

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

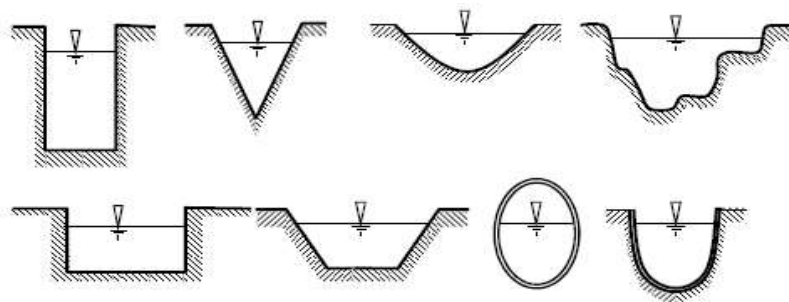
2.1 Saluran Terbuka

Aliran saluran terbuka adalah aliran yang dimana permukaan air memiliki bentuk yang bebas. Saluran terbuka dibagi menjadi 2 macam yaitu saluran alami dan saluran buatan. Saluran alami meliputi semua aliran air yang terbentuk secara alamiah tanpa ada campur tangan manusia dalam pembentukannya seperti sungai kecil pada hulu dan sungai besar pada muara, sedangkan untuk saluran buatan merupakan saluran air yang terbentuk oleh campur tangan manusia seperti saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembangkit listrik, saluran banjir, termasuk pemodelan saluran yang terdapat pada laboratorium guna melakukan penelitian.

Menurut Erizal (2013) dimana zat cair yang mengalir pada saluran terbuka mempunyai bidang kontak hanya pada dinding dasar saluran. Saluran terbuka dapat berupa:

- a. Saluran alamiah atau buatan,
- b. Galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan,
- c. Terbuat dari pipa, beton, batu bata, atau material lainnya,
- d. Dapat berbentuk persegi, segitiga, trapesium, lingkaran, tapal kuda, atau tidak beraturan.

Bentuk-bentuk saluran terbuka, baik saluran alami maupun buatan dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk potongan melintang saluran terbuka
(Erizal, 2013)

2.2 Klasifikasi Saluran Terbuka

Secara umum aliran saluran terbuka dibagi menjadi 2 yaitu aliran permanen (*Steady flow*) dan aliran aliran tidak permanen (*Unsteady flow*). Aliran permanen memiliki kondisi dimana komponen aliran yang tetap atau tidak berubah terhadap waktu, sedangkan aliran tidak permanen memiliki kondisi dimana komponen aliran dapat berubah terhadap waktu.

Menurut penjelasan Chow (1992) jenis aliran digolongkan menjadi beberapa jenis yang dibedakan dengan beberapa cara, yaitu:

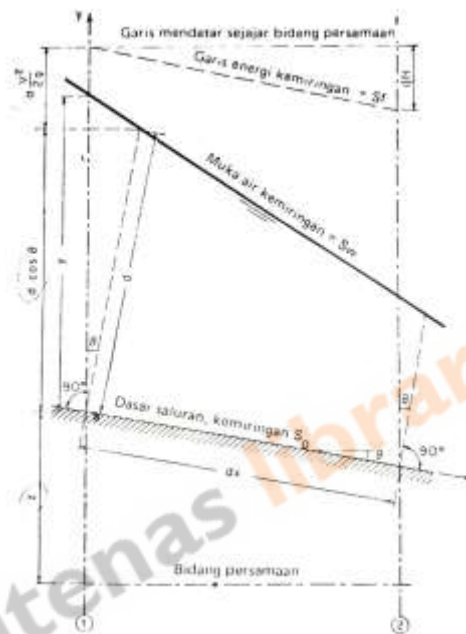
1. Waktu sebagai kriteria:
 - a. Aliran tunak (*Steady flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran tidak berubah atau bisa dikatakan konstan dalam suatu selang waktu tertentu.
 - b. Aliran tak tunak (*Unsteady flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sesuai dengan waktu.
2. Ruang sebagai kriteria:
 - a. Aliran seragam (*Uniform flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran.
 - b. Aliran berubah (*non-uniform flow/varied flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sepanjang saluran.
 - 1) Berubah tiba-tiba (*rapidly varied*) aliran yang kedalaman alirannya berubah tiba-tiba pada jarak yang cukup pendek.
 - 2) Berubah lambat laun (*gradually varied*) aliran yang kedalaman alirannya berubah lambat laun pada jarak yang relatif panjang.

2.3 Aliran Berubah Lambat Laun

Aliran berubah lambat laun merupakan aliran dengan kecepatan yang tetap namun memiliki kedalaman yang berubah-ubah secara lambat laun sepanjang saluran. Menurut Chow (1992) rumus aliran seragam dapat dipakai untuk menilai kemiringan energi aliran berubah lambat laun, hal tersebut dikarenakan pada aliran berubah lambat laun terjadi perubahan kecepatan secara gradual terhadap jarak

sehingga pengaruh percepatan pada aliran antara dua potongan yang berdekatan dapat diabaikan.

Penurunan persamaan dasar aliran berubah lambat laun ditunjukkan pada gambar 2.2 yang menjelaskan tentang suatu profil aliran berubah lambat laun pada suatu panjang dx dari suatu saluran terbuka.



Gambar 2.2 Penurunan persamaan aliran berubah lambat laun (Chow, 1992)

$$H = z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

- H = tinggi tekan total (m),
- z = jarak vertikal dasar saluran terhadap garis referensi (m),
- d = kedalaman aliran dihitung terhadap arah vertikal (m),
- θ = sudut kemiringan dasar saluran,
- α = koefisien energi,
- V = kecepatan aliran (m/s).

Dengan asumsi bahwa nilai θ dan α konstan sepanjang saluran yang ditinjau, persamaan dinamis aliran berubah lambat laun dapat diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (2.1) sehingga:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \cos \theta \frac{dd}{dx} + \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Karena kemiringan dianggap sinus sudut kemiringan (Buku Ajar Hidraulika ITENAS, Kumala), $\sin \theta$ dari gambar 2.2 menyatakan bahwa Kemiringan energi

$$S_f = -\frac{dH}{dx}$$

Sedangkan kemiringan dasar saluran,

$$S_0 = \sin \theta = -\frac{dz}{dx}$$

Masukkan nilai kemiringan energi dan kemiringan dasar saluran ke persamaan (2.2) akan didapatkan persamaan dinamik aliran berubah lambat laun yang ditunjukkan pada persamaan (2.3)

$$\frac{dd}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{\cos \theta + \alpha \frac{d}{dd} \left(\frac{V^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Pada persamaan (2.3) sudut kemiringan θ dianggap konstan sepanjang saluran. Apabila sudut kemiringan θ terdapat perbedaan pada jarak tertentu dan sudut kemiringan θ bernilai kecil maka $\theta \approx 1$, $d \approx y$ dan $dd/dx \approx dy/dx$. Untuk persamaan (2.3) akan menjadi

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 + \alpha \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Pada persamaan aliran berubah lambat laun, $\alpha d(V^2/2g)/dy$ menunjukkan nilai perubahan pada tinggi kecepatan aliran. Koefisien α dianggap konstan disepanjang saluran. Bila tidak, perubahan tinggi kecepatan akan dinyatakan dengan $d(\alpha V^2/2g)/dy$, dengan α merupakan fungsi x (chow, 1992). Dikarenakan $V = Q/A$ dan Q memiliki nilai konstan, $dA/dy = T$, maka persamaan tinggi kecepatan menjadi

$$\propto \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right) = - \frac{\alpha Q^2 T}{g A^3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Berhubung Z (Faktor Penampang) = $\sqrt{A^3/T}$, maka persamaan (2.5) menjadi

$$\propto \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right) = - \frac{\alpha Q^2}{g Z^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Apabila pada penampang saluran terjadi aliran kritis dengan debit Q , maka

$$Q = Z_c \sqrt{\frac{g}{\alpha}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Sehingga bila persamaan (2.7) dimasukkan pada persamaan (2.6) akan menjadi

$$\propto \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right) = - \frac{Z_c^2}{Z^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Unsur pada S_f pada persamaan (2.3) yang menyatakan sebagai kemiringan energi, menurut Chow (1992) kemiringan energi pada penampang saluran terbuka dengan aliran berubah lambat laun sama seperti kemiringan energi aliran seragam. Bila dipakai rumus Manning, kemiringan energi adalah

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{\frac{4}{3}}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Sedangkan bila dipakai rumus Chézy,

$$S_f = \frac{V^2}{C^2 R} \dots\dots\dots (2.10)$$

Bila dinyatakan dalam unsur hantaran K , maka persamaan (2.10)

$$S_f = \frac{Q^2}{K^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Apabila pada penampang terjadi aliran seragam dengan debit Q . kemiringan energi akan sama dengan kemiringan dasar dari persamaan (2.11) sehingga dapat dituliskan

$$S_o = \frac{Q^2}{K_n^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan K_n hantaran untuk aliran seragam pada kedalaman y_n . Unsur K_n ini dibedakan dengan hantaran K , karena nilai K menunjukkan nilai numerik hantaran pada kedalaman y dari aliran berubah lambat laun.

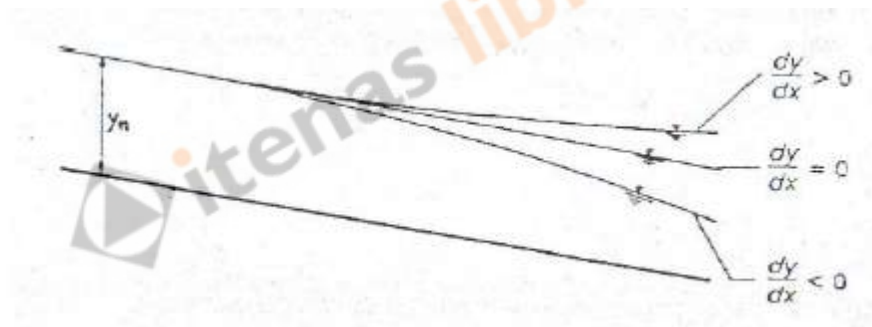
Persamaan (2.11) dibagi dengan persamaan (2.12)

$$\frac{S_f}{S_o} = \frac{K_n^2}{K^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Lalu masukkan persamaan (2.8) dan (2.13) ke persamaan (2.4)

$$\frac{dy}{dx} = S_o \frac{1-(K_n/K)^2}{1-(Z_n/Z)^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Persamaan (2.14) merupakan persamaan diferensial pada aliran berubah lambat laun yang digunakan untuk menggambarkan profil muka air aliran melalui saluran terbuka. Berdasarkan persamaan (2.14) dapat dibedakan tiga kondisi muka air berdasarkan nilai $\frac{dy}{dx}$, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Profil Muka Air
(Triatmodjo, 2003: 143)

Dengan syarat:

$\frac{dy}{dx} = 0$, maka muka air sejajar dengan dasar saluran.

$\frac{dy}{dx} > 0$, kedalaman air bertambah dengan aliran di sepanjang saluran.

$\frac{dy}{dx} < 0$, kedalaman air berkurang dalam aliran di sepanjang saluran.

(Triatmodjo, 2003: 143)

2.4 Koefisien Kekasaran Manning

Chezy merumuskan kecepatan aliran sebagai berikut:

$$V = C\sqrt{RI} \text{ (Triatmodjo, 2003: 110) } \dots\dots\dots (2.15)$$

Robert Manning merumuskan koefisien Chezy sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \text{ (Triatmodjo, 2003: 112) (2.16)}$$

Koefisien n merupakan fungsi dari bahan dinding saluran. Koefisien kekasaran Manning dijelaskan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Koefisien Manning n		
	Minimum	Normal	Maksimum
A. Gorong-gorong Tertutup Terisi Sebagian			
A-1. Logam			
a. Kuningan Halus	0,009	0,01	0,013
b. Baja			
1. Ambang Penerus dan dilas	0,01	0,012	0,014
2. Dikelang dan pilin	0,013	0,016	0,017
c. Besi tuang			
1. dilapis	0,01	0,013	0,014
2. tidak dilapis	0,011	0,014	0,016
d. Besi tempa			
1. Tidak dilapis	0,012	0,014	0,015
2. Dilapisi seng	0,013	0,016	0,017
e. Logam beralut			
1. Cabang pembuang	0,017	0,019	0,021
2. Pembuang banjir	0,021	0,024	0,03
A-2. Bukan logam			
a. Lusit	0,008	0,009	0,01
b. Kaca	0,009	0,01	0,013
c. Semen			
1. Acian	0,01	0,011	0,013
2. Adukan	0,011	0,013	0,015

(Chow, 1992)

2.5 Energi Spesifik

Energi spesifik dalam suatu penampang saluran dinyatakan sebagai energi air setiap satuan berat pada setiap penampang saluran yang diukur dari dasar saluran. Menurut persamaan (2.1) (Chow, 1992: 37) untuk $z = 0$, energi spesifik menjadi

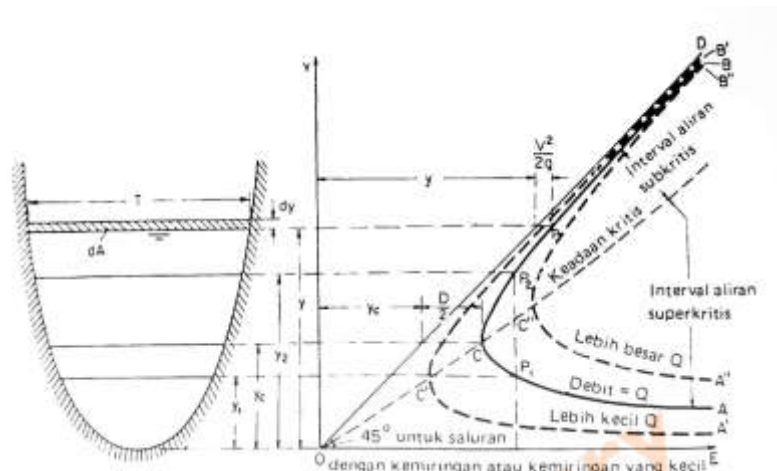
$$E = d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \text{ (2.17)}$$

Atau untuk saluran yang memiliki kemiringan kecil dan $\alpha = 1$

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \text{ (2.18)}$$

Karena $V = Q/A$, persamaan (2.18) untuk energi spesifik pada saluran yang kemiringannya kecil dan $\alpha = 1$, dapat ditulis

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \dots \dots \dots (2.19)$$



Gambar 2.4 Lengkung energi spesifik
(Chow, 1992)

Didiferensialkan terhadap y dengan ketentuan Q adalah konstan,

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{2gA^3} \frac{dA}{dy} = 1 - \frac{V^2}{gA} \frac{dA}{dy} \dots \dots \dots (2.20)$$

Selisih pada luas air dA di dekat permukaan bebas (Gambar 2.4) adalah sama dengan $T dy$. Dengan $dA/dy = T$ dan kedalaman hidrolik $D = A/T$, maka persamaan di atas menjadi

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{V^2 T}{gA} = 1 - \frac{V^2}{gD} \dots \dots \dots (2.21)$$

Pada keadaan kritis, aliran energi spesifik adalah minimum, atau $dE/dy = 0$. Sebab itu persamaan di atas menjadi

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{D}{2} \dots \dots \dots (2.22)$$

Persamaan diatas apabila disederhanakan lagi maka dapat ditulis

$$\frac{V}{\sqrt{gD}} = 1 \dots \dots \dots (2.23)$$

Karena nilai F (*Froude number*) = 1 pada aliran kritis, maka bilangan *Froude* dapat dinyatakan sebagai

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Klasifikasi menentukan jenis aliran bila ditinjau dari nilai *Froude* adalah

- $F < 1$, jenis aliran subkritis
- $F = 1$, jenis aliran kritis
- $F > 1$, jenis aliran superkritis

2.6 Klasifikasi Profil Muka Air

Persamaan dinamis aliran berubah lambat laun yang dikembangkan pada pasal (2.4) digunakan untuk menyatakan kemiringan dari permukaan aliran di sepanjang permukaan. Menurut Suripin (2004) profil muka air pada aliran dibedakan menjadi lima macam, diklasifikasi kan berdasarkan kemiringan dasar saluran, kondisi permukaan, geometri penampang melintang, dan debit aliran. Pengelompokan ini berdasarkan kondisi aliran di saluran yang diindikasikan oleh posisi relatif keadaan normal (y_n), dan kedalaman kritis (y_c). Ada pun kriteria profil muka air:

- *Horisontal slope* (datar) : $y_n \rightarrow \infty$
- *Mild slope* (landai) : $y_n > y_c$
- *Critical slope* (kritis) : $y_n = y_c$
- *Steep Slope* (curam) : $y_n < y_c$
- *Adverse slope* (berlawanan) : $y_n \rightarrow khayal$

Klasifikasi kurva profil muka air tergantung ratio y/y_c dan y/y_n dapat dipakai untuk analisis selanjutnya, dimana y adalah kedalaan aktual yang terjadi pada sembarang titik yang ditinjau (Suripin, 2004). Penjelasan dari berbagi profil muka air menurut Triatmodjo (2003):

1. Kurva M (*Mild*)

Profil M_1 terjadi apabila $y > y_n > y_c$. Suatu bangunan air seperti bendung, atau penyempitan dan belokan saluran dapat menyebabkan terjadinya pembendungan disebelah hulu bangunan. Kurva M_1 mempunyai

asimtot dengan kedalaman kedalaman normal di sebelah hulu dan asimtot dengan garis horizontal di sebelah hilir.

Profil M_2 terjadi apabila $y_n > y > y_c$, yang merupakan garis terjunan. Tipe ini terjadi pada saluran landai dengan ujung hilirnya adalah saluran curam, pelebaran saluran dan terjunan. Pada profil ini terjadi pengurangan pada kedalaman air.

Profil M_3 terjadi apabila $y_n > y_c > y$. Profil ini terjadi apabila air mengalir dari saluran curam menuju saluran landai, yaitu bagian dari loncatan air. Profil M_2 dan M_3 adalah sangat pendek bila dibandingkan dengan M_1 (Triatmodjo, 2003)

2. Kurva S (*Steep*)

Profil S_1 terjadi apabila $y > y_c > y_n$. Profil ini terjadi di sebelah hulu bangunan (bendung) yang berada di saluran curam, dimana di sebelah hulunya terdapat loncatan air.

Profil S_2 terjadi apabila $y_c > y > y_n$, biasanya terdapat pada perubahan aliran dan saluran landai masuk ke saluran curam, atau pemasukan ke saluran curam. Profil S_2 ini sangat pendek.

Profil S_3 terjadi apabila $y_c > y_n > y$, terdapat di sebelah hilir dari pintu air yang berada di saluran curam atau di sebelah hilir dari perubahan saluran curam ke saluran kurang curam. Profil ini merupakan transisi antara profil M dan S (Triatmodjo, 2003)

3. Profil C (*Critical*)

Profil ini terjadi apabila $y_n = y_c$, mengingat garis kedalaman normal dan kritis berhimpit maka hanya ada dua profil. Profil C_1 dan C_2 mempunyai asimtot terhadap garis horizontal di sebelah hilir (Triatmodjo, 2003)

4. Profil H (*Horizontal*)

Profil H terjadi apabila $y_n = \infty$ sehingga hanya ada dua profil yaitu H_2 dan H_3 . Profil ini serupa dengan profil M tetapi untuk dasar saluran horizontal. Profil H_2 dan H_3 sama dengan profil M_2 dan M_3 (Triatmodjo, 2003).

5. Profil A (*Adverse*)

Profil A terjadi apabila $S_o < 0$. Karena nilai y_n tidak riil. Maka hanya ada dua profil yaitu A_2 dan A_3 . Profil A_2 dan A_3 serupa dengan profil H_2 dan H_3 , (Triatmodjo, 2003)

Ada pun penjelasan oleh Chow (1992) mengenai jenis profil aliran dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis Aliran pada Saluran Prismatis (Chow, 1992: 205)

Kemiringan Saluran	Penandaan Saluran			Hubungan y terhadap y_n dan y_c			Jenis Lengkung Secara Umum	Jenis Aliran
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3		
Mendatar $S_o = 0$	Nihil			$y > y_n > y_c$			Nihil	Nihil
		H_2		$y_n > y > y_c$			Surut muka air	Subkritis
			H_3	$y_n > y_c > y$			Air Balik	Superkritis
Landai $0 < S_o < S_c$	M_1			$y > y_n > y_c$			Air Balik	Subkritis
		M_2		$y > y_n > y_c$			Surut muka air	Superkritis
			M_3	$y_n > y_c > y$			Air Balik	Superkritis
Kritis $S_o = S_c > 0$	C_1			$y > y_c = y_n$			Air Balik	Subkritis
		C_2		$y_n = y = y_c$			Sejajar Dasar Saluran	Seragam Kritis
			C_3	$y_c = y_n > y$			Air Balik	Superkritis
Menanjak $S_o > S_c > 0$	S_1			$y > y_c > y_n$			Air Balik	Subkritis
		S_2		$y_c > y > y_n$			Surut muka air	Superkritis
			S_3	$y_c > y_n > y$			Air Balik	Superkritis
Terjal $S_o < 0$	Nihil			$y > (y_n)^* > y_c$			Nihil	Nihil
		A_2		$(y_n)^* > y > y_c$			Surut muka air	Subkritis
			A_3	$(y_n)^* > y_c > y$			Air Balik	Superkritis

Tabel 2.3 Bentuk profil muka aliran (Chow, 1992)

	Profil Daerah 1: $y > y_n, y > y_c$	Profil daerah 2: $y_n > y > y_c$	Profil daerah 3: $y < y_n, y < y_c$
Kemiringan mendatar $y_n > y_c$	Nihil 	H2 	H3
Kemiringan landai $y_n > y_c$	M1 	A2 	M3
Kemiringan kritis $y_n = y_c$	C1 	C2 	C3
Kemiringan terjal $y_n < y_c$	S1 	S2 	S3
Kemiringan mendaki tak	Nihil 	A2 	A3

2.7 Persamaan Dasar Perhitungan Profil Aliran

Profil permukaan air dihitung dari satu penampang melintang ke penampang berikutnya untuk menyelesaikan persamaan energi dengan prosedur iteratif yang disebut metode langkah standar. persamaan energi yang digunakan pada *software* HEC-RAS ditulis sebagai berikut:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana: Z_1, Z_2 = jarak vertikal dasar saluran terhadap garis referensi (m),
 Y_1, Y_2 = kedalaman aliran dihitung terhadap arah vertikal (m),
 Q_1, Q_2 = debit aliran (m^3/s),
 a_1, a_2 = koefisien kecepatan saluran,
 g = percepatan gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$),
 h_e = kehilangan energi.

Kehilangan energi (h_e) antara dua penampang terdiri dari kehilangan gesekan dan kehilangan kontraksi atau ekspansi. persamaan kehilangan energi adalah sebagai berikut,

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana: L = panjang saluran (m),
 \bar{S}_f = referensi kemiringan saluran antara kedua penampang,
 C = koefisien kehilangan ekspansi atau kontraksi.

2.8 Evaluasi Kehilangan Kontraksi dan Ekspansi Saluran

Kehilangan kontraksi dan ekspansi dalam HEC-RAS dievaluasi sebagai berikut

$$h_{ce} = C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana: C = koefisien kontraksi dan ekspansi.

Program HEC-RAS menggunakan asumsi bahwa kontraksi terjadi apabila kecepatan aliran hilir lebih cepat dibandingkan kecepatan hulu, demikian pula, ketika kecepatan hulu lebih cepat dibandingkan kecepatan hilir, program akan mengasumsikan terjadi ekspansi aliran.

2.9 Faktor Distribusi aliran

Faktor distribusi aliran yang digunakan pada program HEC-RAS menggunakan persamaan dari Fread (1976), yaitu:

$$\phi_j = \frac{K_c}{K_c + K_f} \dots\dots\dots (2.28)$$

Persamaan diatas menyatakan distribusi aliran bila diketahui perbandingan dari nilai konveyan. Fread (1976) menggunakan asumsi bahwa kemiringan saluran memiliki nilai yang sama.

2.10 Bangunan Air

Bangunan air digunakan untuk memanfaatkan dan mengendalikan aliran pada suatu saluran. Bentuk dan ukuran bangunan dirancang sesuai dengan kebutuhan, kondisi saluran, kapasitas maksimum saluran, dana pembangunan, dan sifat hidrolis saluran. Pada laboratorium pemodelan bangunan air dilakukan untuk menganalisa kondisi sifat hidrolis saluran saat diberikan bangunan air, hal tersebut apakah bangunan air telah memenuhi karakteristik dan kebutuhan dari masalah yang ada pada saluran tersebut.

2.10.1 Bangunan Bendung

Bangunan bendung dibangun arah melintang sungai yang berfungsi untuk menaikkan permukaan aliran, tinggi tekan dan membendung aliran sungai sehingga aliran dapat dialihkan menuju saluran yang lain.

2.10.2 Bangunan Ambang

Bangunan ambang adalah salah satu bangunan air yang digunakan untuk menaikkan tinggi muka air serta menentukan debit aliran air. Ambang lebar juga digunakan sebagai alat ukur debit saluran.

2.11 Program HEC-RAS 5.0.7

Program HEC-RAS merupakan program yang dibuat untuk memudahkan para teknisi untuk memodelkan dan analisis aliran sungai. *River Analysis System* (RAS) dibuat oleh *Hydrologic Engineering center* (HEC) yang merupakan satu divisi didalam *Institute for Water Resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS memiliki 4 komponen model satu dimensi, yaitu:

- a. Hitungan profil muka air aliran permanen.
- b. Simulasi aliran tidak permanen.
- c. Perhitungna transpor sedimen.

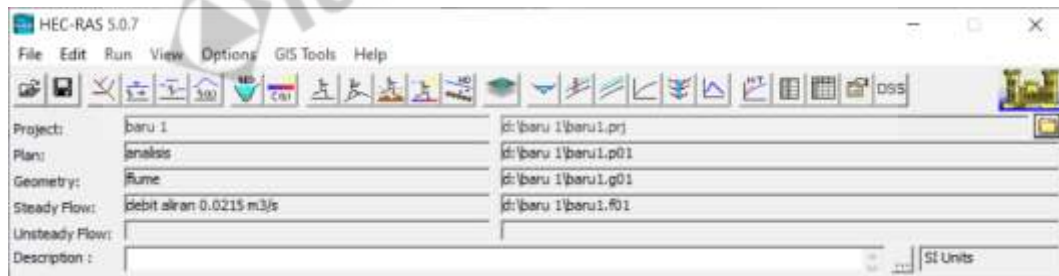
- d. Hitungan kualitas air.

HEC-RAS merupakan program yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan.

2.11.1 *Graphical user interface*

Interface ini berfungsi sebagai penghubung antara pemakai HEC-RAS. *Graphical interface* dibuat untuk memudahkan pemakaian HEC-RAS dengan tetap mempertahankan efisiensi. Melalui *graphical interface* ini, dimungkinkan untuk melakukan hal-hal berikut ini dengan mudah:

- a. Manajemen file,
- b. menginputkan data serta mengeditnya,
- c. melakukan analisis hidraulik,
- d. menampilkan data masukan maupun hasil analisis dalam bentuk tabel dan grafik,
- e. penyusunan laporan,
- f. mengakses on-line help.



Gambar 2.5 *Graphical user interface* HEC-RAS 5.0.7

2.11.2 Analisis Hidraulika

Pemodelan saluran terbuka dikategorikan ke dalam aliran permanen berubah lambat laun (*steady gradually varied flow*). Pada program HEC-RAS saluran dimodelkan dengan 1 jaringan saluran sungai tunggal. *Regime* aliran yang dapat dimodelkan adalah aliran sub-kritik, super-kritik, maupun campuran antar keduanya.

Langkah analisis profil muka air yang dilakukan berdasarkan persamaan energi (satu dimensi). Kehilangan energi diakibatkan oleh gesekan pada saluran (persamaan manning) dan kontraksi. Persamaan momentum digunakan bila ditemui aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*) seperti pada kondisi campuran variasi aliran sub-kritik dan super-kritik (*hydraulic jump*) pada saluran.

Analisis dipakai untuk melihat fenomena hidrolis berupa profil muka air aliran, energi spesifik, dan perubahan tinggi muka air yang ditinjau dari program HEC-RAS berdasarkan data dari penelitian terdahulu yaitu Eksperimental Aliran Berubah Beraturan Pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis (Hareseno; Jonas, 2017).

2.11.3 Manajemen dan Penyimpanan Data

Penyimpanan data dilakukan ke dalam “flat” files (format ASCII dan biner), serta file HEC-DSS. Data masukan dari pemakai HEC-RAS disimpan ke dalam file-file yang dikelompokkan menjadi: *project*, *plan*, *geometry*, *steady flow*, *unsteady flow*, dan sedimen data. Hasil keluaran model disimpan dalam binary file. Data dapat di transfer dari HEC-RAS ke program aplikasi lain melalui HEC-DSS file.

2.1.1 Grafik dan Pelaporan

Fasilitas grafik yang disediakan oleh HEC-RAS mencakup grafik X-Y alur sungai, tampang lintang, rating curves, hidrograf, dan grafik-grafik lain yang merupakan plot X-Y berbagai variabel hidraulik. HEC-RAS menyediakan pula fitur plot 3D beberapa tampang lintang sekaligus. Hasil keluaran model dapat pula ditampilkan dalam bentuk tabel. Pemakai dapat memilih antara memakai tabel yang telah disediakan oleh HEC-RAS atau membuat/mengedit tabel sesuai kebutuhan. Grafik dan tabel dapat ditampilkan di layar, dicetak, atau dicopy ke clipboard untuk dimasukkan ke dalam program aplikasi lain (*word processor*, *spreadsheet*).

2.12 Integrasi Numerik

Persamaan dinamis perubahan profil aliran lambat laun (*gradually varied flow*) pada dasarnya merupakan hasil penyelesaian untuk melakukan analisis profil aliran.

Metode yang digunakan untuk analisis menggunakan metode integrasi numerik untuk saluran berbentuk persegi yang merupakan metode analisis pendekatan yang mencakup integrasi pada aliran berubah beraturan.

Nilai K merupakan faktor hantaran (*conveyence*) dimana $K = 1/n AR^{2/3}$ (Buku Ajar Hidraulika ITENAS, Kumala). Apabila rumus K dan persamaan (2.5) dimasukkan ke dalam persamaan (2.4) maka menjadi

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \left(\frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} \right)}{1 - \left(\frac{Q^2 T}{g A^3} \right)} \dots\dots\dots (2.29)$$

Persamaan (2.29) merupakan persamaan diferensial tidak linear, mengingat ruas kanan dari persamaan adalah fungsi tidak linear terhadap y . Penyelesaian secara numerik dilakukan dengan menentukan persamaan deret Taylor (Triatmodjo, 2003)

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \frac{y_{i+1} - x_i}{x_{i+1} - x_i}, \text{ sehingga} \\ y_i + 1 - x_i &= y_i + \frac{dy}{dx} (x_i + 1 - x_i), \text{ atau} \\ y_i + 1 &= y_i + \frac{dy}{dx} \Delta x_i \text{ (Triatmodjo, 2003: 149) } \dots\dots\dots (2.30) \end{aligned}$$

Dengan $\Delta x_i = x_i + 1 - x_i$

Indikasi menunjukkan nilai dari fungsi (y , A , R , T) di sepanjang saluran. Apabila Δx_i memiliki nilai yang kecil maka nilai dy/dx dapat dianggap berubah secara linier di sepanjang saluran, maka:

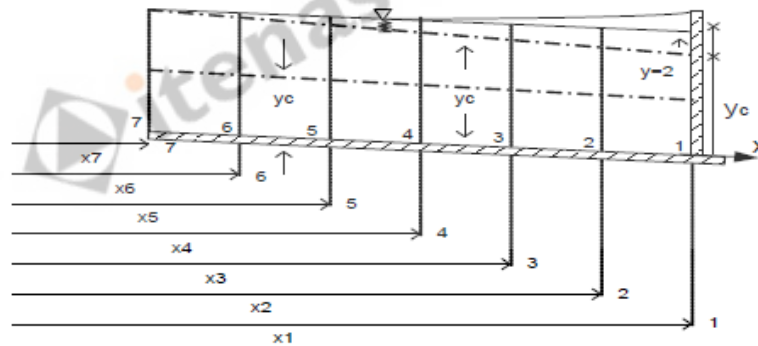
$$\begin{aligned} y_i + 1 &= y_i + \frac{\left(\frac{dy}{dx} \right)_i + \left(\frac{dy}{dx} \right)_{i+1}}{2} \Delta x_i, \text{ atau} \\ y_i + 1 &= y_i + \frac{f_i + f_{i+1}}{2} \Delta x_i \text{ (Triatmodjo, 2003) } \dots\dots\dots (2.31) \end{aligned}$$

Dengan $f = \frac{dy}{dx}$, kombinasi persamaan (2.29) menjadi:

$$f = \frac{S_0 - \left(\frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} \right)}{1 - \left(\frac{Q^2 T}{g A^3} \right)} \text{ (Triatmodjo, 2003) } \dots\dots\dots (2.32)$$

Ada pun penyelesaian persamaan deret Taylor yang ditunjukkan pada persamaan (2.31) dan (2.32), sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai y_i awal yang diketahui, hitung nilai f_i ,
2. Pertama kali harus diasumsikan bahwa $f_{i+1} = f_i$,
3. Dihitung nilai y_{i+1} dan dengan menggunakan nilai y_{i+1} yang telah diperoleh dari langkah 2,
4. Hitung nilai baru y_{i+1} dengan menggunakan nilai f_{i+1} yang dihitung dari nilai f_{i+1} dari langkah 3,
5. Apabila nilai y_{i+1} yang diperoleh dalam langkah 3 dan 4 menghasilkan perbedaan yang besar, maka langkah 3 dan 4 harus diulangi,
6. Setelah nilai y_{i+1} yang benar diperoleh, dihitung nilai y_{i+2} yang berjarak Δx_i dari y_{i+1} ,
7. Prosedur di atas diulangi lagi sampai diperoleh nilai y sejauh saluran yang ditinjau.



Gambar 2.6 Titik hitungan profil muka air
(Harseno, 2007)