

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 UMUM

Dalam bidang ilmu hidrolika, aliran dalam suatu saluran dapat dibedakan menjadi dua (2), yaitu menurut jenis salurannya antara lain, aliran dalam pipa (PIPE FLOW) serta aliran saluran terbuka (OPEN CHANNEL FLOW).

Sedangkan aliran saluran terbuka itu sendiri berarti saluran yang mengalirkan air dengan melalui suatu media berupa permukaan yang bebas (tidak tertutup). Dalam kehidupan sehari-hari saluran terbuka ini terbagi menjadi dua (2) pula, yaitu:

1. Saluran terbuka natural (alamiah), ialah saluran terbuka yang mengalirkan air melewati saluran alami; seperti, sungai, anak sungai, selokan kecil pegunungan. Untuk saluran alamiah seperti ini segala hal yang berhubungan dengan bidang hidrologi seperti, kemiringan dasar, kemiringan tebing, serta kekasaran tidak dapat merata, karena sudah ada dari alam itu sendiri.
2. Saluran terbuka buatan (ARTIFICIAL), ialah saluran yang mengalirnya air melalui saluran yang dibuat oleh manusia, contohnya seperti saluran irigasi, saluran pembangkit tenaga listrik, dan lain sebagainya. Dalam hal ini segala hal yang berhubungan dengan bidang ilmu

hidrolika dipergunakan dengan sebaik-baiknya, antara lain kemiringan dasar, kemiringan tebing(m), kekasaran serta lebar saluran.

Tetapi bila ditinjau berdasarkan perubahan kedalamannya, aliran terbuka dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Aliran seragam

Adalah aliran yang kedalaman serta lerengnya tidak berubah sedikitpun.

2. Aliran berubah - ubah

Adalah aliran yang kedalaman, lereng saluran serta tampang lintangnya berubah, yang disebabkan karena adanya penghalang dalam alirannya atau karena bertambahnya debit secara tiba-tiba. Sedangkan aliran berubah-ubah itu sendiri dapat dibedakan menjadi dua macam pula yaitu :

a. Aliran berubah-ubah beraturan

Artinya aliran yang mengalami perubahan lereng dasar serta kedalaman air yang berubah secara beraturan dari tempat yang satu ke tempat yang lain.

b. Aliran berubah-ubah tidak beraturan

Artinya aliran yang mengalami perubahan secara tiba-tiba.

Akan tetapi permasalahan yang akan penulis kemukakan di dalam tugas akhir ini adalah menyangkut aliran seragam yang berubah berangsur-angsur (beraturan).

Sedangkan untuk mendapatkan nilai jari - jari hidrolik saluran dengan membagi luas tampang dengan keliling basah saluran, yang mana

$$P = B + 2Y \sqrt{1 + m^2}$$

sehingga

$$R = A/P$$

dimana

P = keliling basah saluran (m)

B = lebar dasar saluran (m)

m = kemiringan lereng saluran

Y = kedalaman air (m)

Bentuk geometri setengah bagian dari segi enam (trapesium) dapat dipakai untuk mendapatkan luas, keliling basah saluran dari bentuk geometri yang lain seperti misalnya bentuk segi empat atau bentuk segi tiga. Untuk memakainya tinggal menghilangkan salah satu faktor dari lebar dasar saluran (B) atau kemiringan lereng saluran (m).

Sehingga dengan demikian debit (Q) dapat ditentukan karena Y sudah diketahui, yaitu dengan rumus :

n

$$Q = A * V \dots\dots\dots (2.2)$$

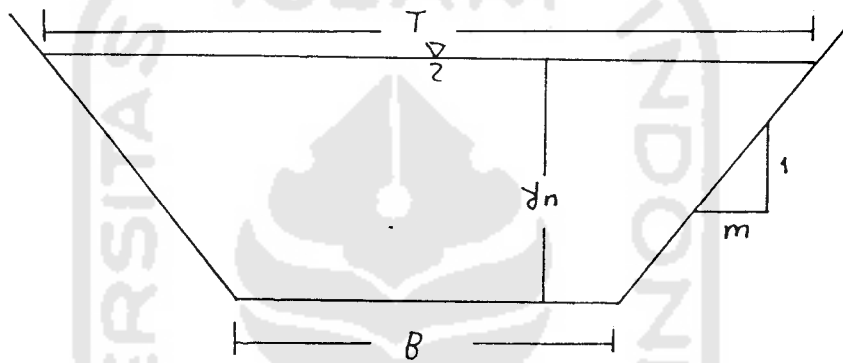
sedangkan

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2 GEOMETRI SALURAN.

Bentuk geometri saluran yang akan dipakai dalam tugas akhir ini adalah bentuk setengah dari segi enam (trapesium).Bentuk trapesium dapat dipakai untuk pendekatan ke dalam bentuk - bentuk yang lain, misalnya ke dalam bentuk segi empat, bentuk segi tiga atau bahkan ke dalam bentuk setengah lingkaran.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar 1.1



Gambar 2.1 Dimensi saluran bentuk trapesium

Sehingga dengan demikian dapat dicari luas tampang trapesium yaitu :

$$A = \left(B + \frac{m \cdot Y_n}{n} \right) \cdot \frac{Y_n}{2} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

A = luas tampang (m)

B = lebar saluran (m)

m = kemiringan lereng saluran

Y_n = kedalaman air normal (m)



dimana R (jari - jari hidrolis) adalah luas dibagi keliling basah yang di dalamnya terdapat fungsi Y (kedalaman normal).

Dengan demikian setelah debit diketahui, maka kedalaman air tepat di belakang bendung (Y) dapat dicari dengan menggunakan rumus " BELANGER " yaitu :

$$Q = M * B * d^{3/2} \sqrt{g} \dots\dots\dots (2.4)$$

yang mana $Y = p + d$

dimana :

Q = debit (m³ /det)

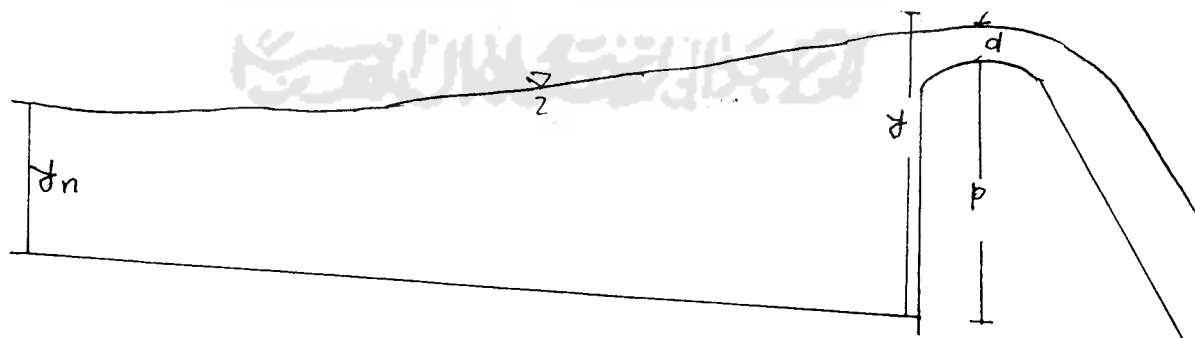
M = koefisien pembendungan

d = tinggi muka air di atas bendung (m)

p = tinggi bendung (m)

g = gravitasi (m /det²)

Sehingga dapat digambarkan garis alirannya dari titik kontrol (Y) ke arah hulu saluran, yaitu Y_{normal} . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Garis aliran kedalaman muka air

2.3 PROFIL MUKA AIR

Di dalam suatu aliran yang mengalir, baik yang mempunyai kemiringan dasar saluran landai, curam atau bahkan menanjak akan terjadi perubahan kedalaman muka air. Yang mana perubahan itu disebabkan karena :

1. Penyempitan atau pelebaran saluran.
2. Bendung (halangan pengaliran).
3. Perbedaan kecepatan aliran.

Dengan adanya sebab - sebab seperti tersebut di atas, maka pada saluran dapat terjadi beberapa perubahan profil muka air. Sedangkan profil muka air itu sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Profil kemiringan landai (MILD)
2. Profil kemiringan mendatar (HORIZONTAL)
3. Profil kemiringan curam (STEEP)
4. Profil kemiringan menanjak (ADVERSE)
5. Profil kemiringan kritis.

Tetapi dalam suatu saluran biasanya terdapat beberapa jenis profil muka air, dikarenakan oleh adanya perubahan di dalam saluran itu sendiri, sehingga aliran tersebut bisa dari aliran subkritis, kritis, atau ke superkritis.

Dengan mengetahui kedalaman kritis, kita dapat menggolongkan aliran tersebut ke dalam profil aliran seperti apa yang tersebut di atas. Sedangkan untuk mendapatkan kedalaman kritis dapat

mempergunakan rumus :

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2 (B + 2mY_c)}{g (B + m^2 Y_c^2)}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana

- Y_c = kedalaman kritis (m)
- Q = debit aliran (m³/det)
- B = lebar dasar saluran (m)
- m = kemiringan tebing saluran
- g = gaya gravitasi (m/det²)

sehingga apabila $Y_c < Y_n$, maka aliran tersebut adalah " SUB KRITIK ", tetapi apabila $Y_c > Y_n$, termasuk aliran " SUPER KRITIK "

". Selain dengan mempergunakan rumus di atas, juga dapat dengan mempergunakan rumus kecepatan, yaitu :

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana

$V =$ kecepatan aliran (m/det)

$g =$ gaya gravitasi (m /det ²)

$D = A/T$ (m) (2.8)

yang mana

$A =$ luas saluran (m ²)

$T =$ lebar permukaan saluran (m)

sehingga apabila

$F < 1$, aliran subkritik

$F = 1$, aliran kritis

$F > 1$, aliran superkritik

atau bahkan yang lebih mudah dengan menggunakan grafik, seperti yang terdapat pada gambar (2.3) .

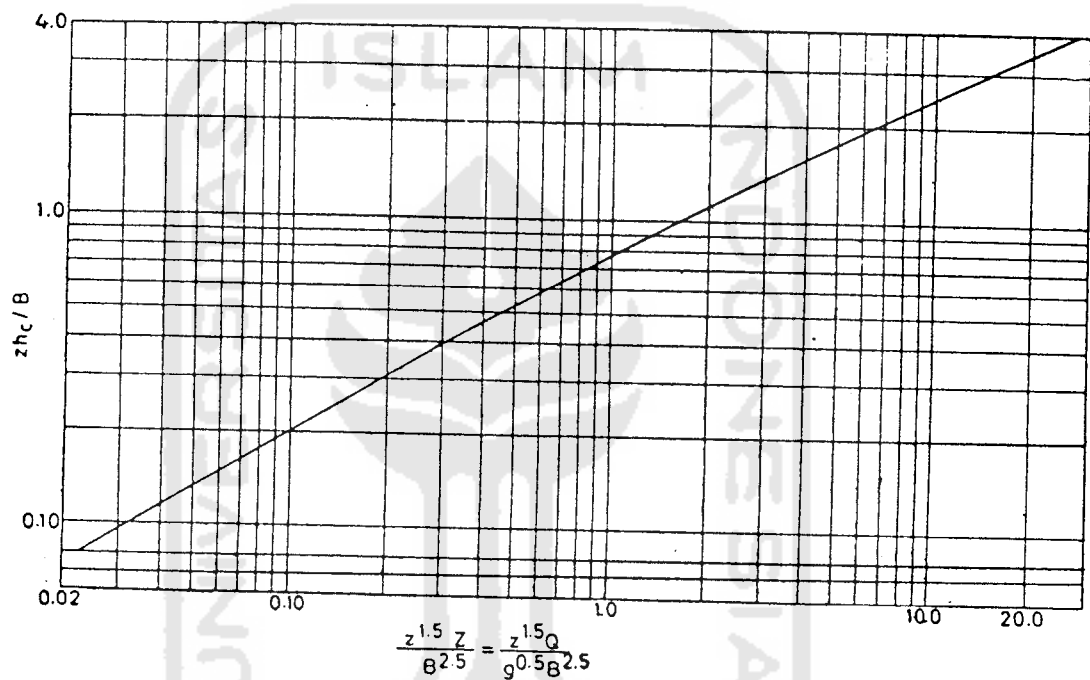
Dengan bantuan grafik, maka dapat dicari kedalaman kritis, yaitu dengan rumus :

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{g}}$$

setelah Z diperoleh, maka dapat dihitung

$$\frac{1,5}{2,5} \frac{m}{B} Z = X$$

setelah itu (X) dicari dalam grafik .



Gambar 2.3. Hubungan tanpa dimensi untuk kedalaman kritis di dalam saluran bentuk trapesium

(sumber : K G Ranga Raju ; Aliran melalui saluran terbuka)

Untuk mendapatkan nilai Y_c

$$Y_c = \frac{X * B}{m}$$

dimana :

Z = faktor penampang

m = kemiringan tebing saluran

B = lebar dasar saluran (m)

X = hasil yang didapat dari tabel

Dalam tugas akhir yang akan penulis kemukakan adalah profil muka air jenis landai (MILD), yaitu yang disebabkan oleh adanya pembendungan dalam saluran. Profil " MILD " itu sendiri dibedakan menjadi tiga (3) macam, yaitu :

1. Profil M_1

Profil muka air jenis M_1 adalah profil muka air yang terjadi karena adanya pembendungan, dimana kedalaman muka air normal lebih tinggi dari pada kedalaman kritis tetapi lebih kecil dari kedalaman air maksimal, dengan kata lain $Y_c < Y_n < Y_m$.

2. Profil M_2

Profil muka air jenis M_2 adalah profil muka air yang terjadi karena adanya suatu terjunan atau limpasan bebas pada akhir kemiringanlandai. Dengan kata lain karena adanya perbedaan kemiringan dasar saluran dari landai ke curam. Profil M_2 ini

ditunjukkan oleh Y_{normal} yang lebih besar dari Y_c serta Y_c atau dengan kata lain $Y_c < Y < Y_n$.

3. Profil M_3

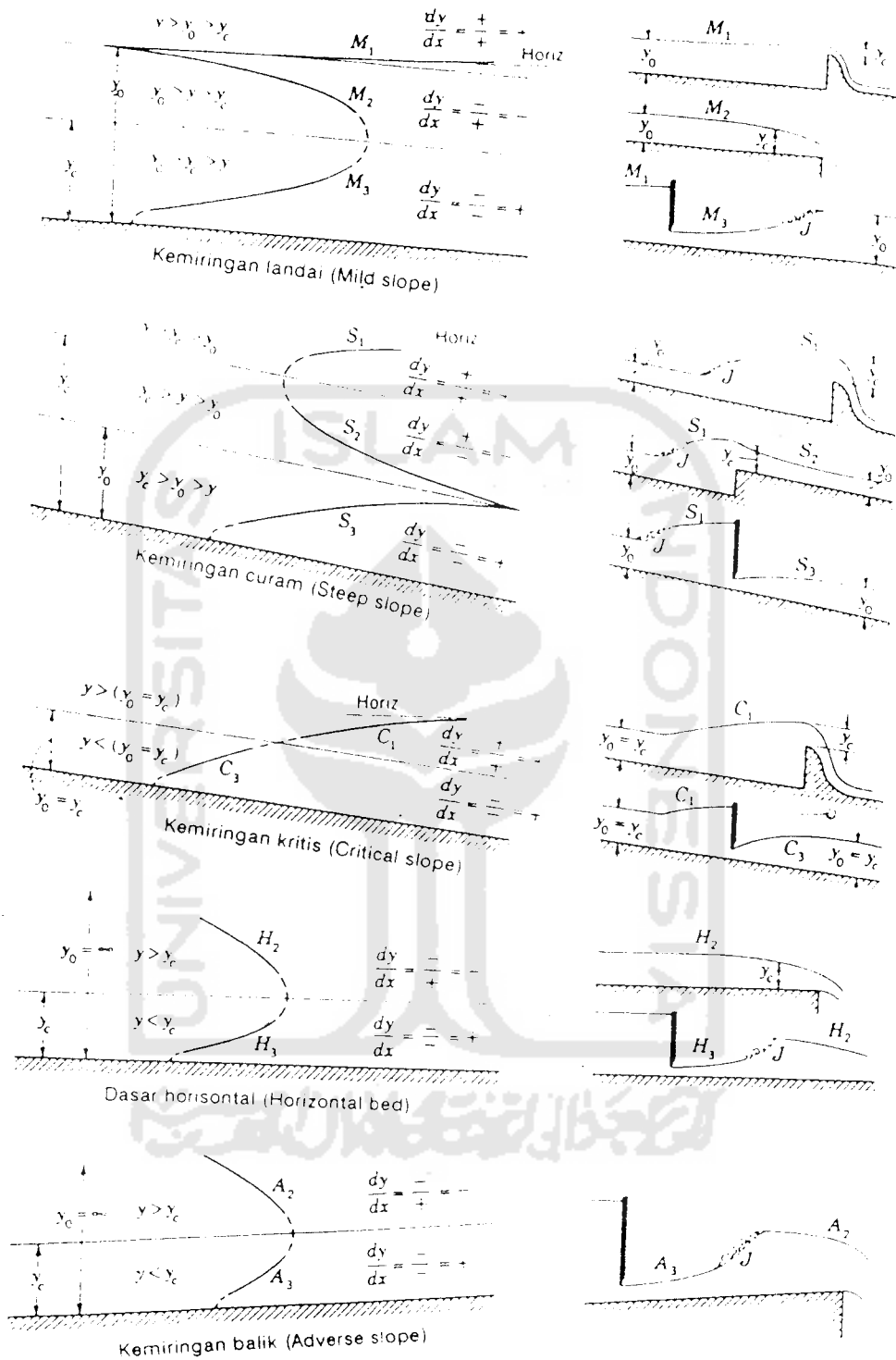
Profil muka air jenis M_3 ini diperoleh dari suatu saluran yang menghubungkan dua waduk, ketika kedalaman pada waduk yang lebih rendah adalah lebih kecil dari pada kedalaman normal. Biasanya profil muka air jenis M_3 ini terjadi pada keadaan dari aliran superkritis ke aliran subkritis.

Untuk lebih jelasnya dapat di lihat sketsa di halaman (17), dari beberapa profil muka air seperti tersebut di atas, yaitu profil kemiringan landai, kemiringan horisontal, kemiringan kritik, kemiringan menanjak, serta kemiringan curam.

Untuk laporan tugas akhir yang akan penulis ketengahkan adalah profil muka air dengan jenis M_1 .

Sedangkan untuk penghitungan profil muka air itu sendiri terdapat beberapa macam metoda (cara), yaitu :

1. Metoda integrasi numerik
2. Metoda integrasi grafis
3. Metoda integrasi langsung
4. Metoda langkah langsung
5. Metoda EZRA



Gambar 2.4. Skets profil muka air

6. Metoda GRIMM

Untuk metoda (cara) nomer satu (1) sampai dengan nomer empat (4) dipergunakan untuk menghitung profil muka air pada saluran terbuka buatan, sedangkan untuk metoda (cara) dari nomer lima (5) dan nomer enam (6) dipergunakan untuk menghitung profil muka air pada saluran terbuka yang tidak beraturan (alami). Metoda perhitungan dari nomer satu (1) sampai dengan nomer empat (4) diajarkan pada perguruan tinggi, tetapi untuk metoda EZRA serta metoda GRIMM tidak diajarkan di bangku kuliah.

2.3.1. Metoda integrasi numerik

Metoda integrasi numerik mengetengahkan suatu cara penghitungan differensial tidak linier dengan pendekatan secara numerik, yaitu dengan membuat pias - pias yang kecil.

Untuk mendapatkan besarnya kecepatan berdasarkan pada rumus " MANNING ", yaitu seperti persamaan yang ada di bawah ini.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

dimana

$$Q = A * V$$

sehingga

$$Q = A \frac{1}{N} R^{2/3} I^{1/2} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan demikian

$$I_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan kata lain I_f adalah garis kemiringan energi pada saluran.

Dikarenakan semuanya merupakan fungsi tidak linier dari $Y (A, P, R, T)$, maka dapat ditulis.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I_o - I_f}{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}} \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan $dy / dx = f$, maka

$$\Delta x = \frac{Y_1 - Y_2}{f} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana

Δx = jarak antara stasiun yang satu dengan stasiun yang lain (m)

Y = kedalaman air pada tiap - tiap stasiun (m)

f = hasil integrasi dari dy/dx

setelah itu dibuat tabel untuk mempermudah penyelesaian, seperti yang terdapat di bawah ini .

Tabel 1.1. Penyelesaian secara Integrasi Numerik

Y	I _o	f	f	Δx	L

2.3.2. Metoda Langkah Langsung

Metoda langkah langsung mengetengahkan suatu cara penyelesaian dengan mengambil perbedaan energi spesifik sebagai pedoman untuk mendapatkan perbedaan jarak, seperti yang ditunjukkan persamaan di bawah ini :

$$E_s = Y + \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2.14)$$

sedangkan

$$\Delta x = \frac{E_{s2} - E_{s1}}{I_o - I_f} \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana

$$I_f = \frac{n^2 Q^2}{A R^{4/3}}$$

disini I_f adalah merupakan kemiringan garis energi rata - rata, yang diperoleh dengan cara .

$$I_f = \frac{I_{f1} + I_{f2}}{2} \dots \dots \dots (2.16)$$

dimana

E_s = energi spesifik

Y = kedalaman air pada tiap - tiap stasiun (m)

I_f = kemiringan garis energi (m)

A = luas saluran (m²)

n = koefisien kekasaran Manning

Q = debit saluran (m³/det)

I_o = kemiringan dasar saluran

g = gaya gravitasi (m²/det²)

Dengan demikian dikarenakan semuanya merupakan fungsi dari Y , maka profil muka air pada saluran dapat dicari.

Untuk lebih memudahkan penyelesaian, maka dibuat tabel, seperti yang ada pada halaman berikut ini.

Tabel 2.2. Penyelesaian secara Langkahah Langsung

δ	A	R	V	$\frac{V^2}{2g}$	E	δE	I_f	\bar{I}_f	$I_0 - \bar{I}_f$	ΔX	L

2.3.3. Metoda integral langsung

Metoda ini merupakan suatu cara perhitungan profil muka air yang paling sederhana. Metoda integral langsung dibagi menjadi tiga macam cara, yaitu :

1. Cara Bresse

Cara perhitungan Bresse ini hanya dipergunakan untuk saluran empat persegi panjang saja, serta untuk aliran plat (aliran yang perbandingan kedalaman dengan lebar saluran sangat besar, yaitu $B \geq 20 Y_n$).

2. Cara Bakhmeteff

Bakhmeteff menyempurnakan cara Bresse dengan faktor koreksi momentum (β) dianggap konstan. Cara Bakhmeteff ini lebih baik (teliti) dari pada cara Bresse.

3. Cara Chow

Cara yang terakhir dari perhitungan integral langsung inilah yang paling baik, sehingga para ahli menyarankan untuk memakai cara ini.

Untuk permasalahan yang akan kita ketengahkan yaitu adalah Integral langsung dengan cara Bresse. Yang mana cara Bresse ini mengasumsikan koefisien Chezy adalah konstan (tetap).

Persamaannya adalah

$$i \Delta X = (Y_1 - Y_2) + (1 - \frac{\alpha_i i}{\delta_i g}) (\phi_2 - \phi_1) Y_n$$

dengan

$$\phi = \frac{1}{6} \ln \frac{u^2 + u + 1}{(u - 1)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}}{2u + 1}$$

dimana

$$u = \frac{Y}{Y_n}$$

dimana

i = kemiringan dasar saluran

Δx = jarak antara stasiun yang satu dengan stasiun yang lain (m)

Y_n = kedalaman normal (m)

Y = kedalaman air tiap stasiun (m)

α = koefisien koriolis

ϵ = tebal kekasaran dasar saluran

g = gaya gravitasi (m /det²)

sedangkan untuk mendapatkan nilai

$$\epsilon = \frac{1}{C^2}$$

dimana

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

dengan demikian

$$\epsilon = \frac{n^2}{R^{1/3}}$$

dimana

C = koefisien Chezy (m^{1/2})

n = koefisien Manning

R = jari - jari hidrolis (m)

Setelah semuanya sudah didapatkan, maka dibuat tabel, seperti yang terdapat pada halaman berikut ini.

Tabel 1.3. Penyelesaian secara Integrasi Langsung

Y	Y / Y _n	∅	d∅	Δx	L

Untuk perhitungan langkah langsung dikarenakan debitnya sama, tetapi luas tampang basahya berbeda, maka tinggi kecepatannya akan berbeda pula.

2.3.4. Metoda Integrasi Grafis

Metoda integrasi grafis mengetengahkan suatu cara penyelesaian perhitungan profil muka air dengan pendekatan secara grafis. Metoda ini setelah diintegralkan baru didapatkan nilai f(Y), sehingga setelah itu baru dicari jaraknya (Δx) dengan cara dianggap seperti menghitung luas trapesium. Persamaannya adalah seperti yang ditunjukkan pada halaman berikut ini.

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{\int_0^y \frac{Q}{A R^{4/3}} dy} \dots \dots \dots (2.19)$$

sehingga, $dx = f(y) dy$

dimana

$Q =$ debit saluran (m^3 /det)

$T =$ lebar permukaan saluran (m)

$g =$ gaya gravitasi (m^2 /det)

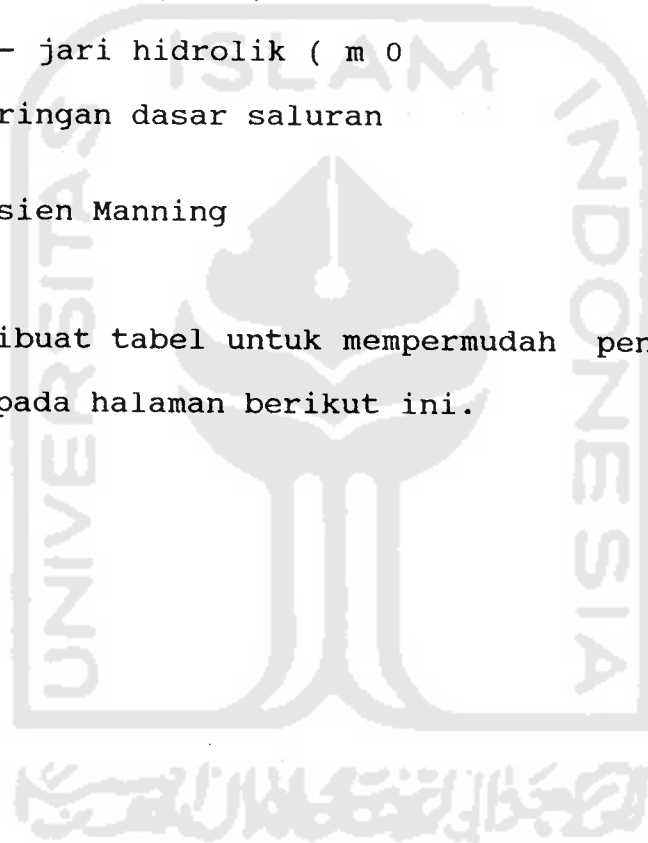
$A =$ luas saluran (m^2)

$R =$ jari - jari hidrolik (m)

$I =$ kemiringan dasar saluran

$n =$ koefisien Manning

Setelah itu dibuat tabel untuk mempermudah penghitungan, seperti yang terdapat pada halaman berikut ini.



Tabel 1.4. Perhitungan cara Integrasi Grafis

γ	A	T	R	$\frac{Q^2 T}{g A^3}$	$\frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$	$1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}$	$I_0 - \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$	$\frac{dx}{d\gamma}$	Δx	L

