

THE EFFECT OF STEPPED SPILLWAY (“AKAR TERPOTONG” TYPE) TO THE LENGTH OF HIDRAULIC JUMP AND ENERGY LOSS IN STILLING BASSIN

PENGARUH PELIMPAH BERTANGGA TIPE AKAR TERPOTONG TERHADAP PANJANG LONCAT AIR DAN KEHILANGAN ENERGI PADA KOLAM OLAK

ABSTRAKSI

Muhammad Yusuf

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp
0271 717417

Gurawan Djati Wibowo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp
0271 717417

Fenomena loncatan hidrolis di kolam olak dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain, ketinggian dan kemiringan bendung, kekasaran tubuh bendung, baffleblock maupun bentuk kolam olak. Akibat loncatan hidrolis sering menimbulkan gulungan ombak atau pusaran besar yang menyebabkan gerusan pada dasar saluran, terutama bagian hilir dari kolam olak yang tidak diberi pelindung atau proteksi. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan menggunakan flume yang berdimensi panjang 10 m, lebar 30 cm dan tinggi 60 cm. Saluran merupakan saluran yang kedap air dari bahan dinding flexiglass dan dasar saluran kaca, kemiringan dasar saluran sebesar 0.0030, saluran di bagian hulu bendung diasumsikan tidak ada angkutan sedimen. Model bendung dengan mercu ogee tanpa menggunakan kolam olak. Penelitian ini berusaha meneliti efek dari kemiringan bendung, baik dengan pelimpah polos maupun pelimpah bertangga terhadap panjang loncat air, dan redaman energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa percobaan yang paling efektif mengurangi panjang loncat air (L_j) yang terjadi, yaitu pada percobaan bendung bertangga dengan kemiringan tubuh bendung 60° dengan pengaliran debit (Q) kelima sebesar $2810,415 \text{ cm}^3/\text{dt}$ maka dihasilkan panjang loncatan hidrolis (L_j) sebesar 9,5 cm. Sedangkan percobaan pelimpah bendung yang paling efektif untuk meredam energi aliran adalah bendung polos dengan kemiringan 45° dan debit $2810,415 \text{ cm}^3/\text{dt}$.

Kata kunci : panjang loncatan hidrolis, kedalaman aliran, pelimpah bertangga.

PENDAHULUAN

Bendung adalah bangunan yang diletakkan melintang pada suatu aliran sungai dengan maksud untuk menaikkan elevasi muka air, menangkap air, lalu menyalurkannya untuk berbagai keperluan seperti irigasi, air baku, penggelontoran drainase kota dan lain-lain (Standar Perencanaan Irigasi, KP-02, 1986). Di hilir bendung terjadi peristiwa loncat air. Pada peristiwa loncat air tersebut terjadi perubahan karakteristik aliran air hilir bendung dari aliran superkritis menjadi subkritis. Pada desain bendung untuk meredam gerusan yang terjadi di hilir bendung adalah dengan dibangunnya kolam olak. Pada perancangan kolam olak di hilir bendung, pada umumnya panjang kolam olak dapat peredam loncat air, sehingga gerusan di dasar saluran dapat dihindari.

Penelitian ini berusaha mengamati dan meneliti pengaruh dari kemiringan tubuh bendung terhadap panjang loncat air pada pelimpah bertangga akar terpotong. Dari penelitian ini dapat diketahui kemiringan bendung yang paling efektif untuk meredam panjang loncat air.

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini dan telah dicermati penulis adalah sebagai berikut ini :

Menurut Iguácel & Garcia (1992), percepatan arus yang kritis pada *stepped spilway* (pelimpah bertangga) berkaitan dengan terjadinya peronggaan dan dibawah kecepatan genting untuk katup konvensional berkaitan dengan *macro-roughness* yang diarahkan melalui anak tangga pelimpah maka arus mendorong ke arah suatu potensi peronggaan lebih tinggi.

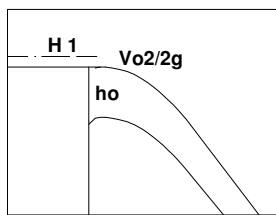
Chanson (1992), melakukan penelitian tentang *stepped spilway*, dan menghasilkan kesimpulan bahwa *stepped spilway* merupakan cara yang sangat efektif untuk mengendalikan debit banjir dan secara signifikan dapat meningkatkan kehilangan energi dan juga mereduksi panjang kolam olak.

Nofik (2008), melakukan penelitian tentang efektivitas pelimpah bertangga pada kolam olak tipe USBR II. Variabel yang diteliti antara lain bentuk dan kombinasi perletakan dari anak tangga. Sehingga didapat kesimpulan bahwa pelimpah bertangga dengan model tangga cekung bentuk akar ($\sqrt{\quad}$) terpotong-potong merupakan pelimpah bertangga yang paling efektif meredam energi.

Honing (2008), melakukan penelitian tentang efektivitas pelimpah bertangga sebagai peredam energi pada kolam olak tipe solid roller bucket. Variabel yang diteliti antara lain bentuk dan kombinasi perletakan dari anak tangga sehingga penelitian ini menyimpulkan bahwa pemasangan atau penambahan anak tangga dapat mengurangi loncatan air sehingga dapat meredam energi air.

Toni (2008), melengkapi penelitian- penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Nofik dan Honing. Penelitian yang dilakukan oleh Toni ialah kajian pelimpah bertangga sebagai peredam energi pada kolam olak USBR tipe III, sebagai hasil dari penelitian ini adalah dengan pelimpah bertangga sebagai peredam energi yang baik.

Bendung yang didesain untuk penelitian berupa bendung dengan tipe pelimpah ogee. Secara spesifik pelimpah dengan mercu ogee yang mempunyai dua jari-jari, memiliki koefisien debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan koefisien ambang lebar. Untuk menentukan besarnya debit yang mengalir pada pelimpah digunakan rumus berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh USBR (1973) sebagai berikut:



Gambar 1. Tiikal Pelimpah Tipe Ogee

$$Q = C_d \cdot b \cdot H_1^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

$$H_1 = h_0 + \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

Q : Debit aliran (m³/detik)

Cd : Koefisien debit

b : Lebar mercu (m)

H₁ : Tinggi energi di atas mercu (m)

h_o : Tinggi air mula-mula di atas mercu (m)

V₀ : Kecepatan mula-mula aliran (m/dt)

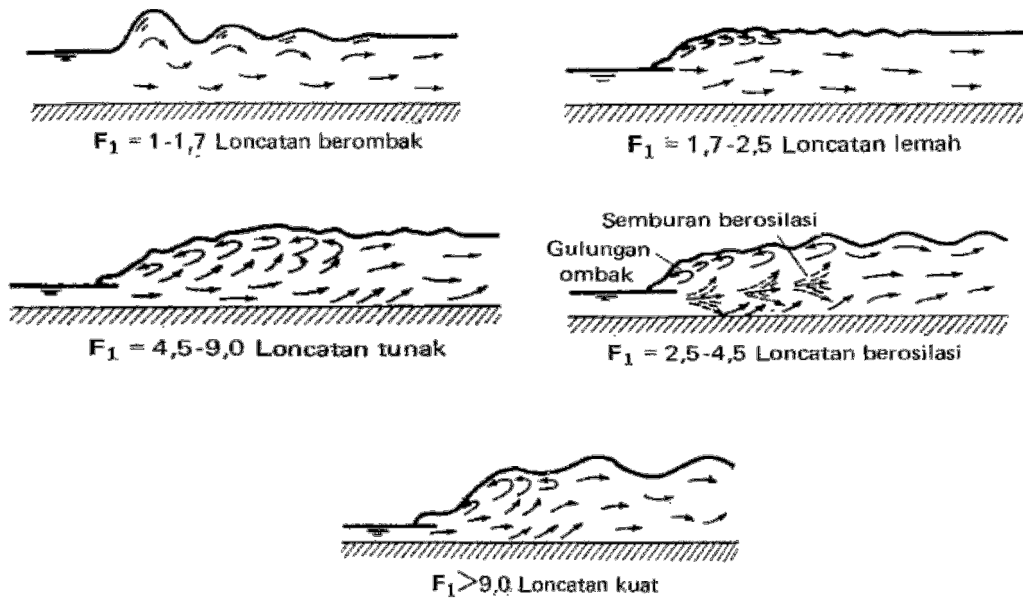
g : Percepatan gravitasi (m/dt²)

1. Tipe Loncatan Hidraulik

Loncatan hidraulik yang terjadi pada dasar mendatar, terdiri dari beberapa jenis yang berbeda-beda. Biro Reklamasi Amerika Serikat membedakan jenisnya berdasarkan bilangan *Froude* (Fr) (Chow, 1992), jenis tersebut adalah:

- Untuk Fr = 1, aliran adalah kritis. Pada aliran ini tidak terbentuk loncatan.
- Untuk Fr = 1 sampai dengan 1,7 terjadi ombak pada permukaan air, dan loncatan yang terjadi dinamakan loncatan berombak.
- Untuk Fr = 1,7 sampai dengan 2,5, terbentuk rangkaian gulungan ombak pada permukaan loncatan, tetapi permukaan di hilir masih halus. Secara keseluruhan kecepatannya seragam, dan kehilangan energinya kecil, loncatan ini dinamakan loncatan lemah.
- Untuk Fr = 2,5 sampai dengan 4,5, terdapat semburan berosilasi setiap osilasi menghasilkan gelombang tak teratur yang besar dan menjalar sampai jauh. Hal ini menyebabkan kerusakan pada tanggul-tanggul dan loncatan ini dinamakan loncatan berosilasi.
- Untuk Fr = 4,5, sampai dengan 9, ujung permukaan hilir akan bergulung, dan titik dimana kecepatan semburannya tinggi cenderung memisahkan diri dari aliran. Loncatan hidrolisnya sangat seimbang. Peredaman energinya berselang antara 45 sampai dengan 70%. Loncatan ini dinamakan loncatan lunak.
- Untuk Fr = 9 dan lebih besar, kecepatan semburan yang tinggi akan memisahkan hampasan gelombang gulung dari permukaan loncatan, menimbulkan gelombang-gelombang hilir. Jika permukaannya kasar

akan mempengaruhi gelombang yang terjadi. Gerakan loncatan jarang terjadi, tetapi efektif peredamannya akan mencapai 85%. Loncatan ini dinamakan loncatan kuat. Gambar beberapa tipe loncatan hidraulik disajikan sebagai berikut ini.



Gambar 2. Tipe Loncatan Hidraulik

Untuk bilangan-bilangan *froude* diatas 4,5 loncat air bisa mantap dan peredaman energi dapat dicapai dengan baik. Kolam olakan tipe USBR Iikhusus dikembangkan untuk bilangan-bilangan itu. Untuk menentukan berapa kedalaman air di awal dan akhir loncat serta besar bilangan *froude* dapat dicari dengan rumus (Standar Perencanaan Irigasi, KP-02, 1986) :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- h₂:Kedalaman air di atas ambang ujung hilir (m)
- h₁:Kedalaman air di awal loncat air (m)
- Fr₁:bilangan *froude* 1 (sebelum loncat air)

2. Kehilangan Energi

Kehilangan energi adalah perbedaan energi sebelum dan sesudah terjadinya pusaran air. Besarnya kehilangan energi adalah :

$$\Delta E = E_1 - E_2 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- E₁ : Energi aliran pada hulu bendung (m)
- E₂ : Energi aliran pada hilir loncat air (m)
- ΔE :Kehilangan energi setelah loncat air (m)

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Bahan dan Peralatan

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a) Saluran (*flume*) dari bahan dinding *flexiglass* dengan panjang efektif 5 m, lebar efektif 30 cm, kedalaman 60 cm, dengan sirkulasi air lihat Gambar 3.
- b) Alat ukur debit berupa Vnotch dengan kapasitas 650 cm³/dt



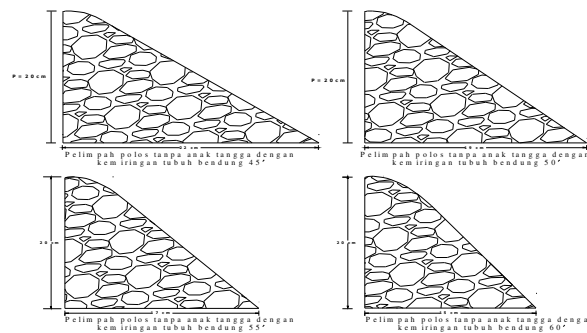
Gambar 3. Flume di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil UMS

Pelimpah Bertangga dan Pengaliran

Perencanaan pelimpah bertangga dengan variasi kemiringan yang berbeda-beda. Peneliti menambahkan balok kayu yang disusun pada punggung pelimpah yang menyerupai anak tangga yang berbentuk tangga cekung akar terpotong disertai variasi debit yang beragam.

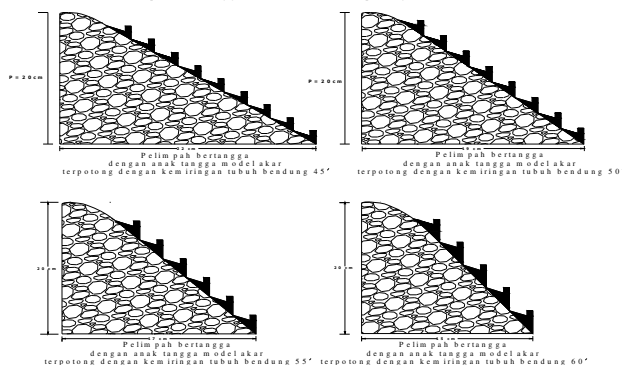
a. Perencanaan Pelimpah Polos dan Pelimpah Bertangga Dengan Variasi Sudut Kemiringan Tubuh Bendung

Tinggi dan lebar tangga pelimpah kesemuanya disamakan, sehingga dengan demikian bisa didapatkan perbandingan hasil L dengan variasi bentuk penampang atas, dengan ukuran, dengan rencana bendung polos dapat dilihat pada gambar sketsa seperti dibawah ini:



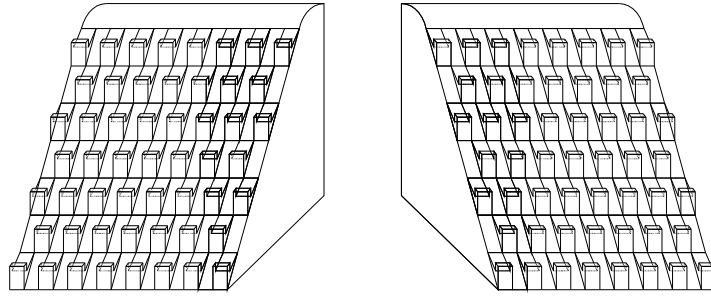
Gambar IV.5. Sketsa Pelimpah Polos

Untuk Pelimpah bertangga direncanakan seperti gambar dibawah ini :



Gambar IV.6. Sketsa Pelimpah Bertangga

Gambar 4. Potongan pelimpah bertangga menyerupai bentuk akar √



Gambar 5. Penyusunan Anak Tangga Model Akar Terpotong

Penyusunan anak tangga tersebut disusun dengan jarak 2 cm antar anak tangga dan perlu dilakukan secara cermat supaya semua segmen pelimpah bertangga dilalui oleh aliran air, baik pada debit terkecil sampai debit terbesar. Dari pertimbangan ini diharapkan efek pelimpah bertangga terhadap panjang loncat air maupun kecepatan air setelah terjadi loncat air semakin rendah.

Rencana Pelaksanaan Penelitian

1. Penelitian Seri I (pelimpah polos/tanpa tangga) dan Seri II (pelimpah bertangga)

Penelitian seri I (bendung polos tanpa tangga) dilakukan terlebih dahulu, dilanjutkan dengan penelitian seri II. Selanjutnya hasil penelitian seri I dibandingkan dengan penelitian seri II. Langkah pengamatan dan pengambilan data sebagai berikut:

- 1) Air dialirkan dengan debit (Q) yang telah ditentukan.
- 2) Mengukur kedalaman air di hulu (h_0).
- 3) Mengukur kedalaman air di hilir (h_2).
- 4) Mengukur panjang loncatan air (L_j) dengan membaca gelembung-gelembung aliran yang terjadi.

Penelitian seri I diatas menghasilkan grafik antara Q dengan panjang loncat air hasil percobaan (L_j), Q dengan bilangan froude (Fr_2), Q dengan kehilangan energi (ΔE) dan Q dengan energi dihilir bendung (E_2).

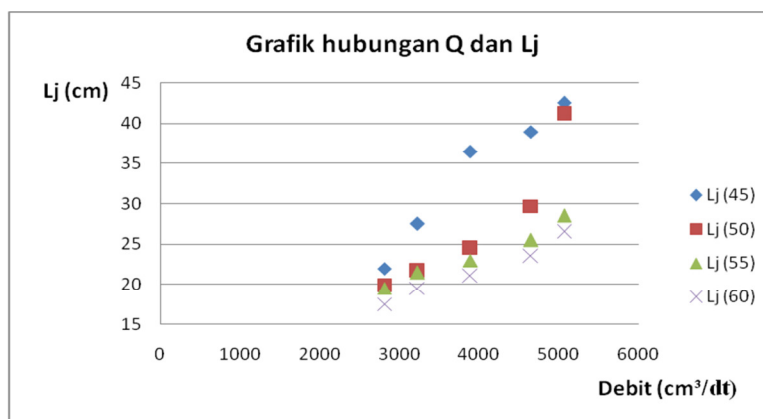
Hasil Percobaan dan Pembahasan

1. Pengamatan dan pembahasan pada bendung polos (tipe I)

a. Hubungan Panjang loncatan (L_j) terhadap debit (Q) bendung tipe I

Hasil pengamatan panjang loncat air (L_j) dapat dibuat grafik hubungan antara panjang loncat air di hilir (L_j) dengan debit (Q). Untuk mempermudah dibuat Grafik hubungan antara Q dengan seluruh L_j pada percobaan bendung polos/tanpa tangga.

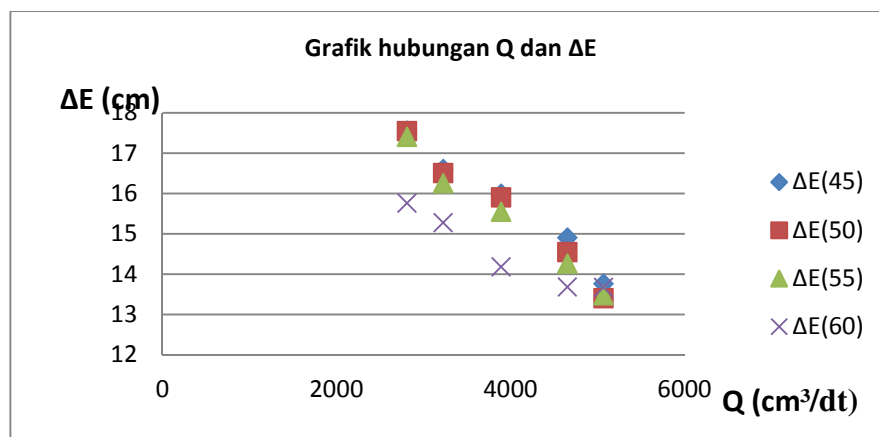
Grafik dibawah menunjukkan bahwa semakin besar sudut bendung, dengan debit yang sama panjang loncat air semakin kecil. Hal ini dapat dilogika dengan teori momentum untuk peristiwa loncat air bahwa untuk menjadikan tinggi muka air sebelum loncat air (h_1), maka tinggi muka air di kaki bendung memerlukan jarak tertentu sehingga tercapai tinggi muka air yang memenuhi hukum kekekalan momentum (h_1), dari hukum tersebut kemungkinan semakin besar sudut bendung panjang jarak untuk memenuhi h_1 semakin pendek.



Gambar 6. Hubungan L_j terukur dengan Debit dalam berbagai kemiringan pada bendung polos

Dari gambar di atas, dapat dicermati bahwa semakin besar debit, maka panjang loncat air semakin besar. Dari gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa dengan berbagai macam kemiringan bendung menunjukkan trend (kecenderungan) panjang loncat air akan semakin besar jika debit pengaliran diperbesar. Besar perbedaan panjang loncat air dari bendung dengan sudut 45° dan 50° relatif besar dibandingkan dengan perbedaan panjang loncat air dari bendung sudut 50° dan 55° maupun 60° . Dari grafik tersebut di atas untuk perbedaan panjang loncat air dari bendung sudut 45° dan 50° , mempunyai karakteristik berbeda dengan perbedaan panjang loncat air dengan sudut bendung 50° dan 55° maupun 55° dan 60° . Dari hasil grafik di atas terutama debit terbesar ($5070 \text{ cm}^3/\text{dt}$) untuk pengaliran bendung dengan sudut 50° menunjukkan penyimpangan jika dibandingkan dengan panjang loncat air untuk kasus bendung sudut 55° dan 60° . Dari perlakuan di laboratorium untuk debit yang sama, maka bukaan dari tail gate juga sama, dengan asumsi bahwa setelah loncat air akan terjadi muka air yang mendekati h_{normal} . Dari perlakuan ini dapat disimpulkan untuk debit $5070 \text{ cm}^3/\text{dt}$, pada pengaliran bendung dengan sudut 45° terjadi perbedaan panjang loncat air jika dibandingkan pada pengaliran pada tipe bendung lainnya.

b. Hubungan kehilangan energi (ΔE) terhadap debit (Q) dalam berbagai kemiringan pada bendung polos



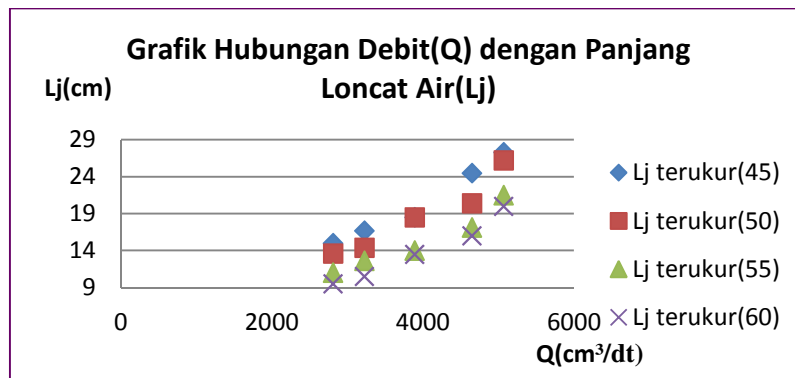
Gambar 7. Hubungan Debit dengan ΔE dalam berbagai kemiringan pada bendung polos

Dari grafik di atas, untuk secara umum semakin besar sudut bendung kehilangan energi semakin kecil dengan debit yang sama. Dari gambar tersebut, perbedaan grafik kehilangan energi untuk bendung dengan sudut 45° dan 50° hampir sama, akan tetapi tetap dengan debit yang sama terjadi kehilangan energi lebih besar pada pengaliran bendung dengan sudut 45° . Sebenarnya hubungan kehilangan energi setelah olakan (ΔE) dengan debit aliran (Q), sudah dapat dilihat pada pembahasan hubungan kehilangan energi setelah olakan (ΔE) dengan debit aliran (Q). Karena semakin besar debit suatu aliran maka kehilangan energi semakin kecil. Dari pengamatan di laboratorium dari pengaliran pada bendung dengan sudut 60° , dengan debit $5070 \text{ cm}^3/\text{dt}$, kehilangan energi di sepanjang tubuh bendung dan kehilangan energi karena loncat air lebih besar dibanding dengan pada bendung dengan sudut lainnya. Kehilangan energi pada bendung pada percobaan ini, dibedakan menjadi 2 yaitu kehilangan energi karena gesekan dengan tubuh bendung dan kehilangan energi karena adanya loncat air.

2. Percobaan dan Pengamatan pada Bendung Bertangga

a. Hubungan Antara Panjang loncatan (L_j) terhadap debit (Q) pada berbagai kemiringan tubuh bendung bertangga.

Suatu pelimpah dibuat untuk dapat meredam energi, semakin kecil panjang loncat air saluran tersebut berarti efisien biaya untuk pembuatan kolam olak. Loncatan hidrolik adalah hasil peristiwa perubahan aliran dari superkritis menjadi subkritis dapat dibuat analisa hubungan antara debit aliran dengan panjang loncat air. Rangkuman pengamatan pada percobaan bendung dengan pelimpah bertangga baik dengan sudut 45° , 50° , 55° dan 60° disajikan pada grafik berikut ini :

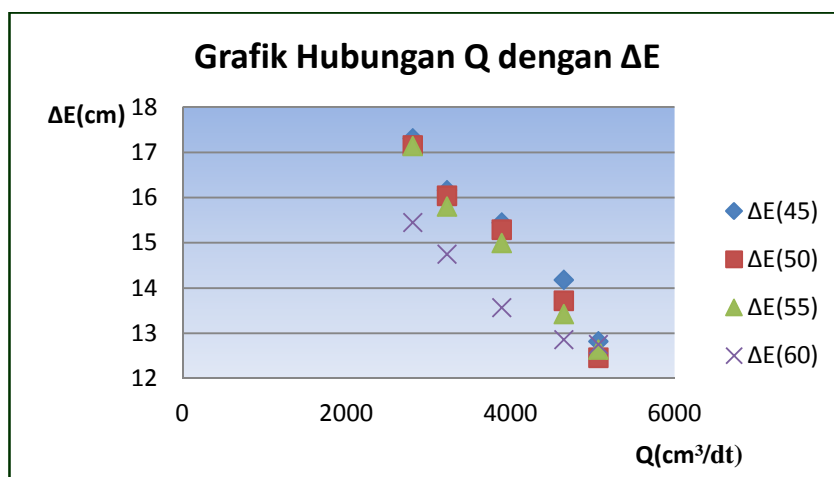


Gambar 8. Hubungan Debit dengan dengan Lj terukur berbagai kemiringan tipe bendung bertangga

Dari grafik di atas terlihat bahwa anak tangga model akar sangat efektif meredam energi kinetik aliran sehingga menghasilkan panjang loncatan yang relatif pendek. Penggunaan anak tangga yang diletakan pada tubuh bendung secara bersilangan, sebagian air akan membentur anak tangga bagian depan sedangkan sebagian lagi akan membentur anak tangga bagian belakang, dengan susunan ini semua aliran akan terbentur anak tangga. Dengan penataan bersilangan, energi aliran menjadi lemah, dan panjang loncat air yang terjadi menjadi lebih pendek dibandingkan pada loncat air pada bendung polos. Dari grafik diatas ternyata bendung dengan sudut kemiringan tubuh bendung 60° yang mempunyai daya mereduksi energi aliran yang terbesar, disusul bendung bertangga dengan sudut 55°, 50° dan 45°.

b. Grafik Hubungan Antara Kehilangan Energi (ΔE) dan Debit (Q) pada berbagai kemiringan tubuh bendung bertangga.

Kehilangan energi adalah hasil dari perhitungan energi aliran awal dikurangi dengan energi aliran di hilir olakan. Dari grafik 10 di bawah ini dapat dibuat analisa hubungan antara debit aliran dengan kehilangan energi.



Gambar 9. Hubungan kehilangan energi dengan Debit dalam berbagai kemiringan tipe bendung bertangga

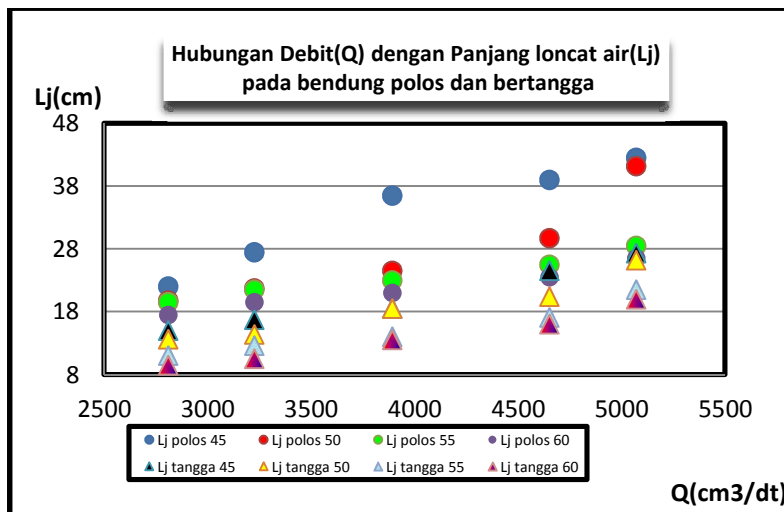
Gambar 9 di atas menunjukkan bahwa secara umum semakin besar kemiringan tubuh bendung, redaman energi semakin kecil. Sebagai kesimpulan awal dari hubungan debit dengan kehilangan energi di sepanjang tubuh bendung dan loncat air di hilir bendung adalah urutan kehilangan energi dari yang terkecil ke besar adalah bendung dengan pelimpah bertangga dengan sudut 60°, pelimpah bertangga 55°, pelimpah bertangga 50° dan pelimpah bertangga 45°. Jika di analisis dengan sudut pantulan aliran yang menuruni tubuh bendung, semakin kecil sudut aliran di tubuh bendung dari garis normal kolam olak akan semakin kecil kehilangan energi aliran, dan semakin kecil panjang loncat airnya.

3. Perbandingan Bendung Polos Dan Bertangga

Dari semua hasil penelitian, baik pada bendung polos dan bertangga selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik kolaborasi antara keduanya. Sehingga diharapkan dengan grafik kolaborasi tersebut dapat mempermudah dalam mencari hasil yang paling efektif dalam meredam energi dan memperpendek loncat air.

a. Hubungan perbandingan panjang loncatan(Lj) dengan debit (Q) dalam berbagai kemiringan tubuh bendung polos dan bertangga

Hubungan antara kedua parameter tersebut mempunyai hubungan yang sangat erat dimana menunjukkan hubungan tersebut searah, artinya jika salah satu parameter bertambah maka parameter lainnya meningkat pula, demikian juga sebaliknya jika debit aliran kecil maka panjang loncat air yang dihasilkan juga akan kecil. Adapun grafik hubungan keduanya dapat dilihat pada gambar 10. dibawah.



Gambar 10. Hubungan Debit dengan Panjang loncat air pada bendung polos dan bertangga

Dari pemerhatian grafik tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran, panjang Lj (loncat air) semakin besar (baik untuk bendung polos dengan berbagai kemiringan bendung maupun bendung pelimpah bertangga). Urutan panjang loncat air dari yang terbesar sampai terkecil adalah bendung polos sudut 45° (dengan Lj = 43 cm), bendung polos sudut 50°, bendung polos sudut 55°, dan bendung polos dengan sudut 60°. Urutan tersebut sama persis dengan bendung pelimpah bertangga, yaitu pelimpah bertangga sudut 45°, pelimpah bertangga sudut 50°, pelimpah bertangga sudut 55° dan pelimpah bertangga sudut 60°. Dari pertimbangan prinsip momentum aliran, semakin besar tumbukan aliran (momentum yang menumbuk lantai dasar), maka semakin besar gaya aliran yang menumbuk lantai bendung, setelah proses tumbukan tersebut dengan cepat aliran air akan terloncat ke atas karena peristiwa loncat air (sesuai juga dengan hukum pantulan snellius). Dari peristiwa tersebut, merupakan salah satu sebab panjang loncat air akan semakin kecil. Dari percobaan di atas juga dapat ditarik kesimpulan awal bahwa pelimpah bertangga berpengaruh juga terhadap reduksi panjang loncat air. Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan secara umum bahwa semakin besar sudut ekor bendung semakin kecil panjang loncat air (Lj). Sehingga dapat dikatakan bahwa panjang loncatan hidrolik pada hilir bendung sangat dipengaruhi oleh perubahan besarnya debit.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk meredam panjang loncat air pada penelitian ternyata bendung dengan sudut kemiringan tubuh bendung 60° bertangga merupakan susunan serta bentuk paling efisien meredam panjang loncat air (Lj) dan mendapatkan panjang loncat air yang paling pendek.
2. Pengaruh variasi kemiringan tubuh bendung terhadap panjang loncat air di hilir bendung pada pelimpah polos dan pelimpah bertangga. Urutan bendung yang dapat meredam energi paling

efektif adalah bendung dengan kemiringan 45°,50°,55°,60° untuk bendung polos, sedangkan untuk bendung pelimpah bertangga juga sama dengan kemiringan 45°,50°,55°,60°.

2. Saran

Saran yang bisa diberikan dengan hasil penelitian ini adalah :

1. Untuk penelitian lebih lanjut, dapat juga dilakukan dengan penambahan kolam olak dan variasi bentuk chute blocks
2. Penelitian perlu dikembangkan dengan menggunakan model pelimpah yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, J., 2006. *Kajian Proteksi Gerusan Di Hilir Kolam Olakan Bendung Tipe USBR Pada Kondisi live-bed scour*, Laporan Penelitian, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anggrahini, 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Dieta Pratama. Surabaya.
- Anonim, 1986. *Standar Perencanaan Irigasi*, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Chanson, Hubert., 1992. *Stepped Spillway Flow and Air Entrainment*. Department of Civil Engineering, The University of Queensland, St. Lucia QLD 4072, Australia., www.google.com
- Chow, V.T., 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Erlangga. Jakarta.
- Riyn, V.L.C., 1990. "Principle Of Fluid Flow And Surface Waves rives,Estuaries,Seas And Oceans" , Aqua Publications, The Netherlands
- Siswanto, N., 2008.*Kajian Pelimpah Bertangga Sebagai Peredam Energi Pada Kolam Olak Tipe USBR Type II*, Skripsi (Tidak diterbitkan) Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Triatmodjo, Bambang., 1995. *Hidrolika II*. Beta Offset. Yogyakarta.
- USBR, 1984. *Design of Small Dams*. USBR. Oxford and IBH Publishing CO. New Delhi. Bombay-Calcuta