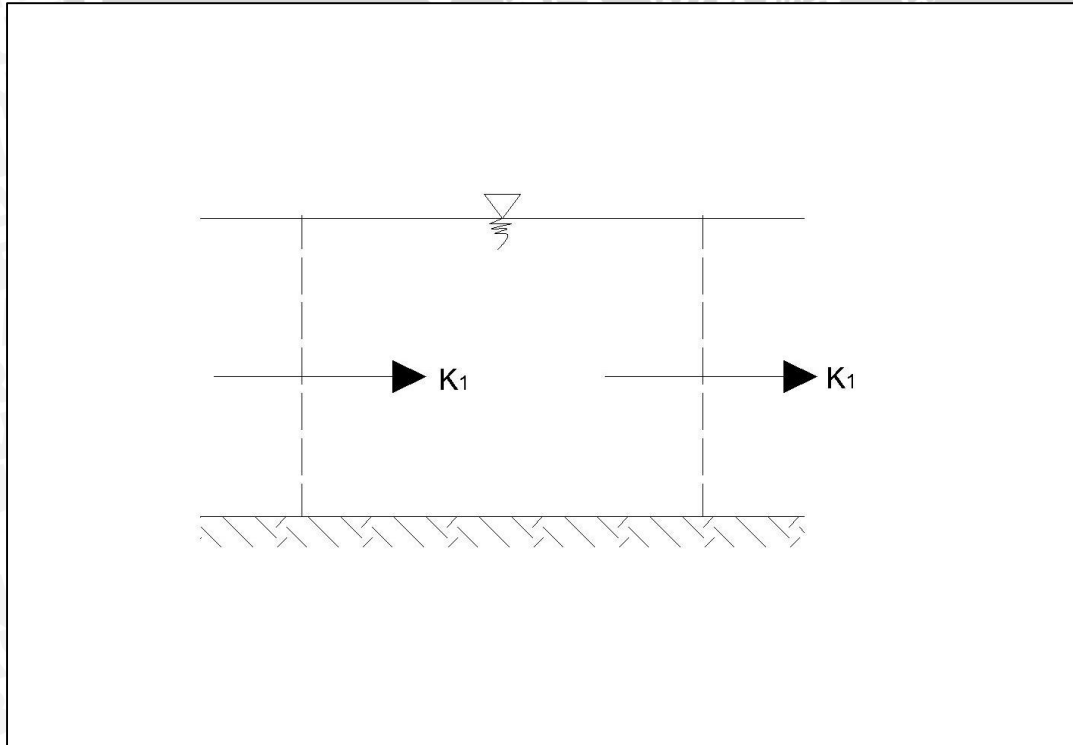


Gambar 2.19. Definisi Simbol dalam Peredam Energi Tipe Roller Bucket

Sumber: Anonim, 1987:402

2.9. Transportasi Sedimen

Tujuan pokok pengetahuan tentang “Pengangkutan Sedimen” adalah untuk mengetahui suatu sungai dalam keadaan tertentu apakah akan terjadi penggerusan (degradasi), pengendapan (aggradasi) atau mengalami angkutan seimbang (equilibrium transport), dan untuk memprakirakan kuantitas yang terangkut dalam proses tersebut.



Gambar 2.20. Hubungan perbedaan kecepatan dengan kondisi sedimen

Sumber: Priyantoro, 1987:1

- a. Bila $K_1 < K_2 \rightarrow$ penggerusan
- b. Bila $K_1 = K_2 \rightarrow$ seimbang
- c. Bila $K_1 > K_2 \rightarrow$ pengendapan

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

1. *Wash Load* (Muatan Cuci), yaitu partikel yang sangat halus bergerak melayang di bagian atas aliran dan tidak mengendap di dasar sungai
2. *Suspended Load* (Muatan Layang), yaitu partikel yang bergerak dalam pusaran aliran yang cenderung terus-menerus melayang dengan aliran.
3. *Bed Load* (Muatan Dasar), yaitu partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, melucur dan meloncat (Priyantoro, 1987:1)

2.10. Sifat Material Transportasi Sedimen

Beberapa sifat sedimen yang sering digunakan dalam studi transportasi sedimen antara lain:

- Ukuran
- Bentuk
- Kerapatan/kepadatan
- *Fall velocity*
- Porositas

(Breuseurs, 1983: 14)

2.11. *Fall Velocity*

Kecepatan jatuh (*fall velocity*) merupakan parameter penting dalam studi sedimentasi dan suspensi. Kecepatan jatuh dijelaskan pada persamaan yang mengatur *equilibrium* (keseimbangan) diantara gaya gravitasi dan gaya lawan dari aliran (*resistance*).

$$\frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g = c_D \cdot \frac{1}{2} \rho_w W^2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2-31)$$

Dengan: C_D = koefisien Tarik

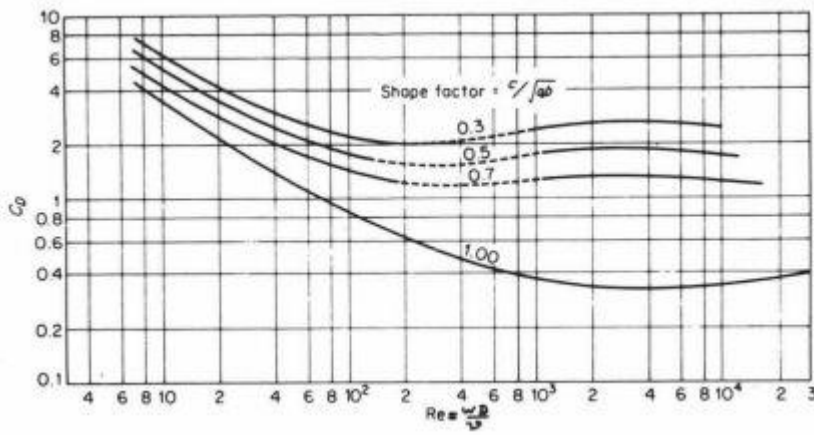
W = kecepatan jatuh (*fall velocity*)

Dari persamaan tersebut didapat :

$$W = \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{g D}{c_D} \cdot \Delta \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-32)$$

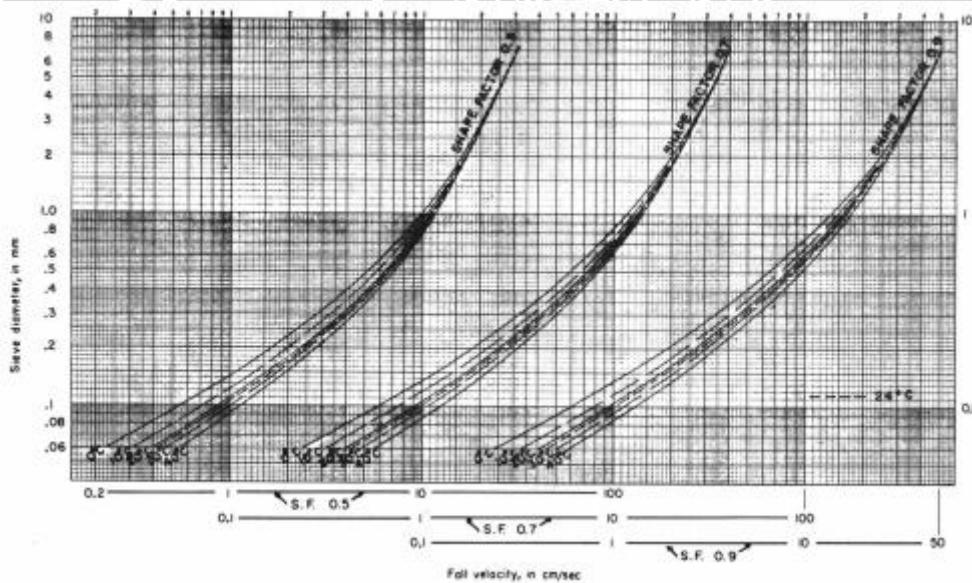
Dengan: $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$

Nilai dari C_D bervariasi tergantung pada besaran Reynold $W.D/v$ dan bentuk dari partikel tersebut.



Gambar 2.21. Hubungan antara C_D dengan bilangan Reynold

Sumber: Breusers, 1983



Gambar 2.22. Hubungan antara *fall velocity* dengan *sieve diameter* dan *shape factor*

Sumber: Breusers, 1983

2.12. Local Scour

Local scour (gerusan lokal) disebabkan oleh gangguan aliran dan area transportasi sedimen. Sebagai contoh gerusan disekitar pilar jembatan dan gerusan pada hilir bendung. Pada semua kasus diatas semua penambahan kecepatan lokal akan memberikan penambahan kapasitas transportasi lokal. Didapat dari persamaan kontinuitas (Breuseurs, 1983:86) :

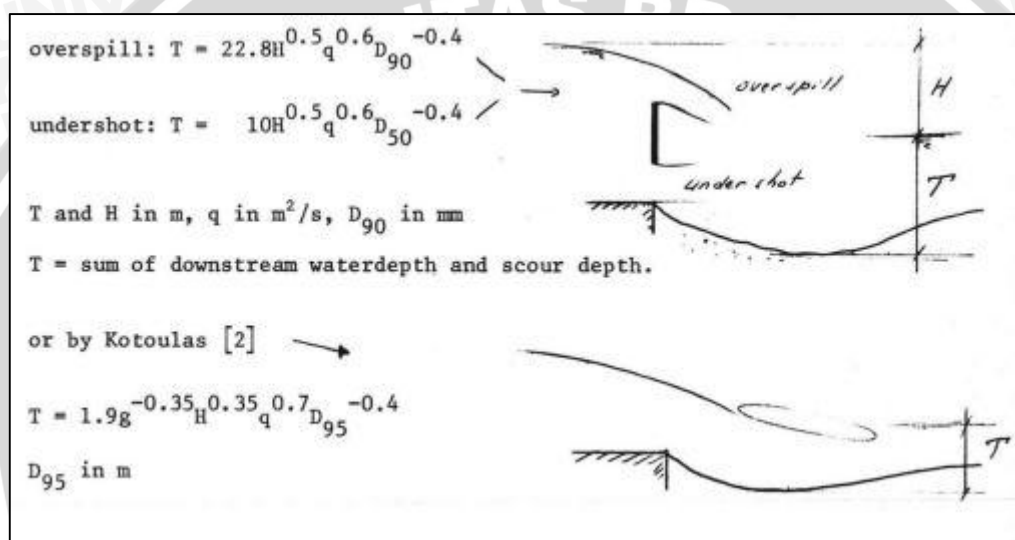
$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial S}{\partial x} \quad (h = \text{depth}, S = \text{transport}) \quad (2-33)$$

2.13. Gerusan pada Hilir Suatu Konstruksi

Konstruksi bendung (*weir*) dapat merubah kondisi perpindahan sedimen dan menyebabkan gerusan lokal (*local scour*). Pada literatur ini dapat diketahui beberapa pendekatan:

2.13.1. Persamaan untuk Kedalaman Gerusan Imbang Hilir Bendung

Persamaan ini pada dasarnya untuk material kasar ($d > 1 \text{ mm}$). Sebagai contoh diberikan persamaan Eggenberger and Muller



Gambar 2.23. Penentuan kedalaman gerusan

Sumber: Breusers, 1983

2.13.2. Persamaan untuk Sungai Dengan Dasar Pasir.

Berdasarkan persamaan Lacey (teori Blench, 1957), untuk permulaan menggunakan kedalaman d_r sebagai berikut:

$$d_{r,3} = 0.473(Q/f)^{1/3} \quad (\text{m}) \quad (2-34)$$

Q = total discharge (m^3/dt)

Atau jika aliran dibatasi oleh lebar:

$$d_{r,2} = 1.34q^{2/3}.f^{-1/3} \quad (\text{m}) \quad (2-35)$$

Q = discharge per m^2 (m^2/dt)

f = silt factor, umumnya digunakan $1.76D^{0.5}$ D dalam mm

Kedalaman total gerusan T (jumlah kedalaman air asli dengan kedalaman gerusan) diambil sebagai kelipatan dari kedalaman yang seharusnya.

Untuk gerusan dekat tiang jembatan	$T = 2 d_r$
Untuk gerusan pada dalam tanggul dan saluran pengatur	$T = 2 \text{ s.d } 2.75 d_r$
Untuk aliran tegak lurus dengan badan sungai	$T = 2.25 d_r$
Untuk hilir bendung dengan lompatan hidraulik pada lantai peredam energy	$T = 1.75 \text{ s/d } 2.25 d_r$

(Breuseurs, 1983: 95)

2.14. Perpindahan Material Dasar Sungai

Perpindahan material dasar sungai dapat dibedakan menjadi *bed load* dan *suspended load*. Masing-masing jenis perpindahan memiliki pengaruh pada proses erosi dan perubahan posisi. Banyak persamaan antara transportasi sedimen dengan kondisi aliran berdasarkan tegangan geser dasar sungai. Tegangan geser dasar sungai dibedakan menjadi 2 (dua) bentuk yaitu tarikan bentukan (*form drag*) dan kekasaran butir (*grain roughness*). Yang akan digunakan dalam studi transportasi sedimen adalah kekasaran butir. Pengukuran kedalaman air dan kemiringan dasar dapat digunakan untuk menghitung total tegangan geser dasar sungai yang sesuai dengan perpindahan material

Bed Load

Pendugaan perpindahan sedimen digunakan menggunakan beberapa tipe model fisik untuk mengetahui hubungan transportasi sedimen dengan beberapa variabel yang tidak berdimensi. Persamaan transportasi sedimen yang sering digunakan adalah:

$$\phi = S / [D^{3/2} (g\Delta)^{1/2}] \quad (2-36)$$

S = volume perpindahan (m^3/ms)

$\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$

D = Ukuran butir

Persamaan lain yang digunakan dalam perhitungan perpindahan material dasar sungai adalah:

1. Du Bois (1879)

Persamaan Du Bois memodelkan lapisan-lapisan sedimen bergerak relatif antara satu dengan yang lain. Angka yang digunakan adalah angka proporsional τ_o / τ_{cr} .

$$S = \text{const. } \tau_o (\tau_o - \tau_{cr}) \quad (2-37)$$

2. Kalinske (1947)

Kalinske mengasumsikan bahwa butiran berpindah pada suatu lapisan pada ketebalan D dengan kecepatan butir U_g yaitu:

$$U_g = b (U_o - U_{cr}) \quad (2-38)$$

Dengan:

U_o = kecepatan fluida pada butir

U_{cr} = kecepatan kritis pada saat butir mulai bergerak.

Untuk U_o distribusi normal diasumsikan:

$$f(U_o) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp. \left[-\frac{(U_o - \bar{U}_o)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2-39)$$

3. Meyer – Peter and Muller (MPM)

MPM melakukan percobaan pada saluran lebar dengan pasir kasar. Percobaan ini menghasilkan persamaan empiris yaitu:

$$\phi = (4\psi' - 0.188)^{3/2} \quad (2-40)$$

(Breuseurs, 1983:56)

2.15. Lindungan Terhadap Gerusan

Bangunan yang dibuat di sungai akan menyebabkan terganggunya aliran normal dan akan menimbulkan pola aliran baru di sekitar bangunan, yang dapat menyebabkan terjadinya penggerusan lokal/setempat (*local scouring*) di dasar dan tepi sungai. Adalah mungkin untuk melindungi bagian sungai di sekitar bangunan utama terhadap efek penggerusan semacam ini. Harap dicatat bahwa konstruksi-konstruksi lindung yang dibicarakan di sini tidak akan bermanfaat untuk mengatasi penurunan dasar sungai yang meliputi jangka waktu lama (degradasi). Hanya perencanaan bangunan itu sendiri yang akan mampu melindungi bangunan itu terhadap degradasi sungai. (Kriteria Perencanaan : 2008)

2.16. Lindungan dasar sungai

Penggerusan lokal di hilir kolam olak dapat diatasi dengan lindungan dari pasangan batu kosong. Jika di daerah itu cukup tersedia batu-batu yang berkualitas baik dan beratnya memadai, maka dapat dibuat lapisan pasangan batu kosong. Bila direncana dengan baik,

lapisan ini sangat menguntungkan dan awet. Agar tanah asli tidak hanyut, maka pasangan batu kosong sebaiknya selalu ditempatkan pada filter yang sesuai.

Bronjong merupakan alternatif yang bagus, jika hanya batu-batu berukuran kecil saja yang tersedia, misalnya batu kali. Bronjong pun, karena merupakan perlindungan terbuka, sebaiknya ditempatkan pada filter yang sesuai: filter pasir-kerikil atau filter kain sintetis.

Bronjong tidak boleh digunakan untuk bagian-bagian bangunan utama yang permanen. Bronjong paling sesuai untuk konstruksi pengaturan sungai.

Pada umumnya tidak dianjurkan untuk memakai lindungan tertutup seperti pasangan batu di hilir bangunan di sungai, karena ini akan memperpanjang jalur rembesan dan menambah gaya tekan ke atas (uplift).

Penggerusan lokal tepat di hulu tubuh bendung atau pilar bendung gerak, umum terjadi. Perlindungan terhadap penggerusan semacam ini adalah dengan membuat pasangan batu atau lantai beton di depan bangunan. Disini lindungan tertutup akan menguntungkan karena akan dapat mengurangi gaya tekan ke atas.

Karena pengaruh percepatan aliran biasanya jauh lebih kecil daripada pengaruh penurunan kecepatan, maka panjang lindungan hulu terhadap gerusan lokal akan berkisar antara 2 sampai 3 kali kedalaman air rencana. Di hilir, panjang lindungan ini sekurang-kurangnya 4 kali kedalaman lubang gerusan. (Kriteria Perencanaan : 2008)

