

BAB II KAJIAN PUSTAKA

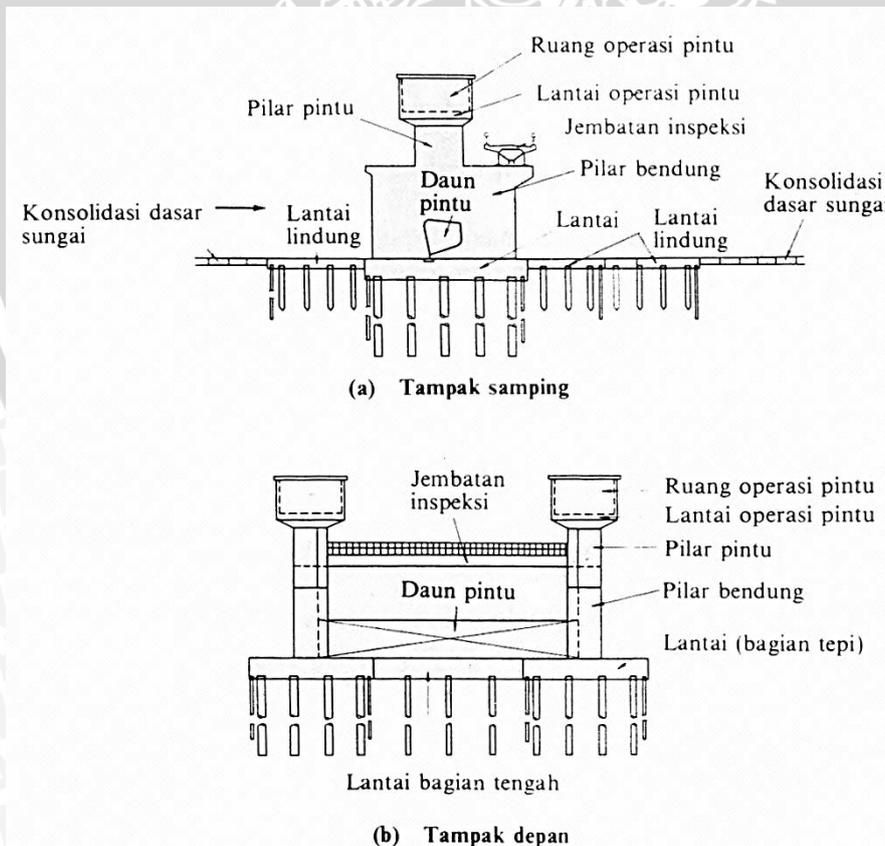
2.1. Bendung Gerak

2.1.1. Umum

Bendung gerak terdiri dari lantai pilar bendung, pilar pintu, daur pintu, mekanisme pengaturan pintu, panel pengaturan pintu, ruang operasi pintu dan jembatan inspeksi. Untuk bendung gerak yang besar biasanya dilengkapi dengan kantor administrasi. Lantai, pilar bendung dan pilar pintu bendung gerak umumnya terbuat dari beton bertulang dan harus aman terhadap guling dan gelincir.

Tipe bendung gerak ini hanya dibedakan dari bentuk pintu-pintunya antara lain:

- a) Pintu geser atau sorong, banyak digunakan untuk lebar dan tinggi bukaan yang kecil dan sedang.
- b) Pintu radial, memiliki daun pintu berbentuk lengkung (busur) dengan lengan pintu yang sendinya tertanam pada tembok sayap atau pilar. Konstruksi seperti ini dimaksudkan agar daun pintu lebih ringan untuk diangkat dengan menggunakan kabel atau rantai.



Gambar 2.1. Komponen utama bendung gerak

Sumber : Sosrodarsono, (1985:206)



2.1.2. Penentuan Kala Ulang Banjir

Pemilihan suatu teknik analisa penentuan banjir rancangan tergantung dari data-data yang tersedia dan macam dari bangunan air tersebut. Kriteria pemilihan banjir dengan hanya meninjau kemungkinan terjadinya banjir yang lebih besar atau sama dengan banjir rencana, sekali atau lebih selama bangunan air tersebut berdiri. Kriteria lain yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan banjir rancangan sebagai berikut.

Tabel 2.1. Kriteria pemilihan kala ulang banjir rancangan

No.	Jenis Bangunan Air	Kala Ulang Banjir T (tahun)
1	Embung urugan tanah / batu (<i>earth/rockfill dam</i>)	1000
2	Embung beton / batu kali (<i>concrete dam / masonry</i>)	500 - 1000
3	Bendung (<i>weir</i>)	50 - 100
4	Saluran pengelak banjir (<i>flood diversion canal</i>)	20 - 50
5	Tanggul sungai	10 - 20
6	Drainasi saluran di sawah / permukiman	5 - 10

Sumber : Anonim, Irigasi dan Bangunan Air, (1997:80)

2.1.3. Lebar Bendung

Dalam menentukan lebar efektif perlu diketahui mengenai eksploitasi bendung, dimana pada saat air banjir datang pintu penguras dan pintu pengambilan harus ditutup. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah masuknya benda yang terangkut oleh banjir yang dapat menyumbat pintu penguras bila pintu terbuka dan air banjir masuk ke saluran induk.

$$\text{Rumus : } B_e = B - 2(n.K_p + K_a)H_1 \quad (2-1)$$

dengan :

$$B_e = \text{lebar efektif bendung (m)} \rightarrow (B_e1+B_e2+B_e3)$$

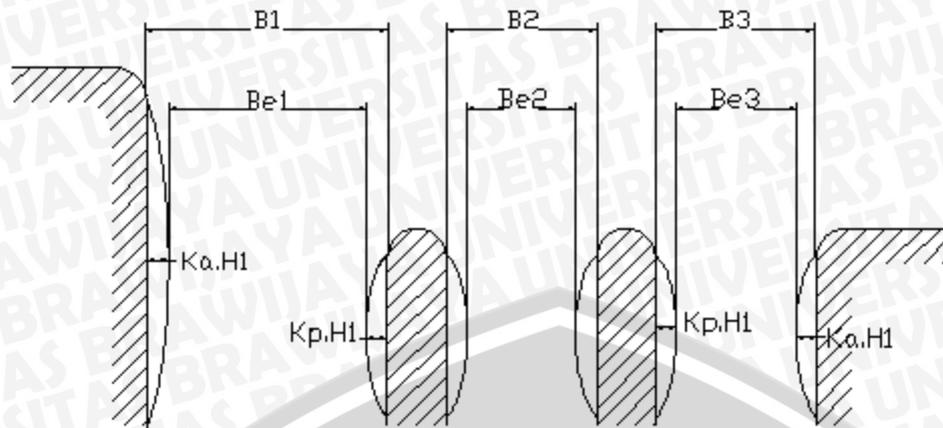
$$B = \text{lebar mercu sebenarnya (m)} \rightarrow (B1+B2+B3)$$

$$K_p = \text{koefisien kontraksi pilar}$$

$$K_a = \text{koefisien kontraksi pangkal bendung}$$

$$n = \text{jumlah pilar}$$

$$H_1 = \text{tinggi energi (m)}$$



Gambar 2.2 Sketsa Lebar Efektif Bendung

Sumber : Anonim, Irigasi dan Bangunan Air, (1997:114)

Tabel 2.2. Harga-harga Koefisien Kontraksi Pilar (K_p)

No		K
1	Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang bulat pada jari-jari yang	0,02
2	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3	Untuk pilar berujung runcing	0,00

Sumber : Anonim, Irigasi dan Bangunan Air, (1997:115)

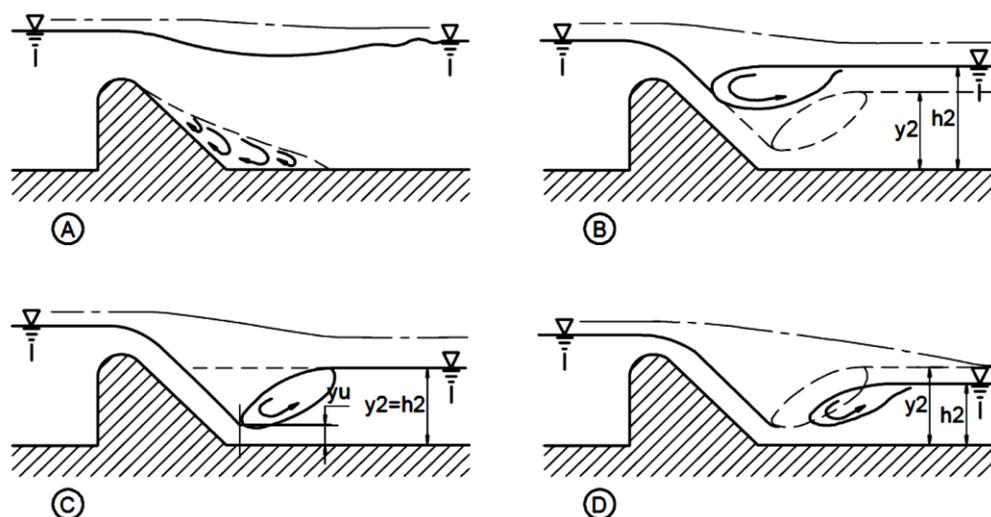
Tabel 2.3. Harga-harga Koefisien Kontraksi Pangkal Bendung (K_a)

No		K_a
1	Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 900 ke arah aliran	0,20
2	Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 900 ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
3	Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0,00

Sumber : Anonim, Irigasi dan Bangunan Air, (1997:115)

2.1.4. Peredam Energi

Aliran di atas bendung di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendung akibat kedalaman air yang ada h_2 . Gambar 2.3 menyajikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dari pola aliran di atas bendung.



Gambar 2.3 Kemungkinan-kemungkinan Pola Aliran yang Terjadi di Atas Bendung

Sumber : anonim, KP-02, (1986:54)

Kasus A menunjukkan aliran tenggelam yang menimbulkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa timbulnya gelombang. Kasus B menunjukkan loncatan tenggelam yang lebih diakibatkan oleh kedalaman air hilir yang lebih besar, daripada oleh kedalaman konjugasi. Kasus C adalah keadaan loncat air di mana kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi loncat air tersebut. Kasus D terjadi apabila kedalaman air hilir kurang dari kedalaman konjugasi; dalam hal ini loncatan akan bergerak ke hilir.

Faktor pemilihan tipe peredam energi :

- Tinggi bendung
- Keadaan geoteknik tanah dasar misalnya jenis batuan, lapisan, kekerasan tekan, diameter butir dsb.
- Jenis angkutan sedimen yang terbawa aliran sungai.
- Keadaan aliran yang terjadi di bangunan peredam energi seperti aliran tidak sempurna/tenggelam, loncatan air lebih rendah atau lebih tinggi.

Tipe Peredam energi:

a. Berdasarkan Bilangan Froude:

- (1). Untuk $Fr \leq 1,7$ tidak diperlukan kolam olak. Pada saluran tanah bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi.
- (2). Bila $1,7 < Fr \leq 2,5$ maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik.

- (3). Jika $2,5 < Fr \leq 4,5$ maka loncatan air tidak terbentuk dan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Kolam olak yang digunakan untuk menimbulkan turbulensi (olakan) yakni tipe USBR tipe IV.
- (4). Untuk $Fr \geq 4,5$ merupakan kolam olak yang paling ekonomis, karena kolam ini pendek. Kolam olak yang sesuai adalah kolam USBR tipe III.

2.1.5. Bangunan Pengambilan atau Intake

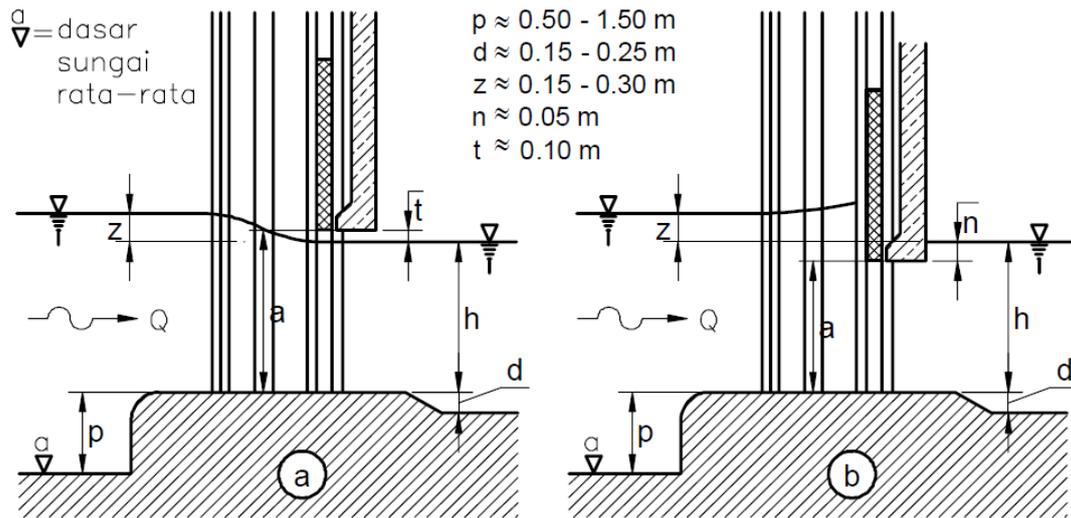
Elevasi lantai intake diambil minimal satu meter di atas lantai hulu bendung karena sungai mengangkut pasir dan kerikil. Pada keadaan ini makin tinggi lantai dari dasar sungai maka akan semakin baik, sehingga pencegahan angkutan sedimen dasar masuk ke intake juga makin baik. Tetapi bila lantai intake terlalu tinggi maka debit air yang tersadap menjadi sedikit, untuk itu perlu membuat intake arah melebar. Agar penyadapan air dapat terpenuhi dan pencegahan sedimen masuk ke intake dapat dihindari, maka perlu diambil perbandingan tertentu antara lebar dengan tinggi bukaan.

$$Q_n = 1,2 \times Q \quad (2-2)$$

$$Q_n = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (2-3)$$

dengan :

- Q_n = debit rencana (m^3/det)
- Q = kebutuhan air di sawah (m^3/det)
- μ = koefisien debit
- a = tinggi bukaan (m)
- b = lebar bukaan (m)
- g = gaya gravitasi = $9,81 \text{ m/det}^2$
- z = kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 – 0,30 m



Gambar 2.4. Potongan Melintang Bangunan Pengambilan

Sumber : anonim, KP-02, (1986:114)

2.2. Pemodelan Hidrolik dengan HEC-RAS

2.2.1. Umum

Permodelan Hidrolika Bendung Gerak Karangtalun akan menggunakan perangkat lunak (software) HEC-RAS (*Hydrologi Engineering Center- River Analysis System*) versi 4.1.0 sebagai paket program analisa dan pemodelan struktur hidrolik (bendung gerak) pada sungai yaitu pola aliran di hulu Bendung Gerak dan pola aliran di hilir Bendung Gerak.

Paket model HEC-RAS adalah salah satu model yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers River Analysis System* (HEC-RAS) yang di susun oleh *Hydrologic Engineering Center*. Software ini memiliki kemampuan penggunaan : perhitungan jenis aliran *steady flow* dan *unsteady flow* satu dimensi, dan *sediment transport*.

2.2.2. Analisa Profil Muka Air

Sebagai alat bantu dalam menganalisa profil muka air digunakan program HEC-RAS versi 4.1 untuk kondisi aliran *steady* (tanpa pengaruh bangunan) dan *unsteady* (dengan pengaruh bangunan). Paket model HEC-RAS adalah salah satu model yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Crops of Engineers River Analysis System* (HEC-RAS) yang disusun oleh *Hydrologic Engineering Center*. Software ini memiliki kemampuan penggunaan: perhitungan jenis aliran *steady flow* dan *unsteady flow* satu dimensi, dan sedimen transport. Prosedur perhitungan didasarkan pada penyelesaian persamaan aliran satu dimensi melalui saluran terbuka. Aliran satu dimensi ditandai dengan besarnya kecepatan yang sama pada seluruh penampang atau digunakan kecepatan rata-rata.

2.2.2.1. Persamaan Dasar Perhitungan

Profil muka air dihitung dari suatu penampang dengan Persamaan Energi melalui prosedur iterative yang disebut dengan *Standard Step Method*. Persamaan Energi yang dimaksud adalah (Ven Te Chow, 1997 : 243) :

$$Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad (2-4)$$

dengan:

Y_1 = kedalaman air penampang 1 (m)

Y_2 = kedalaman air penampang 2 (m)

v = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

α = koefisien energi

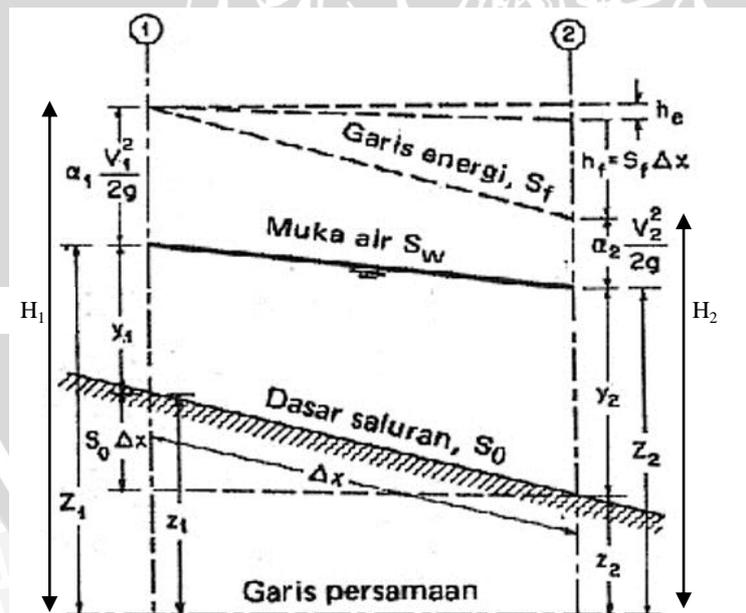
S_0 = kemiringan dasar saluran

S_f = kemiringan garis energi

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

h_f = kehilangan tekanan akibat gesekan (m)

h_e = kehilangan tekanan akibat pusaran (m)



Gambar 2.5. Profil Aliran Metode Tahapan Standar

Sumber: Ven Te Chow, 1997 : 239

Kehilangan tinggi energi antara dua penampang akibat pelebaran atau penyempitan saluran adalah sebagai berikut:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (2-5)$$

dengan :

L = panjang penampang

\bar{S}_f = kemiringan garis energi (*friction slope*) antara dua penampang

C = koefisien kehilangan akibat pelebaran atau penyempitan

Panjang sungai rata-rata L , dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (2-6)$$

dengan :

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = panjang melintang penampang sungai kiri, utama dan kanan

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} = rata-rata debit penampang sungai kiri, utama dan kanan

2.2.2.2. Perhitungan Debit Pada Penampang Sungai

Perhitungan debit pada penampang sungai dilakukan dengan membagi beberapa penampang menjadi beberapa bagian dimana kecepatan terdistribusi secara merata. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi beberapa penampang yang bergantung pada input penampang dan nilai n Manning's seperti pada gambar berikut.

Besarnya debit dihitung perbagian penampang sungai dengan mengacu pada persamaan Manning's berikut :

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (2-7)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (2-8)$$

(SI Unit)

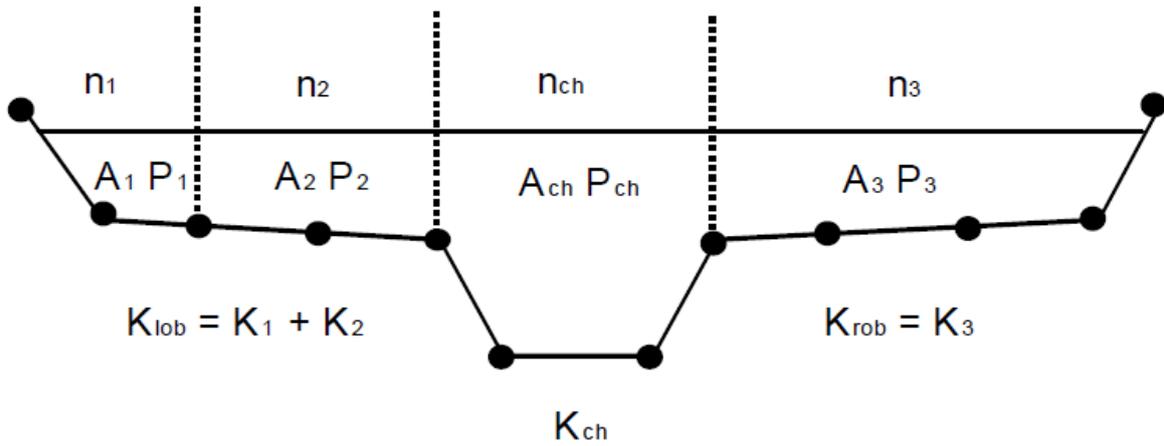
Dimana :

K = conveyance for subdivision

n = koefisien kekasaran Manning's

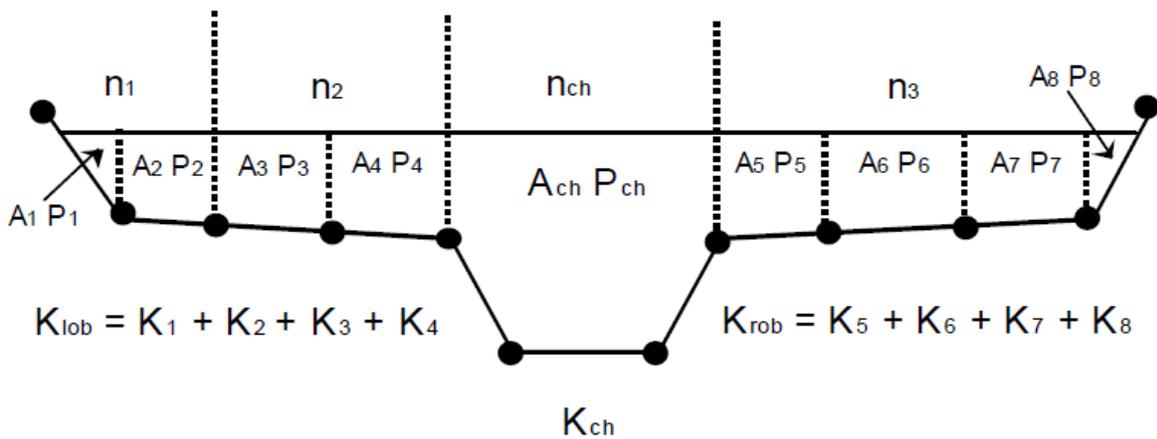
A = luas penampang

R = jari-jari hidrolis



Gambar 2.6. Perhitungan Debit Dengan Cara *Subdivision Method*
 Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:21)*

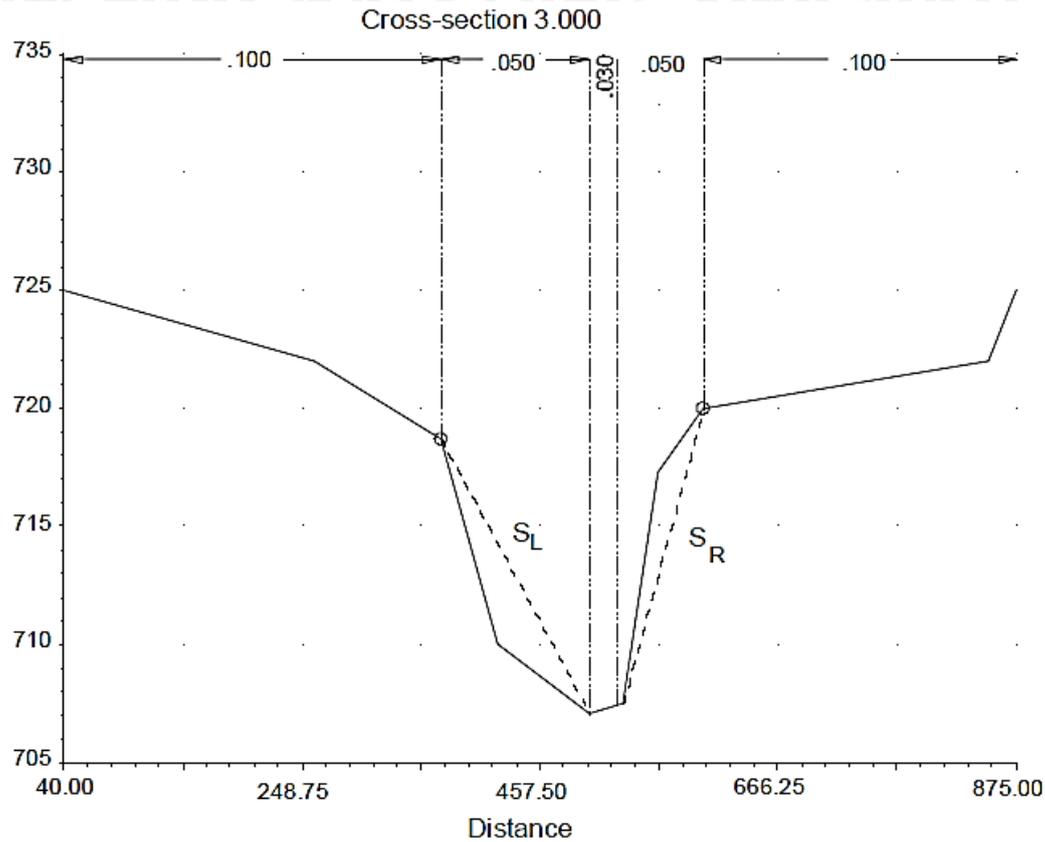
Alternatif metode lain yang dapat digunakan untuk menghitung debit adalah dilakukan antara setiap koordinat titik pada penampang seperti pada gambar. Debit yang didapat merupakan jumlah dari penampang sebelah kiri dan kanan. Metode ini digunakan pada program Corps HEC-2, metode ini tetap digunakan dan sebagai metode pilihan didalam perhitungan HEC-RAS.



Gambar 2.7. Alternatif Perhitungan Debit Dengan Cara *Subdivision Method (HEC-2 Style)*
 Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:21)*

2.2.2.3. Composite Nilai n Manning Untuk Saluran Utama

Aliran dalam saluran tidak dibagi perbagian, kecuali jika nilai kekasaran berubah didalam saluran. Program HEC-RAS dapat digunakan untuk berbagai nilai kekasaran, jika tidak maka program akan menghitung sebagai satu nilai kekasaran.



Gambar 2.8. Alternatif Perhitungan Debit Dengan Cara *Subdivision Method* (HEC-2 Style)
 Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1* (2010:23)

Angka koefisien kekasaran Manning (n) tergantung dari berbagai macam faktor, seperti tertera pada Tabel 2.4 berikut ini

Tabel 2.4. Angka Koefisien Manning's

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. Natural Stream			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0,025	0,030	0,033
b. Same as above, but more stones and weeds	0,030	0,035	0,040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0,033	0,040	0,045
d. Same as above, but some weeds and stones	0,035	0,045	0,050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slope and sections	0,040	0,048	0,055
f. Same as "d" but more stones	0,045	0,050	0,060

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
g. Sluggish reaches, weedy. deep pools	0,050	0,070	0,080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0,070	0,100	0,150
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0,025	0,030	0,035
2. High grass	0,030	0,035	0,050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0,020	0,030	0,040
2. Mature row crops	0,025	0,035	0,045
3. Mature field crops	0,030	0,040	0,050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0,035	0,050	0,070
2. Ligth brush and trees, in winter	0,035	0,050	0,060
3. Ligth brush and trees, in summer	0,040	0,060	0,080
4. Medium to dense brush, in winter	0,045	0,070	0,110
5. Medium to dense brush, in summer	0,070	0,100	0,160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no spouts	0,030	0,040	0,050
2. Same as above, but with flow into branches	0,050	0,060	0,080
3. Heavy stand of timber, few down trees, litte undergrowth, flow below branches	0,080	0,100	0,120
4. Same as above, but with flow into branches	0,100	0,120	0,160
5. Dense willows, summer, straight	0,110	0,150	0,200
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged			

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
a. Bottom: gravels, cobbles, and few blouders	0,030	0,040	0,050
b. Bottom: Cobbles with large boulder	0,040	0,050	0,070
B. Lined or Built-Up Channels			
1. Concrete			
a. Trowel finish	0,011	0,013	0,015
b. Float finish	0,013	0,015	0,016
c. Finished, with gravel bottom	0,015	0,017	0,020
d. Unfinished	0,014	0,017	0,020
e. Gunite, good section	0,016	0,019	0,023
f. Gunite, wavy section	0,018	0,022	0,025
g. On good excavated rock	0,017	0,020	
h. On irregular excavated rock	0,022	0,027	
2. Concrete bottom float finished with side of:			
a. Dessed stone in mortar	0,015	0,017	0,020
b. Random stone in mortar	0,017	0,020	0,024
c. Cement rubble masonry, plastered	0,016	0,020	0,024
d. Cement rubble masonr	0,020	0,025	0,030
e. Dry rubble on riprap	0,020	0,030	0,035
3. Gravel bottom with sides of:			
a. Formed concrete	0,017	0,020	0,025
b. Random stone in mortar	0,020	0,023	0,026
c. Dry rubble or riprap	0,023	0,033	0,036
4. Brick			
a. Glazed	0,011	0,013	0,015
b. Corrugated metal	0,012	0,015	0,018
5. Metal			
a. Smooth steel surfaces	0,011	0,012	0,014
b. Corrugated metal	0,021	0,025	0,030
6. Asphalt			
a. Smooth	0,013	0,013	

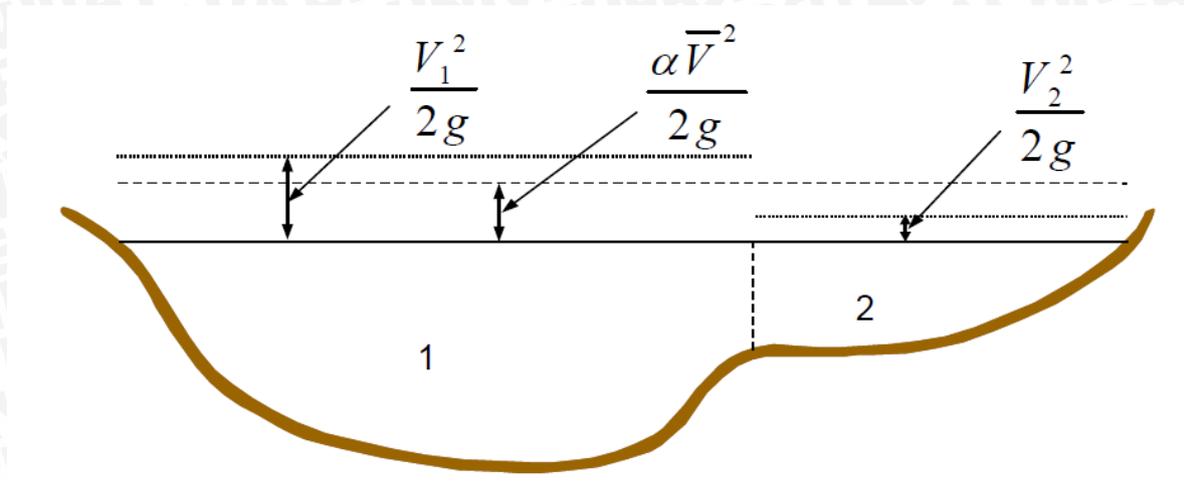
Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
b. Rough	0,016	0,016	
7. Vegetal lining	0,030		0,500
C. Excavated or Dredged Channels			
1. Earth, straight and uniform			
a. Clean, recently completed	0,016	0,018	0,020
b. Clean, after weathering	0,018	0,022	0,025
c. Gravel, uniform section, clean	0,022	0,025	0,030
d. With short grass, few weeds	0,022	0,027	0,033
2. Earth, widding and sluggish			
a. No vegetation	0,023	0,025	0,030
b. Grass, some weeds	0,025	0,030	0,033
c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0,030	0,035	0,040
d. Earth bottom and rubble side	0,028	0,030	0,035
e. Stone bottom and weedy blanks	0,025	0,035	0,040
f. Cobble bottom and clean sides	0,030	0,040	0,050
3. Dragline-excavated or dredged			
a. No vegetation	0,025	0,028	0,033
b. Light brush on banks	0,035	0,050	0,060
4. Rock cuts			
a. Smooth and uniform	0,025	0,035	0,040
b. Jagged and irregular	0,035	0,040	0,050
5. Channels not maintained, weeds and brush			
a. Clean bottom, brush on sides	0,040	0,050	0,080
b. Same as above, highest stage of flow	0,045	0,070	0,110
c. Dense weeds, high as flow depth	0,050	0,080	0,120
d. Dense brush, high stage	0,080	0,100	0,140

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:80)*

2.2.2.4. Evaluasi Energi Kinetik

Karena HEC-RAS adalah program untuk menghitung profil muka air satu dimensi, maka hanya satu energi kinetik yang dihitung pada masing-masing penampang saluran. Untuk memberikan gambaran elevasi profil muka air, rata-rata energi dihitung dengan

membagi tiga bagian dari penampang melintang saluran (yaitu saluran kiri, utama dan kanan). Gambar dibawah ini adalah rata-rata energi yang akan didapatkan dari penampang melintang yang terdiri dari saluran utama dan kanan (tidak terdapat saluran kiri).



Gambar 2.9. Contoh Bagaimana Rerata Energi Didapat
Sumber : Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:24)

Dimana :

V_1 = kecepatan rerata sub area 1

V_2 = kecepatan rerata sub area 2

Menghitung rata-rata energi kinetik adalah untuk mendapatkan koefisien kecepatan α (*coefficient Coriolis*). Koefisien kecepatan α dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\alpha \frac{\bar{v}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \frac{v_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (2-9)$$

$$\alpha = \frac{2g \left(Q_1 \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \frac{v_2^2}{2g} \right)}{(Q_1 + Q_2) \bar{v}^2} \quad (2-10)$$

Secara umum persamaannya adalah :

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{v}^2} \quad (2-11)$$

Persamaan di atas dapat juga ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \quad (2-12)$$

Dimana :

A_i = total luas penampang melintang

A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} = luas penampang kiri, saluran utama, dan kanan

K_i = total *conveyance* dari penampang melintang

K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} = *conveyance* kiri, saluran utama, dan kanan

2.2.2.5. Evaluasi Kehilangan Akibat Gesekan (*Friction Loss*)

Friction loss dievaluasi dalam program HEC-RAS sebagai hasil dari kemiringan garis energi S_f dan panjang L , dimana S_f adalah representatif dari *friction slope* untuk sungai dan panjang L yang didefinisikan pada persamaan diatas. *Friction slope* (*slope of the energy gradeline*) pada tiap-tiap penampang melintang dihitung dari persamaan Manning's sebagai berikut :

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (2-13)$$

Rumus lain untuk menghitung *friction slope* S_f dalam program HEC-RAS adalah sebagai berikut :

Average Conveyance Equation

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1+Q_2}{K_1+K_2}\right)^2 \quad (2-14)$$

Average Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1}+S_{f2}}{2} \quad (2-15)$$

Geometric Mean Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \quad (2-16)$$

Harmonic Mean Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1}+S_{f2}} \quad (2-17)$$

2.2.2.6. Evaluasi Kehilangan Akibat Kontraksi dan Pelebaran

Kehilangan akibat kontraksi dan pelebaran dalam program HEC-RAS dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (2-18)$$

Dimana :

C = koefisien kontraksi dan pelebaran

Program mengasumsikan bahwa kontraksi terjadi jika kecepatan di hilir lebih besar dari kecepatan di hulu. Sebaliknya pelebaran terjadi jika kecepatan di hulu lebih besar dari kecepatan di hilir. Berikut adalah koefisien kontraksi dan pelebaran:

Tabel 2.5. Koefisien Kontraksi dan Pelebaran Aliran Subkritis

	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0,0	0,0
Gradual transitions	0,1	0,3
Typical Bridge section	0,3	0,5
Abrupt transitions	0,6	0,8

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:87)*

2.2.2.7. Prosedur Perhitungan

Profil muka air ditentukan dengan cara solusi *iterative* dari persamaan diatas.

Prosedur perhitungan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- 1) Mengasumsikan profil muka air di hulu (atau di hilir jika profil muka air kritis telah dihitung),
- 2) Berdasarkan pada asumsi muka air, maka berikutnya menentukan besarnya debit dan kecepatan,
- 3) Dari nilai langkah ke 2, hitung \bar{S}_f dan menyelesaikan persamaan 2-5 untuk mendapatkan nilai h_e ,
- 4) Dari langkah 2 dan 3, menyelesaikan persamaan 2-4 untuk mendapatkan muka air ke 2 WS_2 ,
- 5) Bandingkan nilai WS_2 dengan nilai asumsi pada langkah 1; ulangi langkah 1 sampai langkah 5 sampai nilai toleransi perbedaan mencapai 0,01 feet (0,003 m).

Untuk mendapatkan profil muka air didapat dengan cara coba banding. Cara coba banding secara umum berdasarkan pada “*Secant Method*” yang memproyeksikan perhitungan dari pengasumsian dua nilai coba banding sebelumnya. Persamaan *Secant Method* adalah sebagai berikut :

$$WS_1 = WS_{1-2} - Err_{1-2} * Err \text{ Assum} / Err \text{ Diff} \quad (2-19)$$

Dimana :

WS_1 = asumsi muka air baru

WS_{1-1} = asumsi iterasi muka air sebelumnya

WS_{1-2} = asumsi muka air dua coba banding sebelumnya

Err_{1-2} = kesalahan dua coba banding sebelumnya

$Err \text{ Assum}$ = perbedaan asumsi dari dua coba banding sebelumnya

$$(Err \text{ Assum} = WS_{1-2} - WS_{1-1})$$

Err Diff = asumsi muka air dikurangi hasil muka air dari iterasi sebelumnya ($I-1$), ditambah kesalahan dari dua coba banding Sebelumnya (Err_{1-2}).
 $= Err\ Diff = WS_{1-1} - WS\ Calc_{1-1} + Err_{1-2}$.

2.2.2.8. Penentuan Kedalaman Kritis

Kedalaman kritis akan ditentukan dalam kondisi tertentu sebagai berikut :

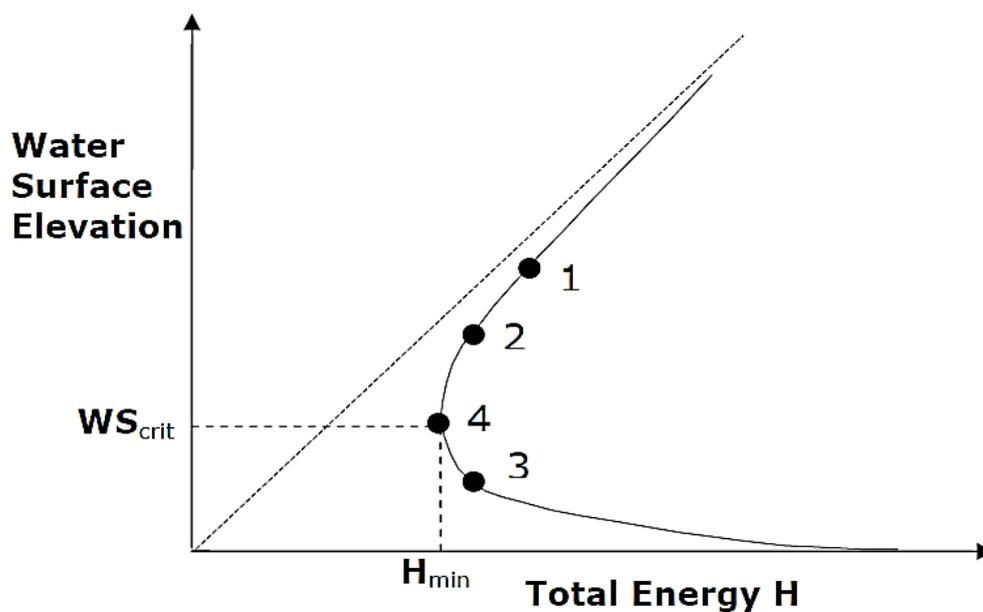
- 1) Regime aliran superkritis telah terbentuk,
- 2) Perhitungan kedalaman kritis dibutuhkan oleh pengguna program,
- 3) Kedalaman kritis ditentukan oleh pengguna untuk mengetahui kondisi aliran,
- 4) *Froude number* untuk mengetahui kondisi subkritis yang mengidentifikasi kan bahwa kedalaman kritis dibutuhkan untuk verifikasi regim aliran,
- 5) Program tidak akan seimbang jika toleransi kesalahan dalam coba banding belum mencapai nilai iterasi maksimum.

Total tinggi energi untuk penampang melintang adalah sebagai berikut :

$$H = WS + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (2-20)$$

dengan :

H = total tinggi energi
 WS = elevasi muka air
 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ = tinggi kecepatan



Gambar 2.10. Gambar Garis Energi

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:30)*

Kedalaman kritis adalah kedalaman (elevasi) dimana total tinggi energi minimum. Kedalaman kritis didapat dengan prosedur iterative, dimana nilai muka air WS diasumsi dan berhubungan dengan nilai total tinggi energi H

Program HEC-RAS mempunyai dua metode untuk menghitung kedalaman kritis, yaitu : a) *Parabolic Method* dan, b) *Secant Method*. *Parabolic method* adalah merupakan perhitungan cepat, tetapi ini hanya dapat digunakan untuk satu minimum energi. Untuk kondisi penampang yang banyak tidak hanya mempunyai satu kurva energi minimum, oleh karena itu *parabolic method* adalah merupakan metode yang ditentukan/dipilih oleh program, jika penyelesaian *parabolic method* tidak *convergen*, maka program akan secara otomatis mencoba dengan *secant method*.

2.2.2.9. Aplikasi Persamaan Momentum

Bila profil muka air melalui kedalaman kritis, persamaan energi tidak dapat digunakan. Persamaan energi hanya dapat digunakan dalam kondisi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*), dan kondisi aliran transisi dari sub kritis ke super kritis atau super kritis ke sub kritis dimana dalam hal ini kondisi aliran dalam kondisi perubahan secara cepat (*rapidly varying flow situation*). Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya kondisi transisi dari sub kritis ke super kritis atau sebaliknya. Beberapa hal tersebut adalah perubahan kemiringan saluran, adanya jembatan, *drop structure*, bendung dan *stream junction*. Dalam kondisi berikut persamaan empiris dapat digunakan (seperti *drop structure* dan bendung), jika tidak, lebih baik menggunakan persamaan momentum sebagai penyelesaiannya.

Dalam program HEC-RAS, persamaan momentum dapat digunakan dalam permasalahan tertentu berikut ini : kejadian pada *hydraulic jump*; *low flow hydraulic* pada jembatan; dan pertemuan sungai (*stream junction*).

Persamaan Momentum diturunkan dari Hukum Newton II sebagai berikut :

$$\text{Gaya} = \text{masa} \times \text{percepatan (perubahan momentum)} \quad (2-21)$$

$$\sum F_x = m a \quad (2-22)$$

Aplikasi Hukum Newton II adalah seperti pada dua penampang melintang pada titik 1 dan 2 (gambar 2.11), berikut adalah rumus dari perubahan momentum :

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (2-23)$$

dengan :

P = tekanan hidrostatik pada titik 1 dan 2

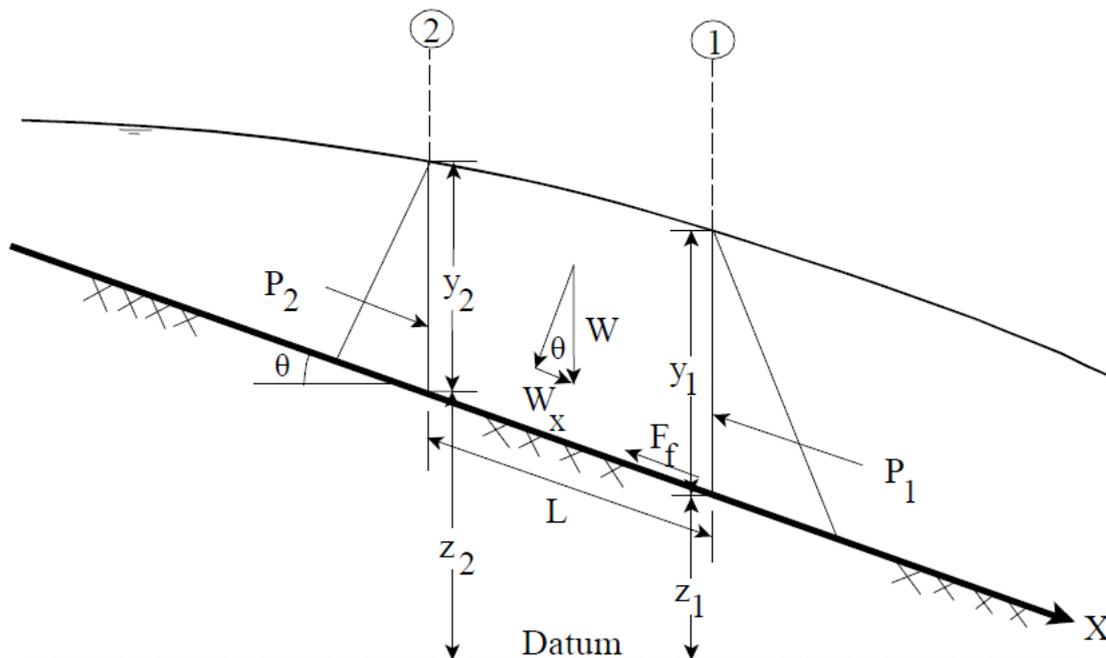
W_x = gaya karena berat air pada arah X

F_f = gaya karena kehilangan tinggi tekan akibat gesekan dari titik 2 ke 1

Q = debit

ρ = berat jenis air

ΔV_x = perubahan kecepatan dari titik 2 ke 1, pada arah X



Gambar 2.11. Aplikasi dari Prinsip Momentum
Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1* (2010:33)

Hydrostatic Pressure Force

Gaya pada arah X karena tekanan hidrostatik :

$$P = \gamma A \bar{Y} \cos \theta \quad (2-24)$$

Bila kemiringan saluran atau sungai lebih kecil dari 1 : 10, maka sudut θ sama dengan 6° adalah sama dengan 0,995, jadi $\cos \theta$ sama dengan 1,0 (Chow, 1997). Maka persamaan tekanan hidrostatik pada titik 1 dan 2 adalah sebagai berikut :

$$P_1 = \gamma A_1 \bar{Y}_1 \quad (2-25)$$

$$P_2 = \gamma A_2 \bar{Y}_2 \quad (2-26)$$

dengan :

γ = berat jenis air

A_i = luas penampang pada titik 1 dan 2

\bar{Y}_i = kedalaman air dari permukaan ke titik berat penampang 1 dan 2

Weight of Water Force:

Berat air = berat jenis x volume (2-27)

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \quad (2-28)$$

$$W_x = W \times \sin \theta \quad (2-29)$$

$$\sin \theta = \frac{Z_2 - Z_1}{L} = S_0 \quad (2-30)$$

$$W_x = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 \quad (2-31)$$

dengan :

L = jarak antara titik 1 dan 2 pada arah X

S_0 = kemiringan dasar saluran

Z_i = datum line pada titik 1 dan 2

Force of External Friction:

$$F_f = \tau \bar{P} L \quad (2-32)$$

dengan :

τ = tegangan geser

\bar{P} = keliling penampang basah titik 1 dan 2

$$\tau = \gamma \bar{P} \bar{S}_f \quad (2-33)$$

dengan :

\bar{R} = rata-rata jari-jari hidrolis

\bar{S}_f = kemiringan garis energi

Mass time Acceleration:

$$ma = Q \rho \Delta V_x \quad (2-34)$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \text{ dan } \Delta V_x = (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2) \quad (2-35)$$

$$ma = \frac{Q\gamma}{g} (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2) \quad (2-36)$$

dengan :

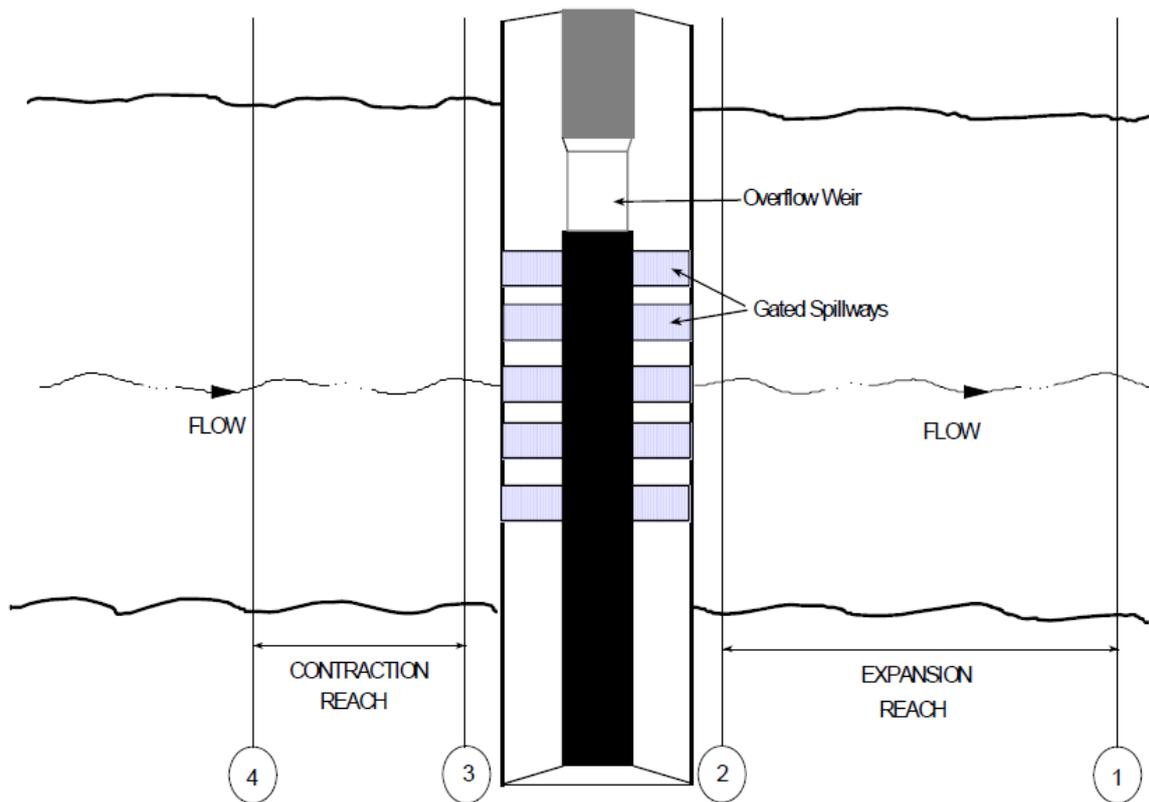
β = koefisien momentum yang dihitung dari berbagai distribusi kecepatan pada penampang saluran

2.2.3. Analisa Pada Bendung Gerak

Versi HEC-RAS 4.1. memungkinkan pengguna untuk memodelkan struktur inline, seperti spillways, bendungan, jembatan dan lain-lain. HEC-RAS memiliki kemampuan untuk model pintu radial, pintu sorong, pintu rangkap atau pintu overflow. Spilways yang dapat di modelkan adalah dengan puncak tipe ogee, ambang lebar, dan ambang tajam.

2.2.3.1. Koefisien Akibat Kontraksi dan Pelebaran

Koefisien yang diperlukan untuk menghitung kehilangan energi akibat kontraksi dan ekspansi dibagian hulu dan hilir dari bendung (*inline*) dan struktur spillway. Kerugian ini dihitung dengan mengalikan ekspansi atau kontraksi koefisien oleh perbedaan mutlak di antara dua penampang.



Gambar 2.12. Layout Untuk Pintu Air, Spilways, dan Bendung
 Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:210)*

Jika kecepatan meningkat ke arah hilir, koefisien kontraksi diterapkan. Ketika kecepatan menurun ke arah hilir, koefisien ekspansi digunakan. Nilai yang direkomendasikan untuk ekspansi dan kontraksi koefisien pada tabel 2.6. Seperti yang ditunjukkan oleh nilai-nilai ditabulasikan, perluasan aliran menyebabkan kehilangan energi lebih dari kontraksi. Selain itu, kerugian energi meningkat dengan kecuraman transisi.

Tabel 2.6. Nilai Kekasaran dari Berbagai *Bed Materials*

	k (Feet)
Brass, Cooper, Lead, Glass	0,0001-0,0030
Wrought Iron, Steel	0,0002-0,0080
Asphalted Cast Iron	0,0004-0,0070
Galvanized Iron	0,0005-0,0150
Cast Iron	0,0008-0,0180
Wood Stave	0,0006-0,0030
Cement	0,0013-0,0040
Concrete	0,0015-0,0100
Drain Tile	0,0030-0,0300
Natural River Bed	0,1000-3,0000

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:86)*

2.2.3.2. Koefisien Mercu Bendung

Untuk menentukan aliran overflow pada bendung, maka perlu adanya penyesuaian dengan koefisien yang akan diinputkan pada HEC-RAS. Koefisien aliran menggunakan persamaan bendung standart yaitu persamaan Rehbock (Henderson, 1966), atau Kindsvater dan Carter (1957). Penentuan koefisien ini ditentukan berdasarkan tipe mercu yang digunakan oleh bendung. Berikut adalah daftar koefisien bendung untuk berbagai tipe mercu.

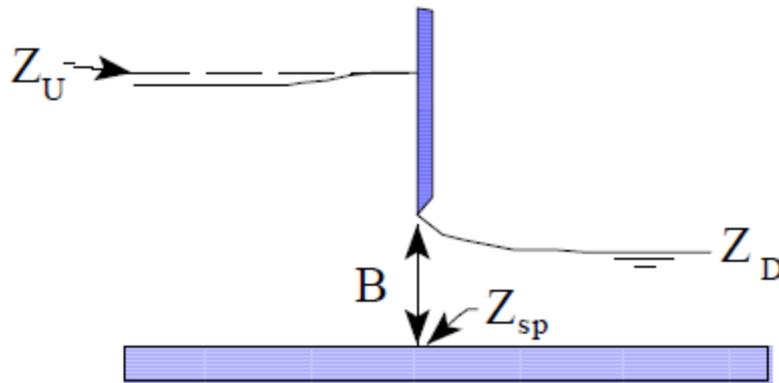
Tabel 2.7. Koefisien Untuk Bebarapa Tipe Mercu

Weir Crest Shape	Typical Coefficient Range (ft^{1/2}/s)
Broad Crested	2,6 – 3,1
Ogee Crested	3,2 – 4,1
Sharp Crested	3,1 – 3,3

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:216)*

2.2.3.3. Pintu Sorong (*Sluice Gate*)

Fungsi pintu air adalah mengatur air untuk pembuang, penyadap dan pengatur lalu lintas air (Suyono, 1986).



Gambar 2.13. Contoh aliran air pada pintu dengan ambang lebar

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:201)*

Persamaan aliran melalui pintu sorong seperti Persamaan 2-37 berikut:

$$Q = C W B \sqrt{2 g H} \quad (2-37)$$

dengan :

- Q = debit
- C = koefisien pelepasan, (0,5 to 0,7)
- W = Lebar pintu (m)
- B = tinggi bukaan pintu (m)
- H = tinggi muka air hulu ($Z_U - Z_{sp}$) (m)

Ketika taliwater hilir naik pada titik dimana alairan tidak dapat mengalir dengan bebas, maka Persamaan (2-37) menjadi Persamaan (2-38) berikut:

$$Q = C W B \sqrt{2 g 3 H} \quad (2-38)$$

dengan :

$$H = Z_U - Z_D$$

2.2.4. Analisa Pada Bangunan Pengambilan atau Intake

Didalam HEC-RAS, analisa ini menggunakan vasilitas *Lateral Structures*. Dalam perhitungan pintu intake sama seperti penjelasan pintu yang ada pada penjelasan sebelumnya. Persamaan untuk perhitungan *Lateral Struktur* menggunakan persamaan Hager's. Persamaan sama dengan persamaan bendung standar, kecuali koefisien debit dihitung secara otomatis berdasarkan sifat fisik dan hidrolis. Persamaan Hager's untuk koefisien debit lateral (Hager, WH, 1987):

$$C = \frac{3}{5} C_0 \sqrt{g} \left[\frac{1-W}{3-2y-W} \right]^{0,5} \left\{ 1 - (\beta + S_0) \left[\frac{3(1-y)}{y-W} \right]^{0,5} \right\} \quad (2-39)$$

dengan :

$$W = \frac{h_w}{H_t + h_w} \quad y = \frac{H + h_w}{H_t + h_w} \quad C_0 = \text{Fungsi (tipe mercu bendung)}$$

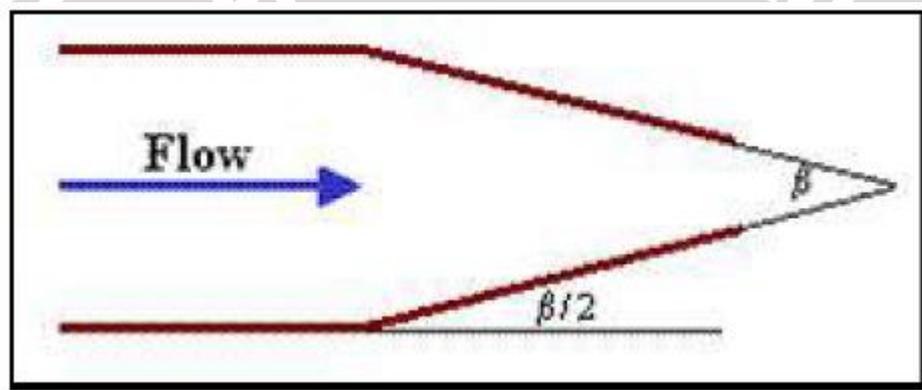
H = tinggi permukaan air di atas bendung

h_w = tinggi bendung dari atas dasar sungai

H_t = tinggi garis energi di atas bendung

S_0 = rerata slope saluran utama

β = sudut kontraksi dengan saluran utama dalam radian (nol jika bendung sejajar dengan saluran utama)



Gambar 2.14. Sudut kontraksi dengan saluran utama

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:224)*

C_0 = Koefisien debit. $C_0 = 1.0$ untuk mercu tajam. $C_0 = 8/7$ untuk tinggi bendung nol.

Untuk mercu ambang lebar (b = lebar mercu)

$$C_0 = 1 - \frac{2}{9 \left[1 + \left(\frac{H_t}{b} \right)^4 \right]}$$

Untuk mecu tipe ogee (r = radius bendung)

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[1 + \frac{\frac{22}{81} \left(\frac{H_t}{r} \right)^2}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{H_t}{r} \right)^2} \right]$$

2.2.5. Transportasi Sedimen

2.2.5.1. Umum

Aliran air akan membawa hanyut bahan-bahan sedimen, yang menurut mekanisme pengangkutannya dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu:

- Muatan dasar (*bed load*)

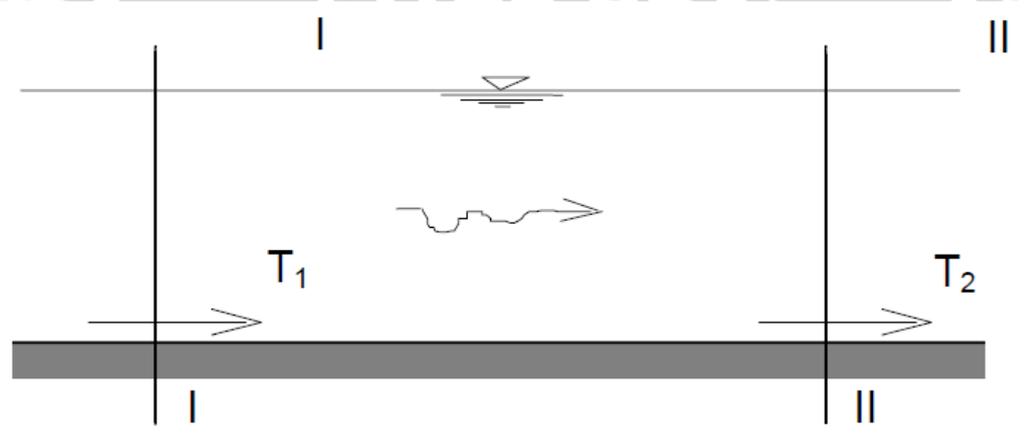
Pergerakan partikel di dalam aliran air sungai dengan cara menggelinding, meluncur dan meloncat-loncat di atas permukaan dasar sungai.

b. Muatan melayang (*suspended load*):

Terdiri dari butiran halus yang senantiasa melayang di dalam aliran sungai.

Kecenderungan partikel untuk mengendap selalu terkompensasi oleh aksi difusif dari aliran turbulen air sungai.

Prinsip dasar angkutan sedimen adalah untuk mengetahui apakah terjadi seimbang (*equilibrium*), erosi (*degradasi*), atau pengendapan (*agradasi*) dan juga untuk meramalkan kualitas yang terangkut dalam proses tersebut.



Gambar 2.15. Ilustrasi transpor sedimen melalui 2 (dua) penampang melintang
sumber : H.R. Mulyanto (2006:43)

proses perubahan dasar sungai diantara 2 (dua) penampang melintang akibat adanya angkutan sedimen adalah sebagai berikut:

Perbandingan T	Kondisi perubahan dasar sungai
$T_1 < T_2$	Erosi atau Degradasi
$T_1 = T_2$	Equilibrium atau Stabil
$T_1 > T_2$	Sedimentasi atau Agradasi

2.2.5.2. Kapasitas Pengangkutan

Perhitungan besarnya angkutan sedimen rata-rata dilakukan untuk setiap kondisi hidrolis dan parameter sedimen dengan gradasi butiran tertentu. Kapasitas pengangkutan ditentukan untuk setiap ukuran butir mewakili ukuran butiran tertentu yang membentuk 100% dari material dasar. Kapasitas pengangkutan untuk kelompok ukuran tertentu tersebut kemudian dikalikan dengan pecahan dari total sedimen yang mewakili ukuran tertentu

tersebut. Kapasitas pengangkutan untuk ukuran butir tertentu tersebut kemudian dijumlahkan dengan ukuran butiran lain untuk menjadi kapasitas pengangkutan sedimen total. Ukuran kelas angka standar berdasarkan pada skala klasifikasi *American Geophysical Union* (AGU) yang ditunjukkan pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8. Ukuran Butiran dari Klasifikasi Material Sedimen *American Geophysical Union*

No.	Sedimen material	Grain Diameter	Geometric Median
		Range (mm)	Diameter (mm)
1	Clay	0.002 – 0.004	0.003
2	Very Fine Silt	0.004 – 0.008	0.006
3	Fine Silt	0.008 – 0.016	0.011
4	Medium Silt	0.016 – 0.032	0.023
5	Coarse Silt	0.032 – 0.0625	0.045
6	Very Fine Sand	0.0625 – 0.125	0.088
7	Fine Sand	0.125 – 0.250	0.177
8	Medium Sand	0.250 – 0.5	0.354
9	Coarse Sand	0.5 – 1.0	0.707
10	Very Coarse Sand	1 – 2	1.41
11	Very Fine Gravel	2 – 4	2.83
12	Fine Gravel	4 – 8	5.66
13	Medium Gravel	8 – 16	11.3
14	Coarse Gravel	16 – 32	22.6
15	Very Coarse Gravel	32 – 64	45.3
16	Small Cobbles	64 – 128	90.5
17	Large Cobbles	128 – 256	181
18	Small Boulders	256 – 512	362
19	Medium Boulders	512 – 1024	724
20	Large Boulders	1024 – 2048	1448

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:293)*

Hasil perhitungan pengangkutan sedimen rerata sangat sensitif terhadap distribusi ukuran butir, terutama untuk butiran halus.

Tabel 2.9. Jangkauan Nilai Input untuk Fungsi Pengangkutan Sedimen

FUNCTION	d	d _m	s	V	D	S	W	T
Ackers-White (flume)	0.04 – 7.0	NA	1.0 – 2.7	0.07 – 7.1	0.01 – 1.4	0.00006 – 0.037	0.23 – 4.0	46 – 89
Engelund-Hansen (flume)	NA	0.19 – 0.93	NA	0.65 – 6.34	0.19 – 133	0.000055 – 0.019	NA	45 – 93
Laursen (field)	NA	0.08 – 0.7	NA	0.068 – 6.34	0.019 – 1.33	0.0000021 – 0.0018	63 – 3640	32 – 93
Laursen (flume)	NA	0.011 – 29	NA	0.7 – 9.4	0.03 – 3.6	0.00025 – 0.025	0.25 – 6.6	46 – 83
Meyer-Peter- Muller (flume)	0.4 – 29	NA	1.25 – 4.0	1.2 – 9.4	0.03 – 3.9	0.0004 – 0.02	0.5 – 6.6	NA
Toffaleti (field)	0.062 – 4.0	0.095 – 0.76	NA	0.7 – 7.8	0.07 – 1.1 (R)	0.000002 – 0.0011	63 – 3640	32 – 93
Toffaleti (flume)	0.062 – 4.0	0.45 – 0.91	NA	0.7 – 6.3	0.07 – 1.1 (R)	0.00014 – 0.019	0.8 – 8	40 – 93

Sumber: *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:297)*

dengan :

d = diameter partikel keseluruhan, mm

d_m = diameter partikel rata-rata, mm

s = berat jenis sedimen

V = kecepatan aliran rata-rata, fps

D = kedalaman aliran

S = kemiringan garis energi

W = lebar saluran, ft

T = suhu air, °F

R = jari-jari hidrolis, ft

NA = data tidak tersedia

Terdapat 7 (tujuh) formula dalam model HEC-RAS yaitu, 1) Ackers-White, 2) Englund-Hansen, 3) Laursen (Copeland), 4) Meyer-Peter-Muller, 5) Toffaletti, 6) Yang dan 7) Wilcock.

2.2.5.3. Fungsi Transportasi Sedimen Toffaletti

Metode Toffaletti adalah modifikasi - Einstein dengan fungsi total beban yang melanggar distribusi beban ditanggihkan ke zona vertikal, mereplikasi gerakan sedimen dua dimensi.

Persamaan umum untuk fungsi Toffaletti adalah :

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \quad (2-40)$$

dengan :

$$g_{ssL} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-0,756z} - (2d_m)^{1+n_v-0,756z}}{1+n_v-0,756z} \text{ (zona bawah)} \quad (2-41)$$

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[\left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-z} - \left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-z} \right]}{1+n_v-z} \text{ (zona tengah)} \quad (2-42)$$

$$g_{ssU} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[R^{1+n_v-1,5z} - \left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-1,5z} \right]}{1+n_v-1,5z} \text{ (zona atas)} \quad (2-43)$$

$$g_{sb} = M (2d_m)^{1+n_v-0,756z} \quad (2-44)$$

$$M = 43,2 C_L (1 + n_v) V R^{0,756z - n_v} \quad (2-45)$$

dengan :

g_{ssL} = Suspended transportasi sedimen di zona yang lebih rendah (ton / hari / ft)

g_{ssM} = Suspended transportasi sedimen di zona tengah , (ton / hari / ft)

g_{ssU} = transportasi Suspended sedimen di zona atas , (ton / hari / ft)

g_{sb} = transportasi Bed beban sedimen (ton / hari / ft)

g_s = Total angkutan sedimen (ton / hari / ft)

M = parameter konsentrasi sedimen

C_L = konsentrasi sedimen di zona yang lebih rendah

R = jari-jari hidrolis

d_m = diameter partikel Median

z = Eksponen menggambarkan hubungan antara sedimen dan karakteristik hidrolis

n_v = Suhu eksponen

2.2.5.4. Kecepatan Jatuh (*Fall Velocity*) Toffaleti

Toffaleti menyajikan tabel jatuh *velocity* faktor bentuk 0,9 dan berat jenis 2,65. Kecepatan jatuh yang berbeda diberikan untuk berbagai suhu dan ukuran butir, dipecah menjadi *American Geophysical Union standard grain size classes* dari *Very Fine Sand* (VFS) ke *Medium Gravel* (MG) . Jatuh kecepatan Toffaleti yang disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.10. Fall Velocity (Toffaleti, 1968)

Sand Grain Settling Velocity Versus Temperature, SP.G. 2.65, Shape Factor 0.9																	
TEMP °F	SETTLING VELOCITY IN FT./SEC								TEMP °F	SETTLING VELOCITY IN FT./SEC							
	VFS	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG		VFS	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG
35	.013	.045	.130	.305	.590	1.00	1.41	1.95	65	.021	.065	.165	.354	.640	1.00	1.41	1.95
36	.013	.045	.131	.307	.592	1.00	1.41	1.95	66	.021	.066	.166	.356	.641	1.00	1.41	1.95
37	.013	.046	.132	.310	.594	1.00	1.41	1.95	67	.021	.067	.167	.357	.643	1.00	1.41	1.95
38	.014	.047	.133	.312	.596	1.00	1.41	1.95	68	.022	.067	.168	.359	.644	1.00	1.41	1.95
39	.014	.047	.133	.314	.598	1.00	1.41	1.95	69	.022	.068	.170	.360	.646	1.00	1.41	1.95
40	.014	.048	.135	.316	.600	1.00	1.41	1.95	70	.022	.069	.171	.361	.647	1.00	1.41	1.95
41	.015	.049	.137	.318	.602	1.00	1.41	1.95	71	.022	.070	.172	.362	.649	1.00	1.41	1.95
42	.015	.050	.138	.320	.604	1.00	1.41	1.95	72	.023	.071	.173	.363	.650	1.00	1.41	1.95
43	.015	.051	.140	.321	.606	1.00	1.41	1.95	73	.023	.071	.175	.364	.652	1.00	1.41	1.95
44	.016	.051	.141	.322	.608	1.00	1.41	1.95	74	.023	.072	.176	.365	.653	1.00	1.41	1.95
45	.016	.052	.142	.323	.609	1.00	1.41	1.95	75	.024	.072	.177	.366	.655	1.00	1.41	1.95
46	.016	.053	.143	.325	.610	1.00	1.41	1.95	76	.024	.073	.178	.367	.656	1.00	1.41	1.95
47	.016	.053	.144	.326	.612	1.00	1.41	1.95	77	.024	.073	.180	.368	.657	1.00	1.41	1.95
48	.017	.054	.145	.328	.614	1.00	1.41	1.95	78	.024	.074	.181	.370	.658	1.00	1.41	1.95
49	.017	.055	.146	.330	.616	1.00	1.41	1.95	79	.025	.074	.182	.371	.659	1.00	1.41	1.95
50	.017	.055	.147	.331	.618	1.00	1.41	1.95	80	.025	.075	.183	.373	.660	1.00	1.41	1.95
51	.018	.056	.148	.333	.620	1.00	1.41	1.95	81	.025	.075	.184	.375	.661	1.00	1.41	1.95
52	.018	.057	.150	.334	.621	1.00	1.41	1.95	82	.025	.076	.185	.376	.662	1.00	1.41	1.95
53	.018	.057	.151	.336	.623	1.00	1.41	1.95	83	.025	.077	.186	.378	.663	1.00	1.41	1.95
54	.018	.058	.152	.338	.624	1.00	1.41	1.95	84	.026	.077	.187	.380	.664	1.00	1.41	1.95
55	.018	.059	.153	.340	.626	1.00	1.41	1.95	85	.026	.078	.188	.381	.665	1.00	1.41	1.95
56	.019	.059	.154	.341	.627	1.00	1.41	1.95	86	.026	.078	.190	.383	.666	1.00	1.41	1.95
57	.019	.060	.155	.343	.629	1.00	1.41	1.95	87	.026	.079	.192	.385	.667	1.00	1.41	1.95
58	.019	.061	.156	.344	.630	1.00	1.41	1.95	88	.027	.079	.194	.386	.668	1.00	1.41	1.95
59	.019	.061	.157	.346	.632	1.00	1.41	1.95	89	.027	.080	.195	.388	.669	1.00	1.41	1.95
60	.020	.062	.159	.347	.633	1.00	1.41	1.95	90	.027	.080	.196	.390	.670	1.00	1.41	1.95
61	.020	.063	.160	.349	.635	1.00	1.41	1.95	91	.028	.081	.197	.391	.671	1.00	1.41	1.95
62	.020	.063	.161	.350	.636	1.00	1.41	1.95	92	.028	.081	.198	.392	.672	1.00	1.41	1.95
63	.020	.064	.162	.351	.638	1.00	1.41	1.95	93	.028	.082	.199	.393	.673	1.00	1.41	1.95
64	.021	.065	.163	.353	.639	1.00	1.41	1.95	94	.028	.082	.200	.394	.674	1.00	1.41	1.95

Sumber : *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 4.1 (2010:293)*

2.2.6. Peta Distribusi (RAS MAPPER)

Didalam program HEC-RAS 4.1 sudah difasilitasi oleh RAS-MAPPER. fasilitas ini digunakan untuk mendistribusikan hasil perhitungan HEC-RAS satu dimensi kedalam kontur.

2.2.6.1. Pendistribusian Ketinggian Muka Air

Ketinggian permukaan air dipetakan dengan mengevaluasi perbedaan elevasi permukaan air lebih tinggi dari permukaan tanah. Permukaan yang dihasilkan sebagai *grid* kedalam permukaan air (*User manual HEC-RAS v4.1*).

2.2.6.2. Pendistribusian Kedalaman

Grid kedalam permukaan air dievaluasi dengan mengidentifikasi semua *grid* yang memiliki kedalaman positif (posisi dibasahi) dari penampang yang dihitung di HEC-RAS. Sehingga sebuah *grid* kedalam dataran banjir dapat dibuat (*User manual HEC-RAS v4.1*).

2.2.6.3. Pendistribusian Kecepatan

Hasil kecepatan dipetakan menggunakan interpolasi ketinggian muka air dengan kecepatan yang dihasilkan dari analisa HEC-RAS (1-dimensi). Interpolasi data dilakukan dalam masing-masing daerah interpolasi, oleh karena itu, nilai-nilai dalam *overbank* tidak terpengaruh oleh nilai-nilai dalam *bank* (*User manual HEC-RAS v4.1*).

2.2.6.4. Pendistribusian Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Hasil tegangan geser dipetakan menggunakan interpolasi ketinggian muka air dengan tegangan geser yang dihasilkan dari analisa HEC-RAS (1-dimensi). Interpolasi data dilakukan dalam masing-masing daerah interpolasi, oleh karena itu, nilai-nilai dalam *overbank* tidak terpengaruh oleh nilai-nilai dalam *bank* (*User manual HEC-RAS v4.1*).

2.2.6.5. Pendistribusian Daya Aliran (*Stream Power*)

Hasil daya aliran (*stream power*) dipetakan menggunakan interpolasi ketinggian muka air dengan tegangan geser yang dihasilkan dari analisa HEC-RAS (1-dimensi). Interpolasi data dilakukan dalam masing-masing daerah interpolasi, oleh karena itu, nilai-nilai dalam *overbank* tidak terpengaruh oleh nilai-nilai dalam *bank* (*User manual HEC-RAS v4.1*).

