

Bendungan Bener di Kabupaten Purworejo merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional dengan kapasitas tampungan sebesar 90,39 juta m³ serta berfungsi sebagai penyediaan irigasi, air baku, pengendalian banjir, dan pembangkit listrik tenaga air. Keandalan bangunan pelimpah sebagai komponen utama pengaman bendungan menjadi sangat penting, mengingat potensi bencana katastropik akibat kegagalan bendungan yang dipicu oleh *overtopping*. Kondisi topografi lokasi yang terbatas menuntut rancangan pelimpah yang efisien baik secara hidrolis maupun penggunaan lahan. *Labyrinth spillway* dipilih sebagai alternatif karena mampu meningkatkan kapasitas debit dibandingkan mercu *ogee* dengan lebar bangunan yang relatif sama. Energi jatuh air juga perlu direduksi secara efektif untuk mencegah gerusan berbahaya di hilir. Untuk itu, kombinasi *stepped chute* sebagai peredam energi bertahap dan *flip bucket* sebagai pengalih jet berenergi tinggi diterapkan dalam rancangan ini. Perancangan ini bertujuan untuk merancang sistem bangunan pelimpah terintegrasi yang mencakup *labyrinth spillway*, *stepped chute*, dan *flip bucket* untuk menjadi alternatif yang dapat diaplikasikan pada proyek Bendungan Bener.

Dilakukan perancangan tiga alternatif mercu labirin dengan variasi sudut 15°, 25°, dan 35° serta penelusuran banjir untuk menentukan kapasitas debit dan elevasi muka air maksimum. Alternatif terbaik kemudian dimodelkan tiga dimensi bersama saluran samping, *stepped chute*, dan *flip bucket* untuk dianalisis secara hidrolis menggunakan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) pada Ansys Fluent. Analisis stabilitas pada mercu labirin meliputi pemeriksaan terhadap geser, terhadap guling, dan terhadap daya dukung tanah. Selanjutnya disusun *work breakdown structure* (WBS) bangunan pelimpah dan rencana anggaran biaya (RAB) dari mercu labirin Bendungan Bener.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelimpah labirin dengan sudut 25° merupakan yang paling efektif dan efisien. Saluran samping dapat menjaga aliran tetap subkritis dan saluran transisi mencegah terjadinya *backflow*. *Stepped chute* dapat mereduksi energi hingga 29% (Q₁₀₀) dan berfungsi sebagai aerator alami yang mencegah terjadinya kavitasi. Kolam olak *flip bucket* dapat mereduksi energi hingga 52% (Q_{PMF}) dan melempar air kembali ke sungai dengan aman. Stabilitas mercu labirin dinyatakan aman dari potensi guling dan potensi geser, serta memiliki daya dukung tanah yang memadai. WBS disusun hingga 4 tingkatan pekerjaan, mulai dari pekerjaan persiapan hingga proses penyerahan proyek. Biaya yang diperlukan untuk membangun mercu labirin sebesar Rp13.309.505.995,00. Kesimpulannya, kombinasi *labyrinth spillway*, *stepped chute*, dan *flip bucket* dapat menjadi solusi alternatif yang efektif dan efisien untuk menjadi bangunan pelimpah Bendungan Bener.

Kata kunci: Bendungan Bener, *Labyrinth Spillway*, *Stepped Chute*, *Flip Bucket*, Ansys Fluent

The Bener Dam, located in Purworejo Regency, is one of Indonesia's National Strategic Projects with a storage capacity of 90.39 million m³. It functions as a provider of irrigation water, raw water supply, flood control, and hydropower generation. The reliability of the spillway structure, as a key safety component of the dam, is of great importance considering the potential catastrophic disaster that could result from dam failure induced by overtopping. The limited topographic conditions at the site demand a hydraulically and spatially efficient spillway design. The labyrinth spillway is selected as an alternative because it can increase discharge capacity compared to a conventional ogee crest while maintaining a similar width. Furthermore, the energy of the falling water must be effectively dissipated to prevent harmful scouring downstream. Therefore, a combination of a stepped chute as a gradual energy dissipator and a flip bucket as a high-energy jet deflector is applied in this design. The objective of this study is to design an integrated spillway system consisting of a labyrinth spillway, stepped chute, and flip bucket as an alternative design applicable to the Bener Dam Project.

In this study, three alternatives of labyrinth weirs with angles of 15°, 25°, and 35° were designed, and flood routing was conducted to determine the discharge capacity and the maximum water surface elevation. The best alternative was then modeled in three dimensions together with the side channel, stepped chute, and flip bucket for hydraulic analysis using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation in Ansys Fluent. The stability analysis of the labyrinth weir included examinations of sliding potential, overturning potential, and foundation bearing capacity. Furthermore, a Work Breakdown Structure (WBS) and Cost Estimate (RAB) were prepared based on the unit price standard of Purworejo Regency.

The results show that the labyrinth spillway with a 25° angle is the most effective and efficient design. The side channel can maintain subcritical flow conditions, while the transition channel prevents backflow. The stepped chute can reduce energy by up to 29% (Q₁₀₀) and functions as a natural aerator to prevent cavitation. The flip bucket stilling basin can dissipate energy by up to 52% (Q_{PMF}) and safely redirect the jet back into the river. The stability analysis confirmed that the labyrinth weir is safe against overturning and sliding, with adequate foundation bearing capacity. The WBS was arranged into four levels of work, starting from preparation to finishing. The estimated cost required to construct the labyrinth spillway is Rp13.309.505.995,00. In conclusion, the combination of the labyrinth spillway, stepped chute, and flip bucket provides an effective and efficient alternative solution for the spillway of Bener Dam.

Keywords: Bener Dam, Labyrinth Spillway, Stepped Chute, Flip Bucket, Ansys Fluent