

Analisis Aliran Berubah Lambat Laun Pada Saluran Terbuka Dengan Beberapa Kemiringan dan Bangunan Air FTSP Series

RADEN RIDWAN HANDAL TEDJA PERMANA¹, YESSI NIRWANA KURNIADI²

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email: ridwan054@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian saluran terbuka ditujukan untuk mengungkap perbedaan fenomena hidraulika yang terjadi antara pemodelan fisik di laboratorium dengan pemodelan menggunakan software HEC-RAS. Penelitian ini melakukan pemodelan saluran terbuka flume bentuk persegi dengan menggunakan skala 1:40 untuk dimensi saluran (dimensi tak distorsi) dengan kemiringan saluran 0,001; 0,003; dan 0,005. Pada analisis ini ditambahkan 3 bangunan air yaitu ambang lebar dengan tinggi 5 m dan 10 m; dan bendung ogee dengan tinggi 10 m. Hasil perbandingan analisis menunjukkan perbedaan nilai koefisien manning yang digunakan pada analisis model fisik yaitu 0,04 sedangkan koefisien manning yang digunakan pada HEC-RAS secara berurut yaitu 0,008; 0,011; dan 0,014. Pada profil muka aliran dan bentuk kurva aliran setelah pembendungan memiliki bentuk yang sama namun memiliki selisih nilai tinggi muka air sebesar 25,165% pada pembendungan 5 cm, 12,81% pada pembendungan 10 cm dan 8,47% pada pembendungan bendung ogee 10 cm.

Kata kunci: saluran terbuka, model fisik, HEC-RAS, profil muka aliran

1. PENDAHULUAN

Penelitian laboratorium untuk aliran pada saluran terbuka dapat mengungkap banyak fenomena hidraulika yang terjadi, seperti perubahan tipe aliran yang diakibatkan oleh perubahan kemiringan, perubahan kedalaman saluran ataupun penambahan bangunan air. Profil muka aliran pada aliran berubah lambat laun akan lebih tergambar pada penelitian saluran terbuka. Flume saluran terbuka merupakan salah satu contoh penelitian yang dilakukan dalam laboratorium. Flume merupakan penelitian yang paling sederhana namun mampu menggambarkan fenomena aliran sehingga dapat berkontribusi pada pengembangan ilmu. Sebelum membuat desain flume saluran terbuka di laboratorium, perlu dibuat model hidraulika 1 dimensi dengan analisis numerik agar didapatkan gambaran mengenai dimensi flume, profil aliran dan dimensi bangunan air. Pada penelitian ini akan dibuat analisis aliran berubah lambat laun di model flume saluran terbuka menggunakan model HEC-RAS. Analisis model menggunakan program sudah banyak sekali dilakukan guna untuk mempermudah melakukan analisis pada saluran aliran terbuka alami maupun buatan. Salah satu program yang sering digunakan adalah HEC-RAS, aplikasi tersebut membantu untuk menganalisis sifat hidrolis dari suatu aliran saluran terbuka.

2. 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. Secara umum aliran saluran terbuka dibagi menjadi 2 yaitu aliran permanen (*Steady flow*) dan 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.

2.2 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 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Penurunan persamaan aliran berubah lambat laun (Sumber: Chow, 1992)

$$H = z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad \dots (1.a)$$

Halmana:

H = tinggi tekan total,

Z = jarak vertikal dasar saluran terhadap garis referensi,

d = kedalaman aliran dihitung terhadap arah vertikal,

θ = sudut kemiringan dasar saluran,

α = koefisien energi,

V = kecepatan aliran.

2.3 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:

- *Horizontal slope* (H) : $y_n \rightarrow \infty$
- *Mild slope* (M) : $y_n > y_c$
- *Critical slope* (C) : $y_n = y_c$
- *Steep Slope* (S) : $y_n < y_c$
- *Adverse slope* (A) : $y_n \rightarrow$ khayal

2.4 Integrasi Numerik

Metode integrasi numerik untuk saluran prismatis bertampang persegi merupakan metode analisis pendekatan yang mencakup integrasi pada aliran berubah beraturan.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I_f^{1/2} \quad \dots (2.a)$$

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I_f^{1/2} \quad \dots (2.b)$$

$$I_f = \frac{n^2 Q^2}{AR^{2/3}} \quad \dots (2.c)$$

Halmana:

Q = debit aliran,

A = luas area segmen,

n = Koefisien kekasaran manning,

V = kecepatan aliran,

R = A/P

I_f = kemiringan saluran.

Kombinasi bentuk persamaan (2.14), (2.15), dan (2.16) memberikan persamaan diferensial non linear sebagai berikut:

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

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Saluran dengan Bangunan Air

Penambahan bangunan air pada saluran guna untuk menganalisis perubahan profil aliran yang terjadi bila diberi bangunan air. Pada analisis ini diberikan 2 jenis bangunan air yaitu bangunan air ambang lebar dan bangunan air bendung. Pada bangunan air ambang lebar dengan 2 ketinggian yaitu 1,5 m dan 3 m, sedangkan untuk bangunan air bendung memiliki ketinggian 3 m dengan menggunakan mercu ogee dapat dilihat pada **Gambar 2**. Bangunan air ini diletakkan pada STA+1249,9. Peletakkan Bangunan air berdasarkan jarak kumulatif perhitungan tinggi muka air akibat pembendungan dari jurnal Eksperimental Aliran Berubah Beraturan pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis (Harseno; Jonas, 2007).

Hasil dari perbandingan profil muka aliran seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1** dapat disimpulkan bahwa profil aliran yang terbentuk pada hasil analisis program HEC-RAS dengan hasil analisis model fisik memiliki profil aliran yang sama.

Tabel 8. Profil Muka Aliran pada Bagian Hilir Saluran

Debit	Tinggi Muka Air Saluran Terbuka											
	Tanpa Bangunan Air			Ambang lebar 5 m			Ambang lebar 10 m			Bendung Ogee 10 m		
	y_n	y	y_c	y_n	y	y_c	y_n	y	y_c	y_n	y	y_c
$1,074 \times 10^{-3}$	0,68	0,68	1,02	0,68	0,68	1,02	0,68	0,68	1,02	0,68	0,68	1,02
Profil	M			M			M			M		
$9,658 \times 10^{-4}$	0,63	0,63	0,95	0,63	0,63	0,95	0,63	0,63	0,95	0,63	0,63	0,95
Profil	M			M			M			M		
$9,819 \times 10^{-4}$	0,64	0,64	0,96	0,64	0,64	0,96	0,64	0,64	0,96	0,64	0,64	0,96
Profil	M			M			M			M		

Berdasarkan perbandingan data analisis hasil penelitian laboratorium dengan data analisis hasil program HEC-RAS tipe profil aliran yang terjadi pada saluran terbuka memiliki profil yang sama yaitu profil M. Hal tersebut dikarenakan kondisi nilai $y_n > y_c$ yang menurut teori Chow (1992) bila $y_n > y_c$ saluran memiliki kondisi profil M.

3.2 Perbandingan Tinggi Muka Air Setelah Pembendungan

Hasil analisis yang didapatkan selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian laboratorium pada penelitian sebelumnya. Perbandingan hasil analisis program HEC-RAS 5.0.7 dengan hasil Ekperimental Aliran Berubah Beraturan Pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis (Harseno; Jonas, 2007) menggunakan metode integrasi numerik dengan data tinggi muka air yang diketahui terdapat pada STA+1249.9 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2** untuk ketinggian pembendungan 5 cm, **Tabel 3** untuk ketinggian pembendungan 3 m, dan **Tabel 4** untuk bendung ogee ketinggian 3 m

Tabel 2. Perbandingan Tinggi Muka Air Setelah Pembendungan 5 cm

Titik (i)	$x_{i+1} - x_i$	Jarak Kumulatif	Uji Laboratorium (cm)			HEC-RAS 5.0.7 (cm)		
			$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$
1	20	0	0,0845	0,0845	0,0835	0,0610	0,0640	0,0633
2	20	20	0,0843	0,0848	0,0825	0,0608	0,0634	0,0627
3	20	40	0,0841	0,0842	0,0815	0,0606	0,0628	0,0621
4	20	60	0,0839	0,0814	0,08	0,0604	0,0622	0,0615
5	20	80	0,0837	0,0808	0,079	0,0602	0,0616	0,0609
6	20	100	0,0835	0,0802	0,078	0,0600	0,0610	0,0603
7	20	120	0,0833	0,0796	0,077	0,0598	0,0604	0,0597
8	20	140	0,0831	0,079	0,076	0,0596	0,0598	0,0591

Tabel 3. Perbandingan Tinggi Muka Air Setelah Pembendungan 10 cm

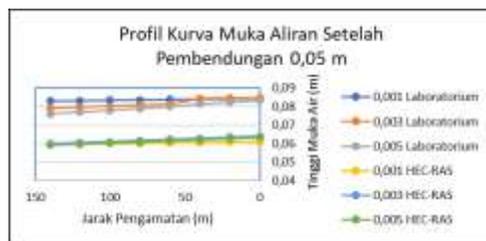
Titik (i)	$x_{i+1} - x_i$	Jarak Kumulatif	Uji Laboratorium (cm)			HEC-RAS 5.0.7 (cm)		
			$I = 0,001$	$I = 0,003$	$I = 0,005$	$I = 0,001$	$I = 0,003$	$I = 0,001$
1	20	0	0,0845	0,0845	0,0835	0,0722	0,0675	0,0655
2	20	20	0,0843	0,0848	0,0825	0,072	0,0669	0,0649

Tabel 3. Perbandingan Tinggi Muka Air Setelah Pembendungan 10 cm (Lanjutan)

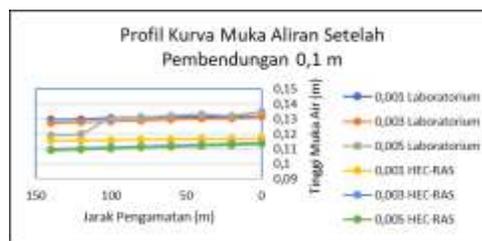
Titik (i)	$x_{i+1} - x_i$	Jarak Kumulatif	Uji Laboratorium (cm)			HEC-RAS 5.0.7 (cm)		
			$I = 0,001$	$I = 0,003$	$I = 0,005$	$I = 0,001$	$I = 0,003$	$I = 0,001$
			3	20	40	0,0841	0,0842	0,0815
4	20	60	0,0839	0,0814	0,08	0,0716	0,0657	0,0637
5	20	80	0,0837	0,0808	0,079	0,0714	0,0651	0,0631
6	20	100	0,0835	0,0802	0,078	0,0712	0,0645	0,0625
7	20	120	0,0833	0,0796	0,077	0,071	0,0639	0,0619
8	20	140	0,0831	0,079	0,076	0,0708	0,0633	0,0613

Tabel 4. Perbandingan Tinggi Muka Air Setelah Pembendungan Bendung Ogee 10 cm

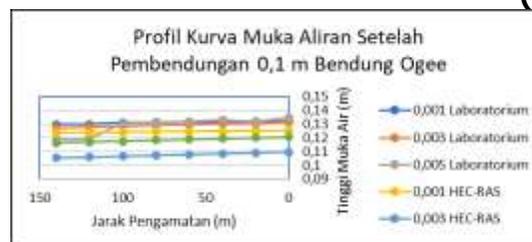
Titik (i)	$x_{i+1} - x_i$	Jarak Kumulatif	Uji Laboratorium (m)			HEC-RAS 5.0.7 (m)		
			$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$	$I = 0,001$
			1	20	0	0,0845	0,0845	0,0835
2	20	20	0,0843	0,0848	0,0825	0,0608	0,0634	0,0627
3	20	40	0,0841	0,0842	0,0815	0,0606	0,0628	0,0621
4	20	60	0,0839	0,0814	0,08	0,0604	0,0622	0,0615
5	20	80	0,0837	0,0808	0,079	0,0602	0,0616	0,0609
6	20	100	0,0835	0,0802	0,078	0,0600	0,0610	0,0603
7	20	120	0,0833	0,0796	0,077	0,0598	0,0604	0,0597
8	20	140	0,0831	0,079	0,076	0,0596	0,0598	0,0591



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Grafik Profil Kurva Aliran Setelah Pembendungan (a) 5 cm, (b) 10 cm, (c) Bendung Ogee 10 cm

4. KESIMPULAN

Bila dilihat dari hasil analisis menunjukkan grafik kurva profil muka aliran air balik (backwater surface curve) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pada tinggi muka air yang didapatkan setelah terjadi pembendungan setinggi 5 cm dan 10 cm terdapat selisih nilai tinggi muka air pada setiap titik pengamatan. Pada selisih tinggi muka setelah pembendungan 5 cm memiliki rata-rata selisih sebesar 25,165%, selisih tinggi muka air setelah pembendungan 10 cm memiliki rata-rata selisih 12,81% dan selisih tinggi muka air setelah pembendungan bendung ogee 10 cm memiliki rata-rata selisih 8,47% yang ditinjau dari data jurnal Studi Ekperimental Aliran Berubah Beraturan Pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis (Harseno; Jonas, 2007). Hal tersebut dikarenakan:

1. Perbedaan nilai koefisien manning yang digunakan pada program HEC-RAS tidak sama dengan nilai koefisien manning pada data jurnal Studi Ekperimental Aliran Berubah Beraturan Pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis (Harseno; Jonas, 2007).
2. Pada program HEC-RAS terdapat pengaturan koefisien contraction dan expansion yang digunakan sesuai dengan kondisi saluran sehingga pada analisis saluran mempengaruhi hasil tinggi muka air.

DAFTAR RUJUKAN

- Amanda, F. (2007). Perubahan Kedalaman Muka Air Pada Saluran Terbuka Akibat Penyempitan dengan Variasi Kemiringan Saluran dan Bukaannya Pintu Radial. (Tugas Akhir). Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember.
- Chow, V.T. (1992). Hidrolika Saluran Terbuka. Jakarta: Erlangga.
- Harseno, E., dan Jonas, S. (2007). Studi Eksperimental Aliran Berubah Beraturan pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis. Majalah Ilmiah UKRIM, 2(XII), 2007.
- Istiarto. (2018). Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS Jenjang Dasar: Simple Geometry River. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Triatmodjo, B. (2003). Hidraulika II. Yogyakarta: Beta Offset.
- Putro, H., dan Hadihardaja, J. (2013). Variasi Koefisien Kekasaran *Manning* (n) pada *Flume Akrylic* pada Variasi Kemiringan Saluran dan Debit Aliran. Media Komunikasi Teknik Sipil: ISSN 0854-1809.