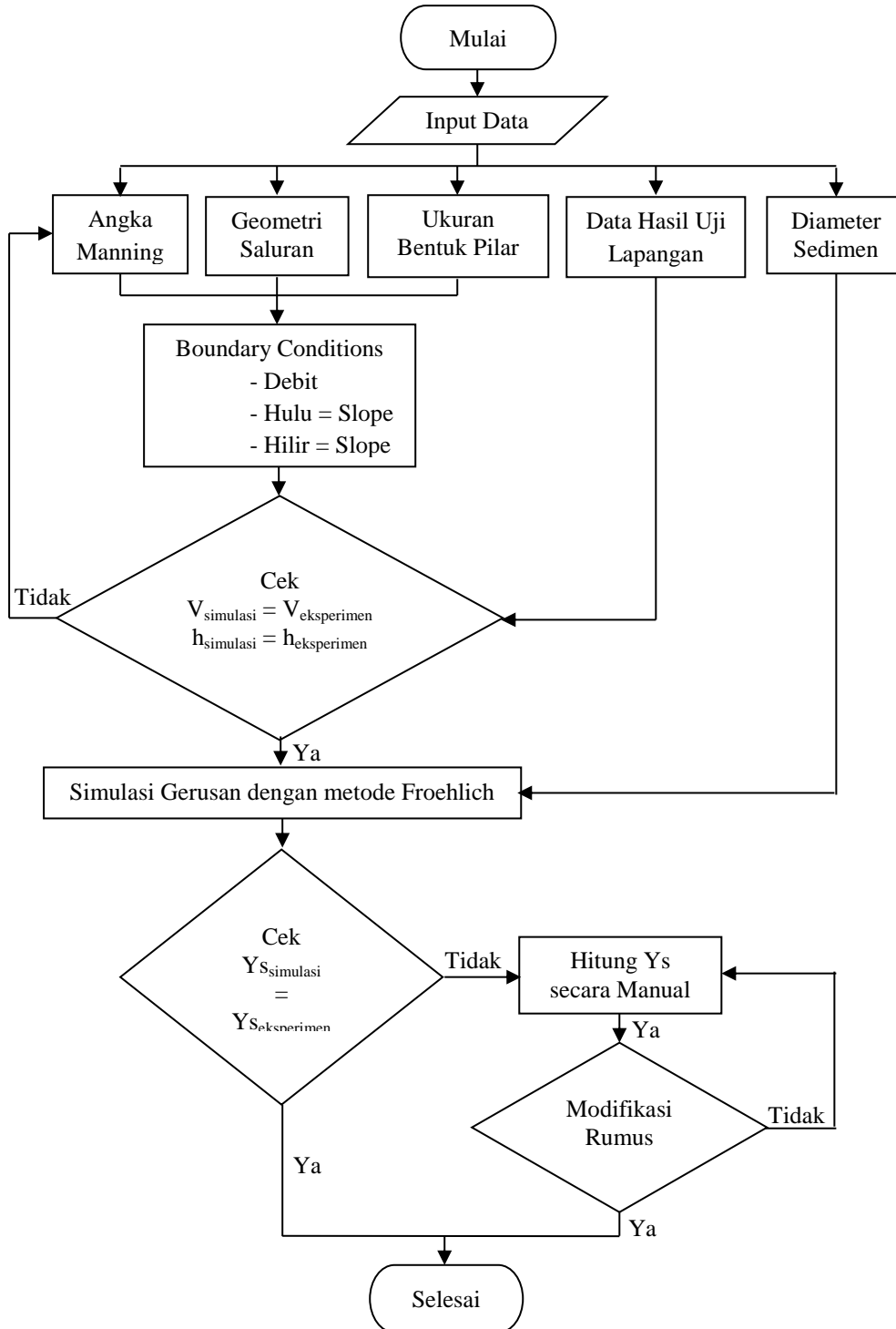


**BAB IV**  
**METODOLOGI PENELITIAN**  
**A. Bagan Alir Rencana Penelitian**



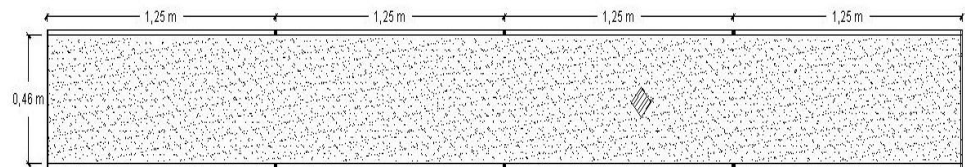
Gambar 4.1 Bagan alir rencana penelitian

## B. Data Hasil Uji Laboratorium

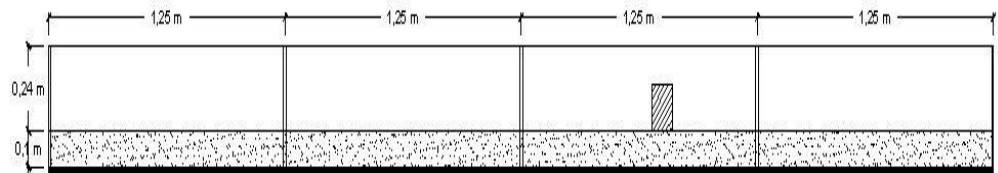
Data-data yang digunakan adalah sebagai berikut:

### 1. Saluran

Data saluran (*flume*) merupakan data rencana yang dibuat dengan menyesuaikan kondisi laboratorium Keairan dan Lingkungan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. *Flume* yang dirancang memiliki panjang 5 meter dengan lebar saluran utama 0,46 meter. Gambar 4.2 dan 4.3 merupakan gambaran tampak atas dan samping *flume*.



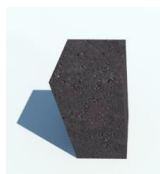
Gambar 4.2 Tampak atas *flume*



Gambar 4.3 Tampak samping *flume*

### 2. Pilar

Model pilar yang dipakai adalah persegi dan lingkaran. Ukuran dari masing-masing pilar sama, yaitu dengan tinggi 15,24 cm dan lebar atau diameter 7,62 cm. Ukuran pilar juga ikut menyesuaikan ketersediaan ruang pada *flume*. Gambar 4.4 (a) dan (b) merupakan model pilar persegi dan lingkaran.



(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Pilar persegi (b) Pilar Lingkaran

### 3. Angka Slope

Angka slope merupakan kemiringan dari *flume*. Untuk mendapatkan angka slope, *flume* di dongkrak menggunakan alat dongkrak. Data yang diperlukan dalam perhitungan ini adalah beda tinggi hulu dan hilir ( $\Delta h$ ) serta panjang saluran (L). Hitungan sebagai berikut:

- Aliran subkritik

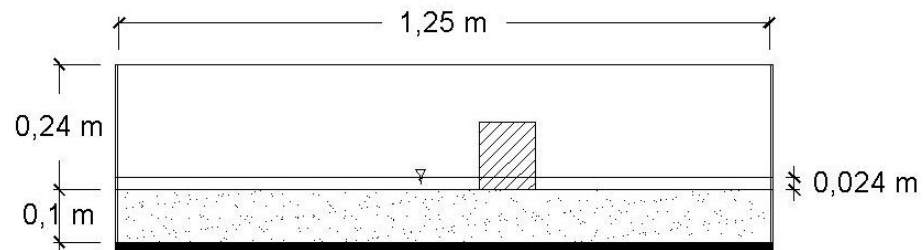
$$S = \frac{\Delta h}{L} = \frac{0,02}{5} = 0,004$$

- Aliran superkritik

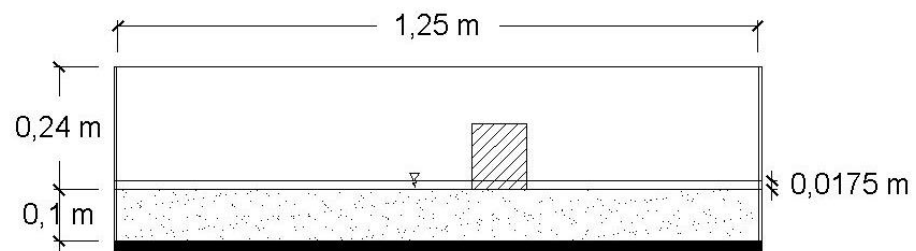
$$S = \frac{\Delta h}{L} = \frac{0,179}{5} = 0,0385$$

### 4. Kedalaman Aliran

Nilai kedalaman aliran di dapat dengan cara menempelkan penggaris di tepian *flume* yang terbuat dari kaca sehingga ketika aliran mengalir kedalaman aliran dapat dihitung melalui penggaris. Kedalaman aliran untuk aliran subkritik sebesar 2,45 cm. Kedalaman aliran untuk aliran superkritik sebesar 1,75 cm. Kedalaman aliran dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Kedalaman aliran kondisi subkritik



Gambar 4.6 Kedalaman aliran kondisi superkritik

## 5. Debit

Pada penelitian ini debit dihitung secara manual. Data yang diperlukan dalam perhitungan ini adalah tinggi air pada peluap ( $hp$ ) dan koefisien debit ( $Cd$ ).

Hitungan sebagai berikut;

- Aliran subkritik

$$\begin{aligned} hp &= \cos \frac{\alpha}{2} \times h_{\text{miring}} \\ &= \cos \frac{90}{2} \times 0,135 \\ &= 0,095 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{8}{15} \times Cd \times \tan \frac{\alpha}{2} \times \sqrt{2g} \times hp^{5/2} \\ &= \frac{8}{15} \times 0,6574 \times 1 \times \sqrt{2 \times 9,81} \times 0,095^{5/2} \\ &= 0,0043 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Aliran superkritik

$$\begin{aligned} hp &= \cos \frac{\alpha}{2} \times h_{\text{miring}} \\ &= \cos \frac{90}{2} \times 0,15 \\ &= 0,106 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{8}{15} \times Cd \times \tan \frac{\alpha}{2} \times \sqrt{2g} \times hp^{5/2} \\ &= \frac{8}{15} \times 0,60345 \times 1 \times \sqrt{2 \times 9,81} \times 0,106^{5/2} \\ &= 0,00522 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

## 6. Kecepatan

Pada penelitian ini kecepatan dihitung secara manual. Data yang diperlukan dalam perhitungan ini adalah luas basah penampang ( $A$ ) dan debit ( $Q$ ). Hitungan sebagai berikut;

- Aliran subkritik

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0043}{0,01127} = 0,388 \text{ m/s}$$

- Aliran superkritik

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0052}{0,00805} = 0,648 \text{ m/s}$$

## 7. Angka Manning

Pada penelitian ini angka manning dihitung secara manual. Data yang diperlukan dalam perhitungan adalah lebar *flume*, kedalaman aliran, kecepatan aliran dan slope. Hitungan sebagai berikut;

- Aliran subkritik

$$A = b \times h = 0,46 \times 0,0245 = 0,01127 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times (b + h) = 2 \times (0,46 + 0,0245) = 0,509 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,01127}{0,509} = 0,02214 \text{ m}$$

$$n = \frac{1}{V} \times R^{2/3} \times S^{1/2} = \frac{1}{0,388} \times 0,02214^{2/3} \times 0,004^{1/2} = 0,01285$$

- Aliran superkritik

$$A = b \times h = 0,46 \times 0,0175 = 0,00805 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times (b + h) = 2 \times (0,46 + 0,0175) = 0,495 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,00805}{0,495} = 0,01626 \text{ m}$$

$$n = \frac{1}{V} \times R^{2/3} \times S^{1/2} = \frac{1}{0,6488} \times 0,01626^{2/3} \times 0,0358^{1/2} = 0,01872$$

## 8. Sedimen

D50 merupakan diameter median dari ukuran sedimen. Nilai D50 berasal dari sedimen yang terbawa oleh aliran. Sedimen tersebut diayak dan banyak sedimen yang tertahan di saringan no. 16 dan no.20. Nilai D50 adalah 0,975 mm yang artinya 50% sedimen yang terangkut oleh aliran memiliki diameter butiran sebesar 0,975 mm.

Data hasil pengujian laboratorium juga dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Laboratorium

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Panjang saluran (P)	5	m
2	Lebar saluran utama (L)	0,46	m
3	Angka Slope		
	a. Subkritik	0,004	
	b. Superkritik	0,0358	
4	Kedalaman Aliran (h)		
	a. Subkritik	0,0245	m
	b. Superkritik	0,0175	m

Tabel: Lanjutan

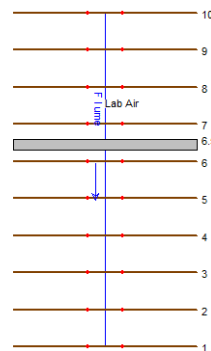
5	Angka Manning		
	a. Subkritik	0,01285	
	b. Superkritik	0,01872	
6	Debit Aliran (Q)		
	a. Subkritik	0,0043	m <sup>3</sup> /s
	b. Superkritik	0,0052	m <sup>3</sup> /s
7	Kecepatan Aliran (V)		
	a. Subkritik	0,388	m/s
	b. Superkritik	0,6488	m/s
8	Dimensi pilar		
	a. Lingkaran		
	Diameter	0,0762	m
	Tinggi	0,1524	m
	b. Persegi		
	Sisi	0,0762	m
	Tinggi	0,1524	m
9	Ukuran sedimen 50% (D <sub>50</sub> )	0,975	mm

Sumber: Hasil uji laboratorium

### C. Kondisi Simulasi

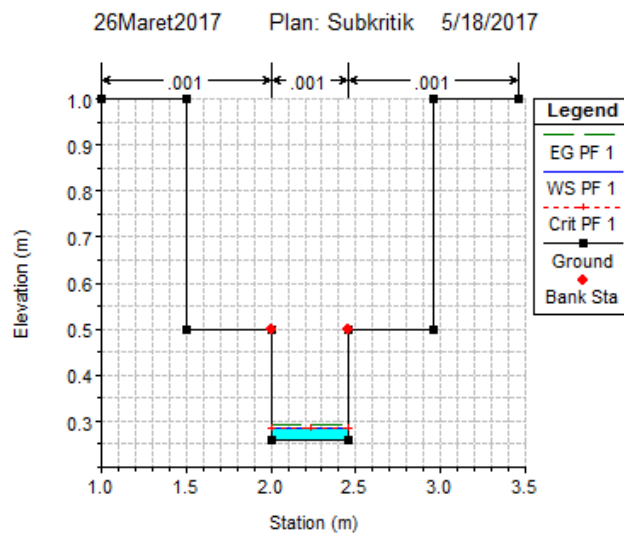
#### 1. Geometri

Saluran (*flume*) yang dimodelkan berbentuk lurus sehingga untuk simulasi saluran cukup dengan menarik garis lurus secukupnya. Setelah mengisi beberapa perintah dari *cross section* (yang akan dibahas di point berikutnya) maka tampilan dari geometri simulasi saluran dapat dilihat pada Gambar 4.7.



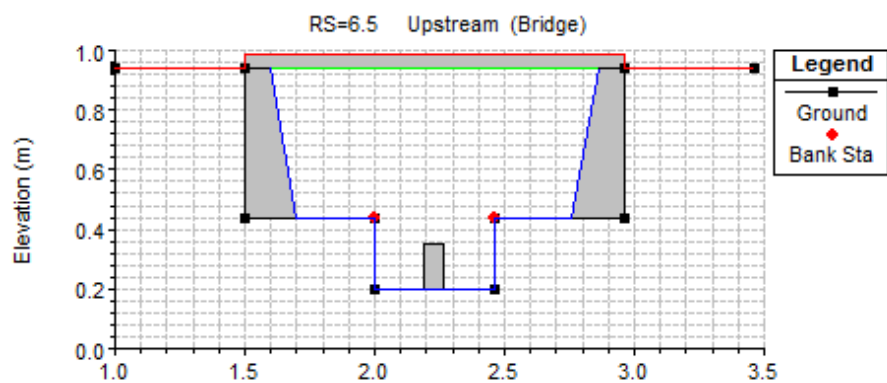
Gambar 4.7 Tampilan simulasi geometri saluran

Penampang *flume* berbentuk persegi panjang namun dalam simulasi ini, bentuk penampang diubah. Dalam HEC-RAS untuk melakukan *running* gerusan, penampang harus memiliki *deck* dan *abutment*. Jika di dalam penampang tersebut hanya ada pilar maka *running* akan *error*. Untuk tetap dapat *running* gerusan tanpa adanya *error*, bentuk penampang diubah menjadi kombinasi persegi panjang – persegi panjang seperti Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Tampilan penampang

Kombinasi penampang akan mempermudah *running* gerusan. Bagian penampang persegi panjang yang besar akan diberi *deck* dan *abutment*. Sedangkan bagian penampang persegi panjang yang kecil akan menjadi saluran utama dimana posisi pilar berada seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Tampilan simulasi penampang saluran

Dengan kombinasi penampang persegi panjang – persegi panjang, gerusan pada pilar tetap bisa di running tanpa dipengaruhi oleh *deck* dan *abutment*.

## 2. Cross Section

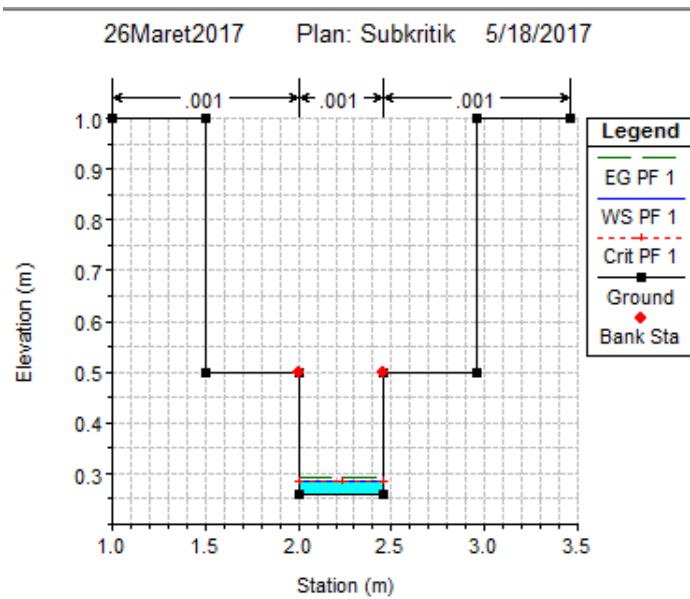
*Cross section* memiliki *River*, *Reach*, *River Station* dan *Description* yang berfungsi untuk menggambarkan letak *cross section* tersebut pada sistem sungai. *River station* tidak secara aktual menunjukkan letak *cross section* pada sistem sungai tetapi hanya menunjukkan angka penampang.

Tabel *cross section coordinate* diisi dengan letak *station* dan *elevation*. Sumbu x diisi dengan letak *station* yang sesuai dengan bentuk penampang. Koordinat station saluran utama terdapat pada nomor 4 hingga 7 dimana lebar penampang 0,46 m disesuaikan dengan koordinat menjadi 2,46. Sumbu y diisi dengan *elevation* yang merupakan tinggi penampang. Koordinat station saluran utama terdapat pada nomor 4 hingga 7 dimana tinggi penampang 0,24 m disesuaikan dengan hasil pengurangan koordinat nomor 4 dengan nomor 5. Dalam simulasi ini angka yang dipakai dalam memasukkan letak *station* dapat disesuaikan dengan pilihan sendiri namun tetap memiliki ukuran dan bentuk yang sama dengan penampang pada *flume*. Gambar 4.10 terlihat koordinat *cross section* untuk *river station* no.10 yang terletak di hulu. Gambar 4.11 merupakan bentuk penampang pada *river station* nomor 10.

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	1	1
2	1.5	1
3	1.5	0.5
4	2	0.5
5	2	0.26
6	2.46	0.26
7	2.46	0.5
8	2.96	0.5
9	2.96	1
10	3.46	1
11		

Gambar 4.10 Dialog *cross section coordinates river sta.10*





Gambar 4.11 Bentuk penampang *river station* no.10

*Cross section* diurutkan dari nomor *river station* terbesar ke nomor *river station* terkecil. *Cross section* dengan nomor *river station* terbesar akan terletak di hulu sungai. Banyaknya jumlah *cross section* menyesuaikan dengan panjang *flume*. Panjang *flume* 5 meter akan dibagi tiap 0,5 meter untuk satu *river station* sehingga akan terdapat 10 *river station*. Jarak masing-masing *river station* diisi pada kolom dialog *downstream reach lengths* seperti yang terlihat pada Gambar 4.12.

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
0.5	0.5	0.5

Gambar 4.12 Dialog *downstream reach lengths*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, saluran utama dalam simulasi ini terletak pada bagian persegi panjang kecil dari saluran kombinasi persegi panjang – persegi panjang. Posisi saluran utama dapat diisi di kolom dialog *main channel bank stations* sesuai dengan koordinasi *station* penampang seperti Gambar 4.13.

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
2	2.46

Gambar 4.13 Dialog *main channel bank stations*

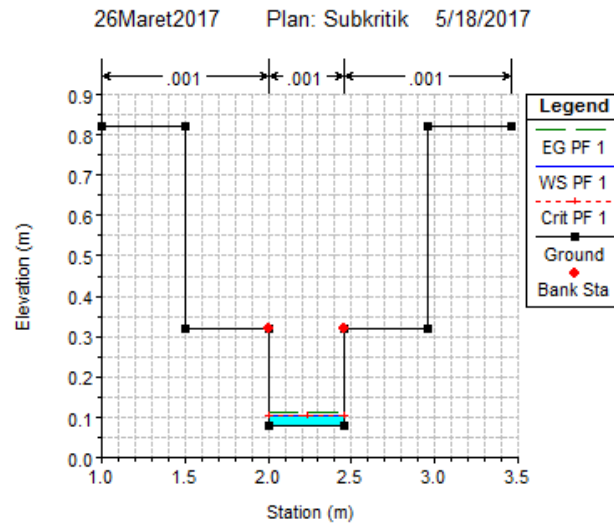
Untuk angka koordinat elevasi *river station* no.10 dapat disesuaikan dengan pilihan sendiri namun tetap memiliki ukuran dan bentuk yang sama dengan penampang pada *flume* seperti Gambar 4.8. Adanya kemiringan (*slope*) pada saluran akan membuat elevasi setiap *river station* berbeda. Pada sub bab sebelumnya telah di ketahui nilai elevasi ( $\Delta h$ ) tiap kondisi aliran. Angka koordinat pada *river station* sebelumnya akan dikurangkan dengan nilai  $\Delta h$  untuk mendapatkan angka koordinat *river station* berikutnya. Sebagai contoh untuk *river station* 9 kondisi aliran subkritik, maka akan dihitung sebagai berikut;

$$\begin{aligned}
 \text{Koordinat elevasi } river \text{ sta.9} &= \text{koordinat elevasi river sta.10} - \Delta h \\
 &= 0,5 - 0,02 \\
 &= 0,48
 \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan hingga *river station* bagian hilir. Gambar 4.14 terlihat koordinat *cross section* untuk *river station* no.1 yang terletak di hilir. Gambar 4.15 merupakan bentuk penampang pada *river station* nomor 1.

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	1	0.82
2	1.5	0.82
3	1.5	0.32
4	2	0.32
5	2	0.08
6	2.46	0.08
7	2.46	0.32
8	2.96	0.32
9	2.96	0.82
10	3.46	0.82
11		

Gambar 4.14 Dialog *cross section coordinates river sta.1*



Gambar 4.15 Bentuk penampang *river station* no.1

### 3. Angka Manning

Angka manning merupakan angka kekasaran berdasarkan rumus Manning. Kekasaran suatu saluran tergantung dari jenis material atau kondisi permukaan saluran. *Flume* pada penelitian ini memiliki permukaan dari pasir halus dengan pinggiran kaca.

Tabel 4.2 Harga Koefisien *Manning*

Bahan	Koefisien Manning (n)
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran dengan galian batu padas	0,040


*Sumber: Triatmodjo, 2008*

Menurut Triatmodjo pada tahun 2008 sesuai dengan Tabel 4.2, nilai kekerasan untuk permukaan pasir halus dengan pinggiran kaca tidak ada. Sehingga angka kekerasan manning *flume* dihitung secara manual yang terdapat pada sub bab sebelumnya. Angka kekerasan

Manning tersebut akan disimulasikan pada HEC-RAS untuk mendapatkan nilai kecepatan dan kedalaman aliran. Pada Gambar 4.16 merupakan kolom dialog *Manning's n values* pada HEC-RAS.



Gambar 4.16 Dialog *Manning's n values*

Setelah memasukkan batasan kondisi dan *running steady flow* perlu dilakukannya pemeriksaan pada kecepatan dan kedalaman aliran untuk menyamai kecepatan dan kedalaman aliran dengan kondisi eksperimen. Cara melakukan pemeriksaan dengan mengklik *icon view summary output table by profile*  hingga memunculkan *profile output table* seperti Gambar 4.17.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Lab Air	10	PF 1	0.00	0.26	0.28	0.28	0.29	0.004761	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	9	PF 1	0.00	0.24	0.26	0.26	0.27	0.004761	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	8	PF 1	0.00	0.22	0.24	0.24	0.25	0.004761	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	7	PF 1	0.00	0.20	0.23	0.22	0.24	0.001448	0.28	0.02	0.46	0.49
Lab Air	6.5											
Lab Air	6	PF 1	0.00	0.18	0.20	0.20	0.21	0.004763	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	5	PF 1	0.00	0.16	0.18	0.18	0.19	0.004761	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	4	PF 1	0.00	0.14	0.16	0.16	0.17	0.004761	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	3	PF 1	0.00	0.12	0.14	0.14	0.15	0.004761	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	2	PF 1	0.00	0.10	0.12	0.12	0.13	0.004762	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	1	PF 1	0.00	0.08	0.10	0.10	0.11	0.004001	0.39	0.01	0.46	0.79

Gambar 4.17 *Profile output table*

Terlihat pada Gambar 4.17 nilai kecepatan aliran yang terdapat di kolom *Vel Chnl* tidak sesuai dengan nilai kecepatan eksperimen. Nilai kedalaman pada kolom *W.S Elev* mendekati dengan nilai kedalaman eksperimen. Untuk mendapatkan nilai kecepatan dan kedalaman aliran simulasi di sekitar pilar yang sama dengan atau mendekati nilai kecepatan dan kedalaman aliran eksperimen perlu dilakukannya perubahan angka manning dengan kalibrasi hidraulik. Gambar 4.18 merupakan kolom dialog *Manning's n Values* dengan angka manning baru.

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.00099	0.00099	0.00099

Gambar 4.18 Dialog *Manning's n Values*

Setelah mengganti angka manning, lakukan *running steady flow* kembali untuk mendapatkan *profile output table* berdasarkan angka manning yang baru. Gambar 4.19 merupakan *profile output table* dengan manning terbaru.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Lab Air	10	PF 1	0.00	0.26	0.28	0.28	0.29	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	9	PF 1	0.00	0.24	0.26	0.26	0.27	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	8	PF 1	0.00	0.22	0.24	0.24	0.25	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	7	PF 1	0.00	0.20	0.23	0.22	0.24	0.000010	0.30	0.01	0.46	0.53
Lab Air	6.5			Bridge								
Lab Air	6	PF 1	0.00	0.18	0.20	0.20	0.21	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	5	PF 1	0.00	0.16	0.18	0.18	0.19	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	4	PF 1	0.00	0.14	0.16	0.16	0.17	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	3	PF 1	0.00	0.12	0.14	0.14	0.15	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	2	PF 1	0.00	0.10	0.12	0.12	0.13	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86
Lab Air	1	PF 1	0.00	0.08	0.10	0.10	0.11	0.000028	0.41	0.01	0.46	0.86

Gambar 4.19 *Profile output table*

Kecepatan pada kolom Vel Chnl bertambah dan mendekati nilai kecepatan berdasarkan eksperimen. Kedalaman aliran pada kolom W.S Elev juga memiliki nilai kedalaman aliran yang mendekati nilai kedalaman aliran berdasarkan eksperimen. Sehingga nilai angka manning pada simulasi ini diubah. Angka manning untuk aliran subkritik menjadi 0,00099. Angka manning untuk aliran superkritik menjadi 1,09911.

#### 4. Pilar

Letak pilar pada *flume* berada 3,25 meter dari hulu. Dalam simulasi, berada pada *river station* 6,5. Untuk memposisikan pilar harus mengetahui nilai tengah saluran utama yang akan diisi pada kolom *centerline station* seperti gambar 4.20.

Centerline Station Upstream	2.23
Centerline Station Downstream	2.23

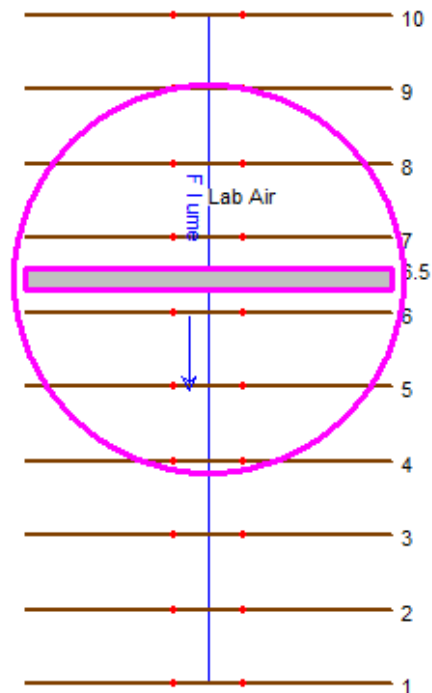
Gambar 4.20 Dialog *centerline station*

Untuk membuat pilar dalam simulasi cukup mengisi lebar pilar dan tinggi pilar pada kolom *pier width* dan *elevation* seperti pada Gambar 4.21. Kolom *elevation* merupakan isi dari beda tinggi.

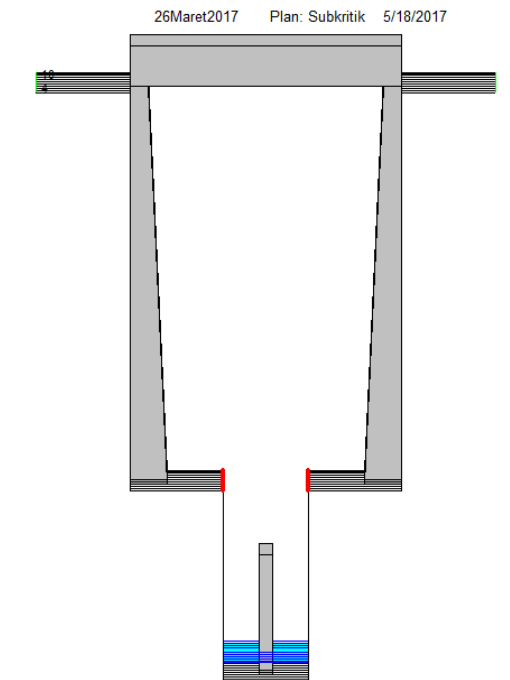
Upstream		Downstream		
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	0.076	0.2	0.076	0.18
2	0.076	0.35	0.076	0.33
3				
4				
5				

Gambar 4.21 Dialog *pier data editor*

Posisi penampang pilar dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan tampilan deck, abutment dan pilar dari sudut azimuth  $19^{\circ}$  dapat dilihat pada Gambar 4.23.



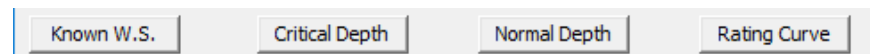
Gambar 4.22 Tampilan letak simulasi pilar



Gambar 4.23 Tampilan penampang

#### 5. *Boundary Condition*

Kondisi batas (*boundary condition*) diperlukan untuk menentukan batas-batas di bagian hulu dan hilir. Kondisi batas yang perlu diisi hanya kondisi batas eksternal yang terdapat 4 kondisi seperti pilihan pada Gambar 4.24.

Gambar 4.24 Pilihan *boundary condition*

Pada simulasi ini pilihan kondisi yang dipakai adalah *normal depth*. *Normal depth* memerlukan kemiringan (*slope*) sebagai batas hulu dan hilir. Kedalaman normal akan dihitung untuk tiap profil di dasarkan pada kemiringan yang telah dimasukkan seperti Gambar 4.25.

Selected Boundary Condition Locations and Types				
River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Flume	Lab Air	all	Normal Depth S = 0.004	Normal Depth S = 0.004

Gambar 4.25 Dialog *selected boundary condition location and types*

## 6. *Running* Simulasi Gerusan

Variabel yang digunakan dalam simulasi Froehlich adalah  $D_{50}$  dan lebar pilar ( $a'$ ). Nilai  $D_{50}$  dan lebar pilar telah tercantum pada Tabel 4.1. Nilai tersebut dapat diisi di kolom yang sesuai seperti Gambar 4.26.

The screenshot shows a software interface for hydraulic design. It has three tabs: 'Contraction', 'Pier', and 'Abutment', with 'Pier' selected. There are two radio buttons: 'Maximum V1 Y1' (selected) and 'Local V1 Y1'. Below these is a 'Pier #' field with a dropdown menu set to 'Apply to All Piers'. The 'Shape' is set to 'Circular cylinder'. The 'a' field is 0.08, 'D50' is 0.98, 'Y1' is 0.03, 'V1' is 0.30, and 'Fr1' is 0.305. The 'Method' is 'Froehlich's equation'. There are two sections for specific data: 'CSU's Eqn. Specific Data' with fields for K1 (1.00), Angle, K2, K3 (1.1 - Clear-Water Scour), D95, and K4 (1.00); and 'Froehlich's Eqn. Specific Data' with fields for a' (0.08) and Phi (0.10).

Gambar 4.26 Tampilan *hydraulic design*

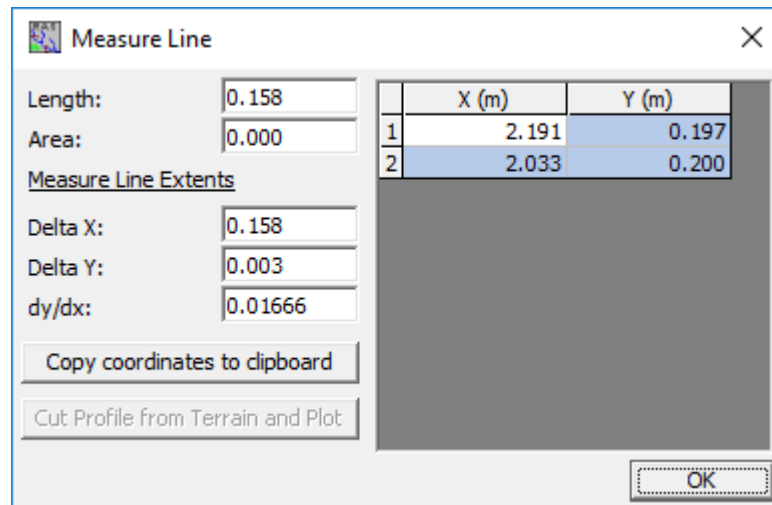
Lakukan *compute* untuk mendapatkan kedalaman gerusan. Hasil output dari perhitungan *hydraulic design* dapat dilihat pada Gambar 4.27.

Pier Scour	
All Piers:	Ys (m): 0.08
	Froude #: 0.53
	Equation: Froehlich's equation

Gambar 4.27 Hasil *output hydraulic design*

Sedangkan untuk mengetahui lebar gerusan pada hasil *output* simulasi cukup dengan tekan *Ctrl* dan klik bagian luar pilar hingga lebar ujung gerusan. Dialog box measure line akan muncul seperti Gambar 4.28 dimana length merupakan lebar gerusan berdasarkan simulasi.



Gambar 4.28 Dialog *measure line*

## 7. Modifikasi

Pada penelitian ini persamaan rumus Froehlich pada HEC-RAS belum sesuai dengan kondisi eksperimen. Secara hitungan berdasarkan persamaan rumus Froehlich, dengan menambahkan nilai  $a$  (lebar pilar) membuat hasil *running* gerusan pada HEC-RAS tetap sama. Dengan pertimbangan tersebut, untuk modifikasi pertama pada persamaan rumus Froehlich akan menghilangkan nilai  $a$  (lebar pilar) namun masih dengan nilai  $\phi$  yang sama sesuai dengan ketentuan yaitu 1,3 untuk pilar persegi dan 1,0 untuk pilar lingkaran. Untuk mendapatkan hasil gerusan dari modifikasi rumus pertama maka akan dilakukannya perhitungan secara manual dengan rumus:

$$Y_s = 0,32 \phi (a')^{0,62} y_1^{0,47} Fr_1^{0,22} D_{50}^{-0,09} \quad (4.1)$$

dimana :

$\phi$  = faktor koreksi. Pilar persegi sebesar 1,3 ; pilar kapsul dan lingkaran sebesar 1,0 ; pilar tajam sebesar 0,7.

$y_1$  = kedalaman aliran (m)

$Fr_1$  = angka Fraud

$D_{50}$  = median gradasi butiran (m)

$a'$  = efek pertimbangan dari pilar dan tabrakan aliran

Untuk menghitung nilai  $a'$  dapat menggunakan rumus (Brunner, 2010);  $a' = (a \cos \theta + L \sin \theta)$  (4.2)

dimana:

$\theta$  = sudut datang aliran

L = panjang pilar (m)

Jika modifikasi rumus pertama belum menghasilkan kedalaman gerusan pilar yang sesuai dengan hasil eksperimen maka dilakukannya *trial and error* dengan mengubah  $\varphi$  (faktor koreksi) masing-masing pilar. Kondisi modifikasi rumus kedua ini masih menghilangkan nilai  $a$  (lebar pilar) untuk menghindari hasil perhitungan yang sama. Nilai  $\varphi$  (faktor koreksi) diambil dari 0,01 hingga 2,3. Di dapatkannya nilai  $\varphi$  (faktor koreksi) yang sesuai ketika hasil kedalaman gerusan pada pilar mendekati hasil eksperimen. Untuk mendapatkan hasil gerusan dari modifikasi rumus kedua maka akan dilakukannya perhitungan secara manual dengan rumus:

$$Y_s = 0,32 \varphi (a')^{0.62} y_1^{0.47} Fr_1^{0.22} D_{50}^{-0.09} \quad (4.3)$$

dimana :

$\varphi$  = faktor koreksi; 0,01 – 2,3.

$y_1$  = kedalaman aliran (m)

$Fr_1$  = angka Fraud

$D_{50}$  = median gradasi butiran (m)

$a'$  = efek pertimbangan dari pilar dan tabrakan aliran

Untuk menghitung nilai  $a'$  dapat menggunakan rumus (Brunner, 2010);  $a' = (a \cos \theta + L \sin \theta)$  (4.4)

dimana:

$\theta$  = sudut datang aliran

L = panjang pilar (m)