

IMPULS MOMENTUM DAN PEMANFAATANNYA SEBAGAI PEREDAM ENERGI PADA BANGUNAN KEAIRAN

Oleh : Imam Suhardjo

Abstraksi

Loncatan hidrolik sangat berguna sebagai peredam energi lebih pada aliran superkritis. Peredam ini berguna untuk mencegah erosi yang mungkin terjadi pada saluran pelimpah, saluran curam dan lain-lain, dengan cara memperkecil kecepatan aliran pada lapisan pelindung, sehingga pada suatu titik dimana aliran tidak mempunyai kemampuan untuk mengikis dasar saluran dibagian hilir, pada umumnya jarang sekali kolam penenang (kolam olakan) dirancang untuk menahan seluruh panjang loncatan bebas, karena kolam penenang demikian sangat mahal biayanya.

Studi ini membahas penggunaan model matematik yang berupa impuls momentum untuk meninjau pengaruhnya terhadap perencanaan bangunan peredam energi.

Kata Kunci: impuls momentum, peredam energi

A. PENDAHULUAN

Manusia di dunia ini tidak akan dapat dipisahkan dari masalah hitung-menghitung dengan sarana dan prasarannya (matematika). Selama ini dikenal dua cabang matematika yakni matematika murni (*pure mathematics*) dan matematika terapan (*applied mathematics*). Kini kita hidup di era mesin dan komputerisasi, sarana dan prasarannya sudah demikian lengkap dan canggih, tinggal sumber daya manusianya.

Khusus untuk perencanaan bangunan sipil keairan (*hydraulics structures*) cabang matematika terapan, karena pada bangunan sipil keairan hanya berpengaruh faktor natural. Perlu diketahui bahwasanya perencanaan bangunan-bangunan teknik sipil mempunyai tujuan antara lain dari segi kelayakan (*feasibility*), baik layak teknis maupun layak ekonomis. Layak teknis dalam artian stabil dan berdayaguna, karena hal inilah terdapat faktor natural, oleh sebab itu boleh dikatakan penggunaan matematika murni disini sangat jarang. Maka pada hitungan peredam energi ini dapat dipakai matematika terapan sederhana.

B. LONCATAN HIDROLIK

Loncatan hidrolik (*hydrolic jump*) pertama kali diselidiki dengan cara percobaan oleh Bidone Sarjana Italia pada tahun 1818. Hal ini memberikan inspirasi/gagasan pada Belanger (1828) untuk membedakan antara kemiringan landai (subkritis) dan kemiringan curam (superkritis.) Jadi apabila tipe aliran disalurkan

berubah dari aliran superkritik menjadi subkritik akan terjadi loncat air (loncatan hidrolik).

Pada mulanya teori mengenai loncatan hidrolik dikembangkan untuk saluran-saluran horisontal atau yang kemiringannya kecil, sehingga pengaruh berat air terhadap perilaku loncatan hidrolik dapat diabaikan, akan tetapi hasil yang diperoleh dapat diterapkan pada sebagian besar saluran-saluran yang ada dalam masalah perikanan. Sedang untuk saluran yang kemiringannya besar, pengaruh berat air pada loncatan cukup besar, sehingga harus diperhitungkan.

Pemakaian praktis dari loncatan hidrolik antara lain :

1. Sebagai peredam energi pada bangunan, saluran, dan struktur hidrolik yang lain dan untuk mencegah pengikisan struktur di bagian hilir.
2. Menaikkan kembali energi atau permukaan air pada bagian daerah hilir saluran pengukur, dan juga menjaga agar permukaan air saluran irigasi atau saluran distribusi yang lain tetap tinggi.
3. Memperbesar tekanan pada lapisan lindung, sehingga akan memperkecil tekanan angkat (*uplift*) pada struktur tembok, dengan cara memperbesar kedalaman air pada lapis lindung.
4. Memperbesar debit dengan mempertahankan air bawah balik, karena tinggi energi efektif akan berkurang bila air bawah dapat menghilang loncatan hidrolik.
5. Mengaerasi air yang hasilnya digunakan untuk air minum kota
6. Mencampur bahan-bahan kimia yang digunakan untuk memurnikan air.

C. MODIFIKASI

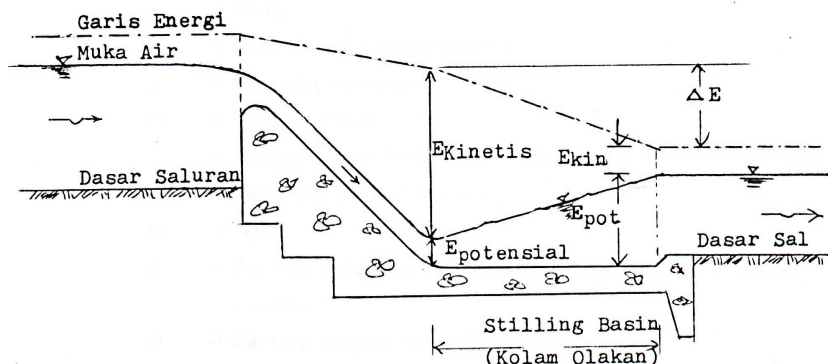
Seringkali pada bangunan keairan, energi yang terdapat pada aliran air perlu diredam, karena kadang-kadang energi air ini demikian besar sehingga perlu sarana khusus. Salah satu contoh antara lain pada suatu bangunan terjun (*drop structure*) atau pada suatu bangunan pelimpah (*spillway*), karena pada kedua bangunan tadi perbedaan elevasi muka air hulu (sebelum terjun) dengan elevasi muka air hilir (setelah terjun) cukup besar, sehingga energi totalnya (kinetik ditambah potensial) besar pula.

Sarana untuk mematahkan energi air tersebut, pada bidang teknik sipil dikenal dengan istilah kolam penenang (*stilling basin*). Pada bagian ini energi total air direndam, sehingga setelah melewati kolam penenang aliran air kembali tenang dan tidak membahayakan bangunan/struktur di hilirnya. Bayangkan bila tidak menggunakan kolam penenang, betapa merusaknya energi air tersebut.

Ada berbagai tipe kolam penenang, namun yang paling menarik adalah tipe yang sistem kerja redamnya (*energy dissipation*) dengan menggunakan kekuatan air itu sendiri. Permasalahannya ialah bagaimana menciptakan (modifikasi) kondisi tersebut agar maksud peredaman energi dapat tercapai.

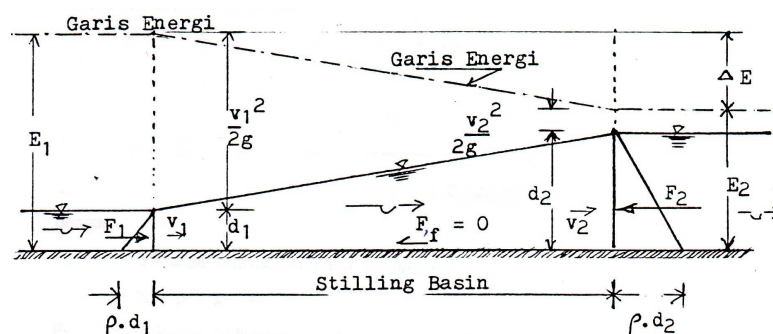
Untuk itu kita tinjau teori tumbukan melalui teori impuls momentum, dengan menggunakan sedikit perasaan (*engineering feeling*), sekarang yang bertumbukan adalah air yang mempunyai massa dan mempunyai kecepatan, gesekan diabaikan sehingga perlu modifikasi analogi.

D. ANALISA



Gambar 1. Potongan Melintang Bendung

Untuk jelasnya dapat dilihat gambar 1 yang padanya berlaku teori impuls momentum. Bagian *stilling basin* (kolam penenang) dapat digambarkan sebagai berikut ini :



Gambar 2. Kolam Penenang (peredam energi)

Keterangan :

B = Lebar dasar saluran (*breadth*)

d = Kedalaman air (*depth*)

E = Tenaga yang terkandung oleh aliran air

= Energi

F = Gaya tekan hidrostatik (*force*)

ρ = Kerapatan massa air

Fr = Bilangan Froude

f = Gesekan antara dua medium (*friction*)

g = Percepatan gravitasi (*gravity*)

m = Massa

q = Air yang mengalir setiap satuan waktu per satuan lebar saluran (*quantity*)

Q = Air yang mengalir setiap satuan waktu

V = Kecepatan aliran air (*velocity*)

W = Berat benda (*Weight*)

Teori impuls momentum mengatakan :

Selisih gaya setiap satuan waktu dari dua benda yang bertumbukan sama dengan selisih momentum liniernya.

$$\Delta F_x \cdot dt = m \cdot \Delta V_x$$

$$(F_2 - F_1) \cdot dt = \frac{W}{g} (V_1 - V_2)$$

dengan :

F_1 = Tekanan hidrostatik pada penampang 1

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot d_1^2$$

F_2 = Tekanan hidrostatik pada penampang 2

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot d_2^2$$

sehingga :

$$\frac{1}{2} \rho \cdot g (d_2^2 - d_1^2) dt = \frac{\rho \cdot g \cdot q \cdot dt}{g} (V_1 - V_2)$$

$$\frac{1}{2} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{q}{g} (V_1 - V_2)$$

sedangkan :

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{V \cdot d \cdot B}{B} = V \cdot d$$

$$V = \frac{q}{d}, \text{ analog : } V_1 = \frac{q}{d_1} \text{ dan } V_2 = \frac{q}{d_2}$$

$$V_1^2 = \frac{q^2}{d_1^2} \text{ dan } V_2^2 = \frac{q^2}{d_2^2}$$

selanjutnya :

$$\frac{1}{2} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{q}{g} \left\{ \frac{q}{d_1} - \frac{q}{d_2} \right\}$$

$$d_2^2 - d_1^2 = \frac{2 \cdot q^2}{g} \frac{d_2 - d_1}{d_1 - d_2}$$

$$\frac{2 q^2}{g} = d_1 \cdot d_2 (d_2 + d_1) \left(\frac{d_2 - d_1}{d_2 - d_1} \right)$$

$$\frac{2 q^2}{g} = d_1 \cdot d_2 (d_2 + d_1)$$

$$\boxed{\frac{q^2}{g} = \frac{1}{2} d_1 \cdot d_2 (d_2 + d_1)} \text{ persamaan (1)}$$

Dari gambar 2 tampak bahwa kita menghitung dalam keadaan ideal,

$$E_1 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$E_2 = d_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\begin{aligned}
&= d_1 + \frac{V_1^2}{2g} - d_2 - \frac{V_2^2}{2g} \\
&= (d_1 - d_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \\
&= d_1 - d_2 + \frac{q^2}{2g \cdot d_1^2} - \frac{q^2}{2g \cdot d_2^2} \\
&= d_1 - d_2 + \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{d_1^2} - \frac{1}{d_2^2} \right)
\end{aligned}$$

dari persamaan (1) dihasilkan :

$$\begin{aligned}
\Delta E &= d_1 - d_2 + \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot 2} (d_1 + d_2) \left(\frac{d_2^2 - d_1^2}{d_1^2 \cdot d_2^2} \right) \\
&= d_1 - d_2 + \frac{1}{4} (d_1 + d_2) \left(\frac{d_2^2 - d_1^2}{d_1 \cdot d_2} \right) \\
&= \frac{4 d_1^2 \cdot d_2 - 4 d_1 \cdot d_2^2 - d_1^3 \cdot d_2^3 - d_1^2 \cdot d_2}{4 d_1 \cdot d_2} \\
&= \frac{d_2^3 - 3 d_2^2 \cdot d_1 + 3 d_2^2 \cdot d_1^2 - d_1^3}{4 d_1 \cdot d_2}
\end{aligned}$$

$\Delta E = \frac{(d_1 \cdot d_2)^3}{4 d_1 \cdot d_2}$	persamaan (2)
--	---------------

Selanjutnya dari rumus (1) dapat dikembangkan lebih lanjut, sehingga akan diperoleh dua macam kedalaman air yang senantiasa berpasangan, yang dalam istilah hidrolika “kedalaman pasangan” atau dikenal dengan nama *Conyugate Deept*h atau *Alternate Depth*.

Dari persamaan (1)

$$\frac{q^2}{g} = d_1 \cdot d_2 (d_1 + d_2)$$

$d_1 \cdot d_2^2 + d_1^2 \cdot d_2 - 2 \frac{q^2}{g} = 0$	persamaan (3)
---	---------------

Persamaan (3) dapat dipertukarkan (*interchange able*), dalam artian bilamana d_2 yang dicari, maka d_1 harus diketahui demikian pula sebaliknya.

Salah satu harga akan dicari, yang selanjutnya akan dijelaskan berikut dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 d_2 (1.2) &= \frac{-d_1^2 \pm \sqrt{d_1^4 + 8 d_1 \cdot \frac{q^2}{g}}}{2 d_1} \rightarrow q = V_1 \cdot d_1 \\
 &= \frac{1}{2} d_1 \left(-d_1^2 \pm \sqrt{d_1^4 + \frac{8 V_1^2 \cdot d_1^3}{g}} \right) \\
 &= \frac{1}{2} d_1 \left(-d_1^2 \pm \sqrt{d_1^2 \left(d_1^2 + \frac{8 V_1^2 \cdot d_1}{g} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{2} d_1 \left(-d_1^2 \pm d_1 \sqrt{d_1^2 \left(1 + \frac{8 V_1^2}{g \cdot d_1} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(-d_1 \pm \sqrt{d_1^2 \left(1 + \frac{8 V_1^2}{g \cdot d_1} \right)} \right)
 \end{aligned}$$

Menurut Froude :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d_1}} \quad \text{atau} \quad Fr^2 = \frac{V^2}{\sqrt{g \cdot d_1}}$$

$$d_2 (1.2) = \frac{1}{2} \left(-d_1 \pm d_1 \sqrt{1 + 8 Fr_1^2} \right)$$

Harga yang memenuhi persyaratan

$$\boxed{d_2 = \frac{1}{2} d_1 \left(-1 + \sqrt{1 + 8 Fr_1^2} \right)} \quad \text{Persamaan (4)}$$

Dengan cara yang sama akan dihasilkan

$$\boxed{d_1 = \frac{1}{2} d_2 \left(-1 + \sqrt{1 + 8 Fr_2^2} \right)} \quad \text{Persamaan (5)}$$

Untuk mendapatkan panjang loncat air = L, tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitungnya. Panjang loncat air (loncatan hidrolik) dapat ditentukan dengan percobaan di laboratorium.

Menurut Smetana :

→ panjang loncat air pada saluran segi empat diambil antara 5 dan 7 kali tinggi loncat air.

$$L = 5 - 7 (d_2 - d_1) \quad \text{persamaan (6)}$$

Dari pandangan pemakaian praktis, loncatan hidrolik sangat berguna sebagai peredam energi lebih pada aliran superkritis. Peredam ini berguna untuk mencegah erosi yang mungkin terjadi pada saluran pelimpah, saluran curam dan lain-lain, dengan cara memperkecil kecepatan aliran pada lapisan pelindung, sehingga pada suatu titik dimana aliran tidak mempunyai kemampuan untuk mengikis dasar saluran dibagian hilir, pada umumnya jarang sekali kolam penenang (kolam olakan) dirancang untuk menahan seluruh panjang loncatan bebas, karena kolam penenang demikian sangat mahal biayanya.

E. KESIMPULAN

1. Dari rumus (2) peredam energi (*energy dissipation*) ternyata semakin besar bilamana perbedaan kedalaman pasangan semakin besar.
2. Rumus (4) dan (5) pada ilmu Mekanika Fluida dan Hidrolika merupakan rumus utama yang senantiasa dipergunakan pada suatu sistem peredaman energi.
3. Kolam penenang umumnya tidak dirancang untuk menahan seluruh panjang loncat air yang terjadi, karena biayanya mahal.

F. DAFTAR PUSTAKA

- B.A. Kiranoto and Walter H. Graf, 1995, *Turbulence Characteristics in Rough Non-Uniform Open Channel Flow*, Proc. Instn Civ. Engrs Wat., Switzerland.
- Bambang Triatmodjo, 1995, *Hidraulika*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Chanson, H., 2007, *Hydraulic Jumps*, Australasian Fluid Mechanics Conference Crown Plaza, Brisbane.
- Chow, VT., 1989, *Hidraulika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.
- Giles, Ronald V., 1986, *Mekanika Fluida dan Hidraulika*, Erlangga, Jakarta.
- Nur Yuwono, 1982, *Hidraulika*, Hanindita, Yogyakarta.