

ANALISIS TINGGI DAN PANJANG LONCAT AIR PADA BANGUNAN UKUR BERBENTUK SETENGAH LINGKARAN

R.A Dita Nurjanah

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya
(Jl. Raya Prabumulih KM 32 Indralaya, Sumatera Selatan)
E-mail: ditanurjanah@gmail.com

Abstrak

Loncat air merupakan perubahan aliran dari aliran superkritis menjadi aliran subkritis hal ini yang menyebabkan terjadinya loncatan air. Dalam saluran terbuka loncat air dapat diamati ketika air melewati bangunan ukur. loncat air terjadi akibat pengaruh kecepatan aliran yang mempengaruhi panjang loncat air serta tinggi loncat air. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika Universitas Sriwijaya, Indralaya. Bertujuan untuk melihat panjang dan tinggi loncatan yang terjadi dengan menggunakan variasi kecepatan dan variasi bangunan ukur berbentuk setengah lingkaran dengan ukuran 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Pengukuran kecepatan diukur dengan menggunakan alat current meter yang mempunyai satuan Hertz lalu di konversikan menjadi m/s dengan lihat di tabel grafik. Data yang dikumpulkan meliputi, panjang loncat air, tinggi hulu dan hilir, tinggi loncatan, dan kecepatan hulu, hilir, dan pada saat terjadinya loncatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa panjang loncat air dan tinggi loncat air dipengaruhi oleh diameter penampang dan kecepatan aliran, dimana semakin kecil diameter penampang dan semakin besar kecepatan maka panjang loncat air yang terjadi semakin panjang dan untuk tinggi lebih kecil sedangkan untuk diameter penampang yang besar dengan kecepatan yang kecil maka panjang loncat air yang dihasilkan semakin kecil dan untuk tinggi semakin besar.

Kata kunci : loncat air, bangunan ukur, setengah lingkaran

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang ilmu Hidrolika dikenal dua macam aliran, yaitu aliran saluran tertutup dan aliran saluran terbuka. Aliran saluran tertutup umumnya terjadi pada saluran pipa yang memiliki tampang aliran penuh dan tidak terdapat permukaan air bebas sehingga tekanan yang terjadi adalah tekanan hidrolik. Tekanan ini bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Pada aliran saluran terbuka, air mengalir dengan muka air bebas sehingga di sepanjang saluran tekanan di permukaan air adalah sama, yaitu tekanan atmosfer. Aliran yang tidak penuh di dalam pipa juga dikategorikan sebagai aliran saluran terbuka.

Analisis aliran melalui saluran terbuka lebih sulit dibandingkan aliran melalui pipa, hal ini disebabkan karena pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), parameter aliran baik terhadap ruang dan waktu di sepanjang saluran adalah tidak teratur. Parameter-parameter aliran tersebut diantaranya adalah nilai kekasaran saluran, geometri dan dimensi tampang lintang, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya. Ketidakteraturan tersebut menyebabkan analisis aliran saluran terbuka sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Untuk saluran buatan, seperti saluran irigasi dan drainase, parameter aliran di sepanjang saluran umumnya relatif seragam sehingga analisis aliran menjadi lebih mudah dilakukan.

Ada berbagai macam aliran air, air dapat

mengalir secara beraturan dan juga dapat mengalir secara tidak beraturan. Suatu aliran dalam saluran dapat mengalami percepatan dari aliran subkritis ke kritis dan ke superkritis, lalu kembali lagi ke aliran subkritis melalui semacam kejut-normal yang disebut loncatan hidrolik air.

Proses loncatan hidrolik air ini sering kali digunakan untuk meredam sebagian besar energi yang terjadi, selain itu loncatan hidrolik juga dapat digunakan untuk menaikkan tinggi muka air di bagian hilir dan untuk menyediakan kebutuhan tinggi tekanan pengaliran ke dalam suatu saluran. Permasalahan yang akan dibahas dalam laporan ini adalah bagaimana pengaruh debit aliran pada bangunan ukur berbentuk setengah lingkaran terhadap tinggi dan panjang loncat air. Maksud dan tujuan dari penulisan ini yaitu untuk mengetahui pengaruh debit aliran dan bangunan ukur berbentuk setengah lingkaran terhadap tinggi dan panjang loncat air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Aliran saluran terbuka

Triatmodjo (1993) menyebutkan bahwa Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfer. Aliran ini biasanya berhubungan dengan zat cair dan umumnya adalah air.

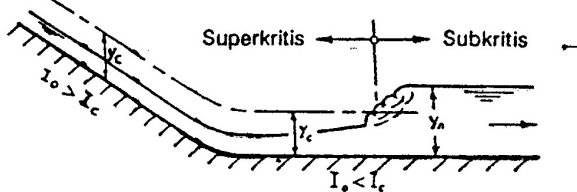
B. Klasifikasi Aliran

Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds $Re > 1000$, dan laminar apabila $Re < 500$.

Klasifikasi aliran dapat dilakukan dengan mengacu pada bilangan Froude (Fr) tak berdimensi, dimana acuan dengan bilangan Froude yang ada dapat digolongkan menjadi tiga golongan yaitu $Fr < 1,00$ adalah aliran subkritis, $Fr = 1,00$ adalah aliran kritis, dan $Fr > 1,00$ adalah aliran superkritis.

C. Loncat Air

Apabila tipe aliran di saluran turbulen berubah dari aliran superkritis menjadi subkritis, maka akan terjadi loncat air. Loncat air merupakan salah satu contoh bentuk aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*). Gambar II.1. Menunjukkan tampang memanjang saluran dengan kemiringan berubah dari kemiringan curam menjadi landai. Keadaan ini terjadi misalnya pada kaki bangunan pelimpah. Aliran di bagian hulu adalah subkritis sedang di bagian hilir adalah superkritis. Di antara kedua tipe aliran tersebut terdapat daerah transisi dimana loncat air terjadi.



Gambar 2.1. Loncatan air

suatu loncatan hidrolik akan terbentuk pada saluran, jika bilangan Froude aliran F_1 , kedalaman aliran y_1 , dan kedalaman hilir y_2 , memenuhi persamaan sebagai berikut

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \dots\dots\dots(\text{Pers II.1})$$

II.1)

Loncatan hidrolis yang terjadi pada dasar horisontal terdiri dari beberapa tipe. Sesuai penelitian yang dilakukan oleh Biro Reklamasi Amerika Serikat, tipe-tipe tersebut dapat dibedakan berdasarkan bilangan Froude (Fr), yaitu :

1. Bilangan Froude (Fr) = 1, aliran kritis, sehingga tidak terbentuk loncatan.
2. Bilangan Froude (Fr) = 1 - 1,7, terjadi ombak pada permukaan air, dan loncatan yang terjadi dinamakan loncatan berombak.
3. Untuk bilangan Froude (Fr) = 1,7 sampai 2,5, terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan air dihilir tetap halus. Secara keseluruhan kecepatannya seragam, dan

rugi energinya kecil dan dinamakan loncatan lemah.

4. Untuk bilangan Froude (Fr) = 2,5 sampai 4,5, terdapat semburan berisolasi menyertai dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi tanpa perioda tertentu. Loncatan ini dinamakan *Loncatan berisolasi*.
5. Untuk bilangan Froude (Fr) = 4,5 sampai 9,0, ujung-ujung permukaan hilir akan bergulung dan titik dimana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran. Loncatan semacam ini sangat seimbang dan karakteristiknya adalah yang terbaik. Loncatan ini dinamakan *loncatan tetap*.
6. Untuk bilangan Froude (Fr) = 9 dan yang lebih besar, kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hempasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, menimbulkan gelombang – gelombang hilir dan loncatan ini disebut loncatan kuat.

Pengaruh gravitasi terhadap aliran dapat dinyatakan dengan angka Froude. Untuk menghitung angka Froude pada awal loncat air dan di bagian hilir setelah loncatan air digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{(g \cdot h)}} \dots\dots\dots(\text{Pers II.2})$$

dimana :

- Fr = angka froude,
- V = kecepatan aliran (cm/det),
- g = gravitasi (cm/det²),
- h = ketinggian (m)

D. Sifat Dasar Loncatan Hidrolik

Beberapa karakteristik dasar loncatan air pada saluran terbuka (*V.T. Chow, 1985*) :

1. Kehilangan energi pada loncatan adalah sama dengan perbedaan energi spesifik sebelum dan sesudah terjadinya loncatan.

$$\Delta E_s = E_{s1} - E_{s2} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2} \dots\dots\dots(\text{Pers II.3})$$

2. Efisiensi loncatan hidrolik adalah perbandingan energi spesifik setelah loncatan air dengan sebelum loncatan hidrolik air.
3. Perbedaan kedalaman sebelum dan sesudah loncatan dinamakan tinggi loncatan dengan menyatakan setiap besaran sebagai rasio terhadap energi spesifik semuka

E. Panjang Loncatan Air

Panjang loncatan hidrolik air dapat didefinisikan sebagai jarak antara permukaan depan loncatan air sampai menuju pada suatu titik permukaan gulungan ombak dibagian hilir. Panjang loncatan hidrolik air secara teoritis sukar ditentukan, tetapi telah diselidiki beberapa kali percobaan oleh beberapa ahli hidrolika (Rangga Raju, KG, 1986).

Untuk mendapatkan panjang loncat air L, tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitungnya. Panjang loncat air dapat ditentukan dengan percobaan laboratorium. Untuk saluran segi empat, panjang loncat air pada persamaan (Woyeski,1931) sebagai berikut :

$$L = \{8-0,05(y_2/y_1)\}(y_2-y_1) \dots\dots\dots \text{(Pers II.4.)}$$

dimana :

- L : Panjang loncat air
- y₁ : Kedalaman air di hulu loncat air
- y₂ : Kedalaman air di hilir loncat air

Panjang loncatan menurut Smetana (1933) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L = C (h_2 - h_1) \dots\dots\dots \text{(Pers II.5.)}$$

dimana :

- L : Panjang loncat air (m)
- C : Nilai konstanta C = 6
- h₁ : Kedalaman air sebelum loncatan terjadi
- h₂ : Kedalaman air setelah terjadinya loncatan hidrolik

Menghitung panjang loncatan hidrolik menurut Silvester (1964) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L = 9,75 (Fr - 1)^{1,01} \cdot y_1 \dots\dots\dots \text{(Pers II.6.)}$$

dimana :

- L : Panjang loncat air (m)
- Fr : Angka Froude pada loncatan
- y₁ : Kedalaman air sebelum terjadi loncatan

Sarjana Biro Reklamasi Amerika Serikat (USBR) mengusulkan panjang loncatan hidrolik air pada saluran persegi adalah sebagai berikut :

$$L = A_n (y_2 - y_1) \dots\dots\dots \text{(Pers II.7.)}$$

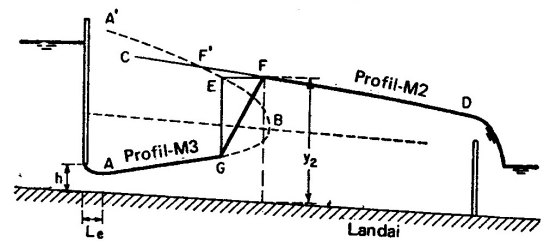
dimana :

- L : Panjang loncat air (m)
- A_n : Konstanta yang nilainya berkisar (5 – 6,9)
- y₁ : Kedalaman air sebelum terjadi loncatan
- y₂ : Kedalaman air setelah loncatan terjadi.

F. Lokasi Loncatan

Loncatan hidrolik air terjadi pada aliran superkritis, apabila terjadi perubahan kedalaman yang mendadak terhadap kedalaman selanjutnya. Secara teoritis dapat dikatakan, bahwa loncatan akan terjadi pada saluran empat persegi panjang mendatar jika kedalaman awal serta kedalaman lanjutan dan bilangan Froude pendekatan memenuhi persamaan II.4. Persyaratan teoritis ini biasanya digunakan untuk menentukan letak loncatan hidrolik air, akan tetapi untuk pendekatan yang lebih teliti dalam menentukan letak loncatan, harus digunakan panjang loncatan. Salah satu lokasi

loncatan hidrolik di bawah pintu geser tegak lurus saluran empat persegi dengan lapisan halus dapat dilihat pada gambar II.2.



Sumber : Hidrolika Saluran Terbuka, V.T Chow 1985

Gambar II.2. Loncatan hidrolik air dibawah pintu geser

Profil-profil AB dan CD dengan mudah diidentifikasi sebagai jenis M3 dan M2. Kurva A'B adalah pemetaan antara kedalaman akhir terhadap AB, dengan menggunakan posisi F*, maka panjang loncatan dapat diperkirakan.

Apabila terdapat loncatan hidrolik air dibawah pintu air geser tegak, maka air yang keluar dari pintu air membentuk semburan yang mempunyai vena kontrakta. Panjang vena kontrakta ke bukaan pintu air biasanya pendek dalam kaitannya dengan jarak, biasanya digunakan suatu aturan yang menyatakan bahwa vena kontrakta terletak hampir sama dengan jarak h dari bukaan pintu air.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan saluran terbuka, yang terdapat di Laboratorium. Adapun data-data yang harus diambil meliputi :

1. Kecepatan Aliran,
2. Kedalaman Aliran,
3. Pengukuran panjang dan tinggi loncatan air.

Data primer merupakan data asli yang didapatkan dari pengukuran di laboratorium. Langkah – langkah penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Mempersiapkan saluran terbuka yang akan digunakan pada saat penelitian.
2. Memasang bangunan ukur di tempat yang telah ditentukan.
3. Mengalirkan air pada saluran dengan beberapa variasi kecepatan.
4. Mengukur kedalaman dan kecepatan aliran di bagian hulu sebelum loncatan terjadi, di bagian ketika loncatan terjadi dan mengukur kedalaman dan kecepatan aliran di bagian hilir setelah loncatan terjadi. Pengukuran kecepatan aliran di lakukan dengan alat *curren meter*, baik untuk kecepatan aliran dibagian hulu, dibagian ketika terjadi loncatan maupun bagian hilir.
5. Mengukur muka air pada saat terjadi loncatan air yang berguna untuk mencari nilai penamampang basah.

6. Mengukur tinggi dan panjang loncatan air, tinggi dan panjang loncat air dapat diukur setelah air stabil.
7. Lalu untuk selanjutnya mengulang langkah 2 sampai 6 dengan menggunakan dimensi bangunan ukur yang berbeda – beda yaitu dengan dimensi 15 cm dan dimensi 20 cm.

Data sekunder adalah data – data yang tersedia dalam buku refrensi dan jurnal yang berkaitan, untuk kepentingan penelitian.

4. Hasil dan Pembahasan

a. Perhitungan Debit

$$Q = V \cdot A$$

$$Q = Cd \left[10,12 \left(\frac{h}{d} \right)^{1,975} - 2,66 \left(\frac{h}{d} \right)^{3,78} \right] (d)^{\frac{5}{2}}$$

$$Cd = 0,555 + \frac{1}{110 \left(\frac{h}{d} \right)} + 0,041 \left(\frac{h}{d} \right) \quad \text{dimana :}$$

$Q = \text{Debit aliran (l/s)}$

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang basah (m²)

h = tinggi muka air (m)

d = diameter (m)

Cd = Koefisien debit

No.	Diameter cm	V _{hulu} m/s	Q _{hulu} l/s	Cd	Q _{pelimpah} l/s	V _{hilir} m/s	Q _{hilir} l/s
1	10	0,165	13,877	0,6045	13,877	0,44	8,580
	15	0,185	13,855	0,5939	13,855	0,41	8,487
	20	0,187	13,370	0,5952	13,370	0,395	8,532
2	10	0,144	12,039	0,6017	12,039	0,405	7,533
	15	0,165	12,016	0,5937	12,016	0,36	6,912
	20	0,176	12,326	0,5957	12,326	0,339	6,814
3	10	0,135	10,794	0,6000	10,794	0,375	6,638
	15	0,157	10,848	0,5936	10,848	0,345	6,210
	20	0,162	10,995	0,5965	10,995	0,325	6,143

b. Perhitungan angka Froude

Perhitungan angka froude meliputi bagian hulu, hilir dan pada saat loncatan.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{(g \cdot h)}}$$

dimana :

Fr = Angka Froude

g = gravitasi (9,81 m/s²)

h = ketinggian (m)

Debit	Diameter Penampang	Fr ₁	Fr _{loncatan}	Fr ₂
1	10 cm	0,099145	1,6046350	0,551013
	15 cm	0,118672	1,4007123	0,498339
	20 cm	0,122546	1,2618587	0,469998
2	10 cm	0,086942	1,7001417	0,519308
	15 cm	0,106761	1,3729754	0,454337
	20 cm	0,116641	1,1163439	0,418146
3	10 cm	0,083263	1,4514136	0,492914
	15 cm	0,104667	1,2518016	0,449686
	20 cm	0,108916	1,0150836	0,413408

c. Perhitungan Panjang loncatan

Perhitungan panjang loncatan menggunakan persamaan meliputi persamaan (2.4) sampai persamaan (2.7), rekapitulasi perhitungannya sebagai berikut :

	Diameter	Lapangan (m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Panjang Teori			
					Woyeski (m)	Smentana (m)	Silvester (m)	V.T.Chow (m)
Q ₁	10 cm	0,24	0,051	0,065	0,111108	0,084	0,299	0,097
	15 cm	0,22	0,053	0,069	0,126958	0,096	0,205	0,110
	20 cm	0,16	0,059	0,072	0,103207	0,078	0,149	0,090
Q ₂	10 cm	0,22	0,040	0,062	0,174295	0,132	0,272	0,152
	15 cm	0,18	0,053	0,064	0,087336	0,066	0,191	0,076
	20 cm	0,14	0,055	0,067	0,095269	0,072	0,061	0,083
Q ₃	10 cm	0,2	0,046	0,059	0,103166	0,078	0,201	0,090
	15 cm	0,14	0,047	0,060	0,103170	0,078	0,114	0,090
	20 cm	0,13	0,052	0,063	0,087334	0,066	0,007	0,076

d. Perhitungan tinggi loncatan

Perhitungan tinggi menggunakan persamaan (II.1) meliputi sebagai berikut :

No.	Diameter Penampang	Tinggi loncatan teori	Tinggi loncatan di lapangan
1	10 cm	0,035641	0,051
	15 cm	0,044717	0,053
	20 cm	0,053205	0,059
2	10 cm	0,031701	0,040
	15 cm	0,042524	0,053
	20 cm	0,057957	0,055
3	10 cm	0,036586	0,046
	15 cm	0,044791	0,047
	20 cm	0,061757	0,052

e. Perhitungan Kehilangan energi

Perhitungan kehilangan energi ini menggunakan persamaan II.3

No.	Diameter Penampang	ΔE
1	10 cm	0,000206938
	15 cm	0,000280011
	20 cm	0,000129296
2	10 cm	0,001073387
	15 cm	0,000098098
	20 cm	0,000117232
3	10 cm	0,000202377
	15 cm	0,000194770
	20 cm	0,000101572

5. Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran air sangat mempengaruhi proses terjadinya loncatan hidrolik, dimana untuk menghasilkan loncatan hidrolik aliran harus berubah dari sub kritis ke superkritis dan berubah kembali menjadi aliran sub kritis.
2. Pengaruh debit pada panjang loncatan dan tinggi loncatan pada saat penelitian dapat disimpulkan bahwa kecil besar penampang mempengaruhi hasil panjang dan tinggi

loncatanya, dimana semakin kecil penampang semakin panjang dan tinggi loncatan hidrolik yang terjadi, sebaliknya jika penampang semakin besar maka panjang dan tinggi loncatan hidrolik semakin mengecil.

3. Hasil dari penelitian di lapangan panjang loncatan pada kecepatan ketiga hasil yang paling mendekati adalah pada penampang 15 cm, dimana $L_{\text{lapangan}} = 0,14$ m sedangkan pada perhitungan secara teori $L = 0,105811$ m. sedangkan untuk tinggi ada perbedaan pada kecepatan kedua, pada kecepatan kedua hasil dari tinggi loncatan ada perbedaan pada penampang 20 cm dimana hasil dari teori lebih besar di bandingkan di lapangan $y_{\text{teori}} = 0,058475$ m dan $y_{\text{lapangan}} = 0,055$ m. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan antara penelitian dilapangan dan Perhitungan secara teori.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas disarankan untuk penelitian selanjutnya agar dapat menjangkau beberapa kemungkinan yang terjadi sebagai berikut :

1. Variasi penampang diperbanyak sehingga dapat terlihat jelas perbedaan hasil perhitungannya.
2. Pengukuran kecepatan menggunakan *current meter* sebaiknya dilakukan dengan beberapa kali pengukuran.
3. Saluran seharusnya dapat dimiringkan, sehingga loncatan hidrolik yang akan terjadi akan terlihat dengan jelas.

Daftar Pusaka

- Chow, V. T, *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta, 1985.
- Frank, M. W, *Mekanika Fluida Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- Kodoeti, R.J, *Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Andi Yogyakarta, 2002..
- Triatmodjo, Bambang, *Hidrolika Jilid 1*, Beta Offset, Yogyakarta, 1993.
- Triatmodjo, Bambang, *Hidrolika Jilid 2*, Beta Offset, Yogyakarta, 1993.