

BENDUNG LABIRIN SEBAGAI SOLUSI PENINGKATAN KAPASITAS ALIRAN PADA INFRASTRUKTUR IRIGASI DAN PENGENDALIAN BANJIR

THE LABYRINTH WEIRS AS A SOLUTION FOR INCREASING FLOW CAPACITY IN IRRIGATION INFRASTRUCTURE AND FLOOD CONTROL

Ir Muhammad Hasan Wicaksono S.Pd¹, M.T, Dr. Feril Harianti S.T., M.Eng², Endin Tajuddin³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Ibnu Khaldun Bogor, Jl. Soleh Iskandar No. KM. 0216162, Indonesia

Email: mhasan@uika-bogor.ac.id, feril.hariati@uika-bogor.ac.id, adi.wardana536@gmail.com

Received: 02 Juni 2026 Revised: 06 September 2026 Accepted: 30 September 2026 Published: 01 Oktober 2026

ABSTRAK

Bendung labirin merupakan inovasi pada struktur bendung yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi aliran air dengan cara memanjangkan mercu dalam ruang yang terbatas. Artikel ini mengulas perkembangan penelitian tentang bendung labirin, meliputi prinsip kerja, bentuk geometri, performa hidraulik, serta aplikasi dan tantangannya dalam penerapannya. Literatur menunjukkan bahwa desain labirin dapat secara signifikan meningkatkan debit aliran tanpa perlu meningkatkan elevasi muka air. Penelitian eksperimental dan numerik terus dikembangkan untuk mengoptimalkan desain, terutama terkait bentuk geometri seperti trapezium, segitiga, dan piano key. Artikel ini menyimpulkan bahwa bendung labirin merupakan solusi potensial untuk aplikasi irigasi dan pengendalian banjir di wilayah dengan keterbatasan dan kebutuhan debit tinggi.

Kata kunci: Bendung Labirin, Debit Aliran, Desain Hidraulik, Irigasi, Panjang Mercu, Pengendalian Banjir

ABSTRACT

The labyrinth weir is an innovation in weir structures designed to enhance water flow efficiency by elongating the crest in a limited space. This article reviews the developments in research on labyrinth weirs, covering principles of operation, geometric shapes, hydraulic performance, as well as their applications and challenges in implementation. Literature shows that labyrinth designs can significantly increase flow rates without need to raise the water surface elevation. Experimental and numerical research continues to be developed to optimize the design, particularly related to geometric shapes such as trapezoids, triangles, and piano keys. This article concludes that labyrinth weirs are a potential solution for irrigation applications and flood control in areas with constraints and high flow rate demands.

Keywords: Crest Length, Flood Control, Flow Rate, Hydraulic Design, Irrigation, Labyrinth Weir

PENDAHULUAN

Permasalahan keterbatasan kapasitas aliran pada sistem irigasi dan pengendalian banjir sering kali menjadi tantangan dalam desain infrastruktur sumber daya air, terutama di daerah dengan intensitas curah hujan yang tinggi serta keterbatasan lahan dan elevasi. Seiring dengan peningkatan kebutuhan akan efektivitas dan efisiensi dalam sistem pengairan, diperlukan inovasi teknis yang mampu meningkatkan kapasitas limpasan tanpa harus memperbesar dimensi struktur secara signifikan. Salah satu pendekatan yang semakin banyak mendapat perhatian dalam beberapa decade terakhir adalah penggunaan bendung labirin (*labyrinth weir*). Bendung labirin adalah struktur bendung dengan bentuk mercu berliku-liku menyerupai labirin, dengan tujuan untuk meningkatkan panjang efektif mercu dalam ruang yang terbatas dan secara langsung akan mampu meningkatkan kapasitas alirannya pada elevasi muka air yang sama dengan bendung lurus konvensional. Selain permasalahan kapasitas pelimpasan pada bendung, keandalan infrastruktur sumber daya air secara umum juga sangat ditentukan oleh aspek keamanan struktural lain, termasuk kontrol rembesan pada tubuh bendungan yang apabila tidak terkendali dapat memicu erosi internal dan mengancam stabilitas bangunan (Patra dkk., 2026).

Berbagai studi eksperimental dan numerik telah menunjukkan bahwa kinerja hidraulik dari bendung labirin sangat dipengaruhi oleh geometrik, sudut lengkung, tinggi mercu, serta rasio panjang mercu terhadap lebar saluran, namun sejauh ini belum ada standar universal yang mengatur desain optimal untuk semua kondisi aliran dan lokasi, sehingga diperlukan kajian literatur yang komprehensif untuk memahami dan keterbatasan dari teknologi ini.

Melalui studi literatur ini, akan dibahas mengenai prinsip dasar bendung labirin, variasi geometri dan efisiensi hidraulik bendung labirin, serta aplikasi lapangan dan tantangan dalam pengembangan bendung labirin.

METODE

Penelitian ini disusun menggunakan metode kajian literatur (*literature review*) yang bersifat naratif dan deskriptif. Penelusuran pustaka dilakukan melalui basis data ilmiah seperti *Scopus*, *ScienceDirect*, *Springer*, dan *Google Scholar*, dengan kata kunci “*labyrinth weir*”, “*piano key weir*”, “*bendung labirin*”, “*discharge coefficient*”, dan “koefisien debit”. Pendekatan sintesis pustaka semacam ini sejalan dengan kajian tinjauan terdahulu mengenai performa hidraulik *Piano Key Weir* (Bhukya dkk., 2022).

Kriteria inklusi yang digunakan meliputi minimal 10 artikel jurnal ilmiah yang diterbitkan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (2016–2026), termasuk satu artikel dari jurnal *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, disertai beberapa literatur dasar (seminal) yang menjadi rujukan utama konsep bendung labirin. Artikel yang terkumpul selanjutnya diseleksi berdasarkan relevansi topik, yaitu prinsip kerja, variasi geometri, performa hidraulik, serta aplikasi dan tantangan bendung labirin, kemudian dianalisis secara sistematis dan disintesis secara naratif untuk menjawab tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengertian Bendung Labirin

Bendung labirin adalah salah satu jenis bendung yang memiliki desain khusus, dengan bentuk saluran aliran air yang berliku-liku atau berbentuk labirin. Secara umum, bendung ini dirancang untuk meningkatkan panjang permukaan aliran sehingga kapasitas aliran air dapat ditingkatkan tanpa perlu menambah ketinggian bendung. Struktur labirin ini

juga sering dipilih untuk mengatasi keterbatasan lahan, karena panjang aliran yang diperoleh bisa lebih besar daripada bendung konvensional.

Definisi lainnya menjelaskan bahwa bendung labirin adalah struktur penghalang air yang terdiri dari saluran berkelok yang memanfaatkan peningkatan panjang jalur aliran untuk meningkatkan kapasitas aliran (Elahifar dkk., 2022). Dalam desain bendung labirin air mengalir melalui saluran yang berkelok, sehingga memperpanjang jalur dan meningkatkan debit air yang dapat dialirkan.

2. Prinsip Dasar Bendung Labirin

Bendung labirin bekerja berdasarkan prinsip peningkatan panjang mercu pada area melintang yang sama sehingga dapat memperpanjang jalur aliran (*crest length*). Tidak seperti bendung linier konvensional yang memiliki bentuk mercu lurus, bendung labirin memiliki bentuk zig-zag atau melengkung membentuk seperti huruf “W” atau “U” yang membentuk pola siklus (*cycle*), hal ini memungkinkan air mengalir melalui jalur yang lebih panjang sehingga dengan hal tersebut dapat meningkatkan debit aliran tanpa meninggikan elevasi muka air.

Prinsip kerja utama bendung labirin adalah pengalihan Sebagian besar aliran air melalui struktur berkelok yang membentuk labirin. Beberapa prinsip dasar kerja bendung labirin adalah sebagai berikut.

a. Panjang Aliran yang Diperpanjang

Dengan bentuk labirin, permukaan aliran menjadi lebih panjang dibandingkan dengan bendung tradisional yang lurus. Hal ini memungkinkan lebih banyak air untuk dialirkan tanpa memerlukan peningkatan tinggi bendung, sehingga mengurangi biaya konstruksi dan penggunaan ruang.

b. Pengaturan Kecepatan Aliran

Struktur berkelok juga berfungsi memperlambat kecepatan aliran air, memberikan kesempatan lebih lama bagi air untuk mengalir ke saluran yang diinginkan.

Hal ini penting terutama dalam aplikasi pengendalian banjir untuk mengurangi kecepatan air yang dapat menyebabkan kerusakan.

c. Efisiensi dalam Pengaliran Debit Air

Bendung labirin mampu mengalirkan debit air yang lebih besar dengan menggunakan lebar bendung yang lebih kecil dibandingkan dengan bendung konvensional. Prinsip ini memungkinkan bendung labirin lebih efisien dalam meningkatkan kapasitas saluran tanpa memerlukan penambahan ketinggian yang signifikan (Samadi dkk., 2022).

Pada prinsipnya bendung labirin merujuk pada persamaan aliran bebas diatas mercu sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) berikut.

$$Q = C_d \cdot L \cdot H^{1.5} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- Q = debit aliran (m³/s)
- C_d = koefisien debit
- L = panjang efektif mercu (m)
- H = tinggi muka air diatas mercu (m)

3. Variasi Geometri dan Efisiensi Hidraulik

Efisiensi hidraulik bendung labirin sangat bergantung pada desain geometrinya. Variabel-variabel utama yang memengaruhi performa aliran meliputi bentuk dasar bendung (*plan*), sudut belokan (*sidewall angle*), rasio panjang mercu terhadap lebar saluran, serta tinggi bendung *relative* terhadap aliran.

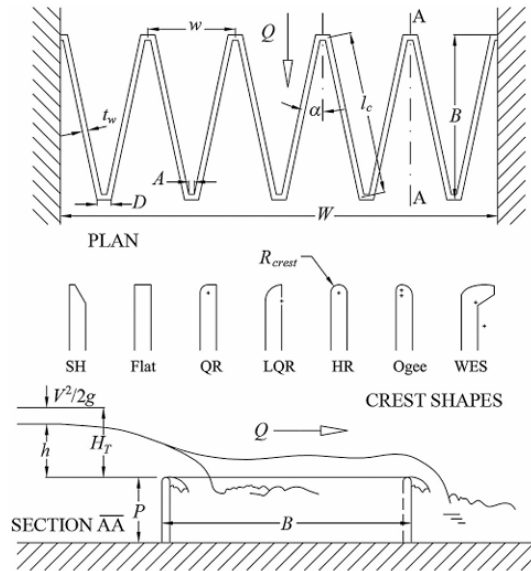
Bentuk umum bendung labirin terbagi menjadi beberapa tipe:

a. Trapezoidal (splay type)

Bentuk ini memiliki sisi menyebar ke luar dengan sudut lancip. Sudut *platform* (α) biasanya berkisar antara 8° hingga 20°, semakin besar sudutnya, maka akan semakin besar pula panjang efektif mercunya. Penelitian yang dilakukan oleh Samadi dkk. (2022) menunjukkan bahwa tipe ini paling efisien pada berbagai kondisi

debit karena menyebar secara merata pada seluruh permukaan mercu. Studi eksperimental yang dilakukan Bilhan dkk. (2016) pada bendung labirin bentuk trapezium untuk keperluan irigasi juga mengonfirmasi peningkatan kapasitas debit yang signifikan dibandingkan bendung

lurus konvensional pada dimensi saluran yang sama, sementara Dogan dan Kaya (2023) menunjukkan bahwa perubahan panjang efektif mercu pada bendung labirin tipe side weir turut memengaruhi kapasitas debit secara langsung.

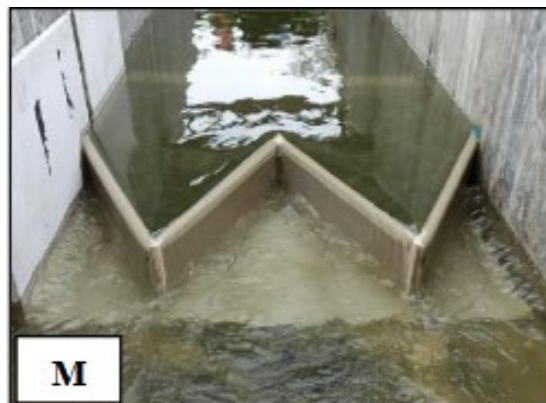


Gambar 1. Bendung Labirin Tipe *Trapezoidal* (Samadi dkk., 2022).

b. *Triangular*

Pada tipe ini sudut belokan lebih tajam, cenderung memberikan efisiensi tinggi pada aliran rendah, namun mengalami penurunan kinerja saat debit besar karena efek penumpukan aliran pada bagian tengah. Sudut puncak (*apex angle*) dari

segitiga menentukan panjang mercu dan aliran yang dapat dilimpaskan. Setiap unit terdiri dari dua sayap yang membentuk segitiga, menciptakan profil V yang tajam. Bentuk yang simetris sangat penting untuk menjaga distribusi aliran yang merata pada setiap sayapnya.



Gambar 2. Bendung Labirin Tipe *Triangular* (Tanga dkk., 2023).

Bendung Labirin Sebagai (Wicaksono/ hal. 49-57)

c. *Rectangular (folded)*

Bendung labirin tipe *rectangular* merupakan salah satu bentuk paling sederhana dari bendung labirin, dengan mercu yang berbentuk zig-zag membentuk sudut siku-siku (90°) jika dilihat dari atas.

Tipe ini digunakan pada ruang yang sangat terbatas. Memberikan kinerja yang cukup baik, namun berisiko menyebabkan flow separation dan kehilangan energi pada sudut tajam.

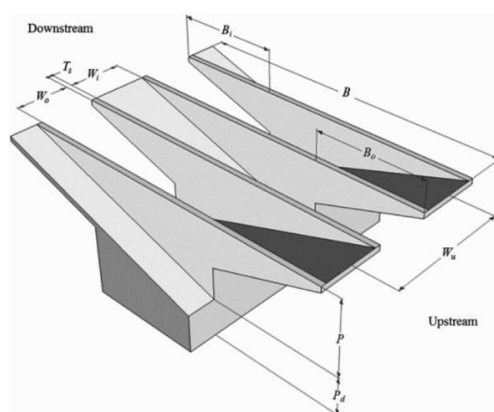


Gambar 3. Bendung Labirin Tipe *Rectangular (Folded)* (Tanga dkk., 2023) .

d. *Staggered* atau *Piano Key Weir (PKW)*

Piano Key Weir (PKW) merupakan bendung labirin varian *modern* yang dirancang menyerupai bentuk tuts piano

jika dilihat dari atas, PKW memberikan kinerja yang sangat tinggi pada ruang sempit dengan mengalirkan air dari kedua sisinya.



Gambar 4. Bendung Labirin Tipe *Piano Key Weir (PKW)* (Beekheet dkk., 2022).

Sudut lipatan bendung pada bendung labirin tipe *trapezoidal* dan tipe *triangular* biasanya antara 6° - 20° dari arah tegak lurus yang secara langsung memengaruhi panjang efektif mercu. Selain bentuk lipatan lurus, variasi bentuk *alignment* puncak seperti tipe *linear*, *multi-halfcircular* (Sudradjat, 2022), maupun tipe melengkung (*arched*) (Christensen dan Tullis, 2012) juga turut memengaruhi

koefisien debit yang dihasilkan, dan di Indonesia kriteria desain hidraulik bendung dan pelimpah jenis gergaji telah distandarisasi melalui pedoman Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004).

Sudut yang lebih kecil menghasilkan panjang mercu yang lebih besar, namun rentan terhadap turbulensi dan *flow*

interference antar segmen. Sedangkan, sudut yang terlalu besar dapat mengurangi panjang mercu, sehingga efisiensi mendekati bendung lurus biasa.

Idrees dan Al-Ameri (2023b) menunjukkan bahwa sudut optimal berkisar pada $8^\circ - 12^\circ$ untuk mendapatkan efisiensi maksimum tanpa menyebabkan *flow stagnation*. Rasio panjang mercu terhadap lebar saluran merupakan indikator langsung kapasitas aliran bendung dimana apabila rasio $L/W > 2$ maka termasuk sangat efisien yang artinya debit meningkat signifikan dibanding dengan bendung lurus konvensional dan apabila rasio $L/W < 1.5$ maka termasuk rendah tingkat efisiensinya. Sedangkan rasio tinggi air terhadap tinggi bendung (H_t/P) menentukan karakteristik aliran tersebut, dimana apabila rasio $H_t/P < 0.5$ maka aliran cenderung tidak stabil, lebih *sensitive* terhadap perubahan kecil dalam geometri dan kondisi hilir dan apabila rasio $H_t/P > 0.75$ berarti dapat meningkatkan stabilitas aliran dan efisiensi debit, akan tetapi dapat meningkatkan potensi *submergence* (terendamnya mercu).

Efisiensi diukur melalui koefisien debit (C_d), yaitu perbandingan antara debit aktual dan debit teoritis, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2) berikut.

$$C_d = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{teoritis}}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

C_d = koefisien debit

Q_{aktual} = debit aliran hasil pengukuran/pengamatan (m^3/s)

Q_{teoritis} = debit aliran teoritis pada bendung lurus dengan lebar efektif yang sama (m^3/s)

Berdasarkan Persamaan (2) tersebut, nilai C_d untuk bendung labirin dapat meningkat hingga 2–3 kali lipat dibandingkan dengan bendung lurus konvensional. Sejumlah kajian eksperimental terbaru (Mehboudi dkk., 2016; Kumar dkk., 2020; Idrees dan Al-Ameri, 2023a) menegaskan bahwa peningkatan tersebut sangat dipengaruhi

oleh rasio panjang mercu terhadap lebar saluran (L/W) serta bentuk geometri mercu yang digunakan. Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa:

- C_d meningkat seiring dengan meningkatnya L/W dan panjang mercu.
- C_d menurun jika terjadi *submergence* atau jika aliran mulai melewati kapasitas optimum mercu.
- Efek tepi (*end contraction*) dan kehilangan energi pada tikungan memengaruhi C_d

Terutama di desain dengan banyak sudut tajam, dan menjadi lebih signifikan pada rasio tinggi muka air terhadap tinggi bendung (*headwater ratio*) yang besar sebagaimana ditunjukkan oleh pemodelan fisik dan numerik pada bendung labirin tipe 15 siklus (Savage, 2016).

4. Aplikasi dan Tantangan Pengembangan

Aplikasi bendung labirin sangat relevan pada lokasi dengan keterbatasan ruang melintang saluran atau pada bendung eksisting yang perlu peningkatan kapasitas tanpa modifikasi besar terhadap struktur utama. Bendung labirin telah diaplikasikan pada berbagai proyek sungai dan irigasi di dunia, termasuk di Amerika, misalnya pada model fisik Prado Spillway di California (Copeland dan Fletcher, 2000), serta di Eropa dan Asia. Di Indonesia penerapannya masih terbatas namun menunjukkan potensi yang besar.

Penerapan bendung labirin di Indonesia masih dalam tahap pengembangan dan evaluasi. Beberapa penerapan bendung labirin di Indonesia diantaranya.

- Bendungan Sidan, Bali

Bendungan Sidan menggunakan desain pelimpah ambang labirin untuk mengendalikan aliran air dan mengurangi risiko banjir di hilir, namun studi oleh Muhammad Arif Billah di ITS menunjukkan bahwa desain asli bendungan

Bendung Labirin Sebagai (Wicaksono/ hal. 49-57)

ini memiliki beberapa bagian yang tidak memenuhi kriteria desain, sehingga efektivitasnya dalam mengurangi banjir masih terbatas. Studi tersebut juga membandingkan desain modifikasi dan morning glory, yang menunjukkan peningkatan efektivitas dalam mengurangi banjir (Prasetya, 2025).

b. Aplikasi Sistem Informasi Bendungan dan Waduk (Sinbad)

Sinbad adalah aplikasi yang dikembangkan oleh Kementerian PUPR untuk memantau kondisi bendungan dan waduk secara *real-time*. Aplikasi ini menampilkan data teknis seperti tinggi muka air (TMA), volume bendungan, serta status keamanan dan operasional bendungan. Meskipun Sinbad tidak secara khusus dirancang untuk bendung labirin, aplikasi ini dapat digunakan untuk memantau kinerja bendungan dengan desain pelimpah labirin.

c. FEWAS (*Flood Early Warning System*)

FEWAS adalah aplikasi mitigasi bencana banjir yang dikembangkan oleh ITB untuk wilayah sungai Citarum. Aplikasi ini mengintegrasikan data dari berbagai pos pengamatan, termasuk bendungan dan waduk, untuk memberikan peringatan dini terhadap potensi banjir. FEWAS dapat digunakan untuk memantau kinerja bendungan dengan desain pelimpah labirin dan memberikan informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana.

d. Tailrace PLTA Poso-2b

Bendung labirin pada tailrace PLTA Poso-2b menggunakan tipe *trapezoidal* yang di desain untuk beberapa fungsi diantaranya.

1) Meningkatkan Kapasitas Aliran.

Dalam hal ini memungkinkan aliran yang keluar dari turbin dapat mengalir melewati bendung labirin tanpa terhambat.

2) Mengurangi Energi Aliran dan Mencegah Erosi

Dalam hal ini bendung labirin dapat mengurangi kecepatan aliran dan mencegah erosi pada dasar sungai atau struktur hilir.

3) Pengendalian Tinggi Muka Air

Dalam hal ini bendung labirin digunakan untuk mengatur tinggi muka air pada saluran *tailrace* secara langsung tidak akan menciptakan fluktuasi elevasi muka air *tailrace* yang tinggi sehingga kinerja turbin pada pembangkit bekerja secara optimal. Selain itu bendung labirin juga difungsikan agar tidak terjadinya aliran balik (*back water*) yang dapat mengganggu performa turbin.

4) Efisiensi Ruang.

Dalam hal ini bendung labirin pada saluran *tailrace* digunakan untuk dapat mengalirkan debit yang lebih besar dengan lebar saluran *tailrace* yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan bendung konvensional.

Namun demikian, pengembangan bendung labirin menghadapi sejumlah tantangan teknis, antara lain.

a. Kompleksitas hidraulik

Aliran pada bendung labirin bersifat tiga dimensi dan sangat tergantung pada geometri *crest*. Simulasi numerik atau eksperimental (misalnya CFD atau uji model fisik) dibutuhkan untuk memperoleh kurva debit yang akurat, sebagaimana ditunjukkan oleh Torres dkk. (2021) melalui simulasi CFD pada bendung labirin.

b. Stabilitas Struktural

Tekanan yang dinamis dan gaya *uplift* pada *crest* dan dasar bendung lebih bervariasi dibanding bendung linear, sehingga analisis stabilitas dan fondasi menjadi lebih kompleks.

c. Sedimentasi dan Debris

Geometri berkelok meningkatkan risiko akumulasi sedimen dan sampah yang dapat menurunkan efisiensi pelimpasan dan menyebabkan *backwater*, sesuai dengan temuan Abhash dan Pandey (2021) terkait

profil sedimentasi di hulu *Piano Key Weir* dengan berbagai bentuk geometri.

d. Kesulitan Konstruksi

Bentuk *crest* yang kompleks menuntut akurasi tinggi dalam proses pengecoran dan pemasangan bekisting, serta penggunaan material yang tahan terhadap erosi dan keausan.

e. O&M (Operasi dan Pemeliharaan)

Dibutuhkan sistem *monitoring* berkala terhadap perubahan kapasitas aliran, erosi local (*scour*), dan pertumbuhan vegetasi atau obstruksi lain.

Mengingat kompleksitas ini, penerapan bendung labirin memerlukan pendekatan desain multi-disiplin yang menggabungkan aspek hidraulika, structural, geoteknik, serta manajemen sumber daya air secara terpadu.

SIMPULAN

Bendung labirin merupakan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan kapasitas aliran pada system irigasi dan pengendalian banjir, khususnya di lokasi dengan ruang yang terbatas. Prinsip utama bendung ini adalah peningkatan panjang mercu melalui bentuk yang berkelok, yang memungkinkan debit lebih besar tanpa menaikkan elevasi muka air. Efisiensi hidraulik bendung labirin sangat dipengaruhi oleh variasi geometrinya, termasuk tipe bentuk, sudut pelimpah, dan rasio dimensi terhadap saluran dan tinggi air. Koefisien debit (Cd) dapat meningkat signifikan dibandingkan bendung lurus, terutama pada desain dengan rasio L/W yang tinggi dan sudut yang optimal.

Namun, pengembangan bendung labirin menghadapi tantangan teknis seperti kompleksitas aliran tiga dimensi, kebutuhan simulasi atau pengujian fisik, isu stabilitas structural, sedimentasi, kesulitan konstruksi, serta kebutuhan pemeliharaan yang intensif. Oleh karena itu, implementasinya menuntut pendekatan

desain terpadu yang melibatkan berbagai disiplin ilmu Teknik. Meskipun tantangannya tinggi, bendung labirin menunjukkan potensi yang besar dalam peningkatan efisiensi sistem sumber daya air secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhash, A. dan Pandey, K. K. (2021). Experimental and Numerical Study of Discharge Capacity and Sediment Profile Upstream of Piano Key Weirs with Different Plan Geometries. *Water Resources Management*, 35(5), 1529–1546.
- Bekheet, A. A., AboulAtta, N. M., Saad, N. Y., dan El-Molla, D. A. (2022). Effect of the Shape and Type of Piano Key Weirs on the Flow Efficiency. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(101620), 1–15.
- Bhukya, R. K., Pandey, M., Valyrakis, M., dan Michalis, P. (2022). Discharge Estimation over Piano Key Weirs: A Review of Recent Developments. *Water*, 14(19), 3029.
- Bilhan, O., Emiroglu, M. E., dan Miller, C. (2016). Experimental Investigation of Discharge Capacity of Labyrinth Weirs With and Without Nappe Breakers. *World Journal of Mechanics*, 6(7), 207-221.
- Christensen, N. A. dan Tullis, B. P. (2012). Arced Labyrinth Weir Flow Characteristics. *4th International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures*, 21-29.
- Copeland, R. R. dan Fletcher, B. P. (2000). *Model Study of Prado Spillway, California: Hydraulic Model Investigation*. US Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Dogan, Y. dan Kaya, N. (2023). The Effects of Changing the Effective Crest Length of Labyrinth Side Weir on Discharge

- Capacity. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48, 5289–5304.
- Elahifar, H., Tayari, O., Yazdanpanah, N., dan Momeni, M. (2022). Experimental Investigation of the Discharge Coefficient of Labyrinth Weirs with Asymmetric Cycles. *Water SA*, 48(3), 1–10.
- Idrees, A. K. dan Al-Ameri. (2023a). Investigating A New Approach to Enhance the Discharge Capacity of Labyrinth Weirs. *Journal of Hydroinformatics*, 25(2), 300-317.
- Idrees, A. K. dan Al-Ameri, R. (2023b). Investigation of Flow Characteristics and Energy Dissipation over New Shape of the Trapezoidal Labyrinth Weirs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 89, 102276.
- Kumar, M., Sihag, P., Tiwari, N. K., dan Ranjan, S. (2020). Experimental Study and Modelling Discharge Coefficient of Trapezoidal and Rectangular Piano Key Weirs. *Applied Water Science*, 10(43), 1-9.
- Mehboudi, A., Attari, J., dan Hosseini, A. (2016). Experimental Study of Discharge Coefficient for Trapezoidal Piano Key Weirs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 50, 65–72.
- Patra, F. M., Suharyanto, dan Sukamta. (2026). Analisis Rembesan pada Bendungan Sindang Heula Menggunakan Metode Seepage Index dan Kriteria Tinggi Bendungan. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 161–174.
- Prasetya, N. C. (2025). Kajian Alternatif Bangunan Spillway dengan Tipe Pelengkung pada Bendungan Sidan di Kabupaten Badung, Bangli, dan Gianyar. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Pd T-01-2004-A tentang Perencanaan Hidraulik Bendung dan Pelimpah Bendungan Tipe Gergaji*. Jakarta.
- Samadi, A., Salmasi, F., Arvanaghi, H., dan Mousaviraad, M. (2022). Effects of Geometrical Parameters on Labyrinth Weir Hydraulics. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 148(10), 06022006-1 – 06022006-15
- Savage, B. M., Crookston, B. M., dan Paxson, G. S. (2016). Physical and Numerical Modeling of Large Headwater Ratios for a 15-Labyrinth Spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(11), 04016046.
- Sudradjat, H. P. (2018). Kajian Tinggi Air di Hulu Bendung dan Penentuan Koefisien Debit pada Pelimpah Ambang dengan Bentuk Alinyemen Puncak Linear dan Multi Halfcircular dengan Model Fisik. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Tanga, A., Ishak, M. G., dan Arafat, Y. (2023). Effect of Plan Shape on Hydraulic Characteristics of Labyrinth Weirs. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 9(10), 10-18.
- Torres, C., Borman, D., Sleight, A., dan Neeve, D. (2021). Application of Three-dimensional CFD VOF to Characterize Free-surface Flow Over Trapezoidal Labyrinth Weir and Spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(3), 04021002.