

Simulasi Komputasi Gerusan Terhadap Kemiringan *Baffle Block* Pada Bangunan Peredam Energi USBR Type IV Bangunan *Spillway*

Abd Rakhim Nanda *¹, Lutfi Hair Djunur*^{2a}

Submit:
5 Mei 2026

Review:
10 Mei 2026

Revised:
15 Mei 2026

Published:
20 Mei 2026

*¹Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Kota Makassar, Indonesia, abd.rakhimnanda@unismuh.ac.id

*²Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Kota Makassar, Indonesia, lutfihairdjunur@unismuh.ac.id

^aCorresponding Author: lutfihairdjunur@unismuh.ac.id

Abstrak

Spillway adalah struktur yang dirancang untuk mengatur aliran air Peredam energi bangunan *spillway* adalah bagian penting dari sistem bendungan yang berfungsi untuk meredam energi aliran air di hilir *spillway*. Teknik penghalang seperti *baffle block* digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi kemungkinan gerusan dihilir *spillway*. Penelitian ini menggunakan simulasi komputasi untuk mempelajari bagaimana perilaku gerusan akibat penempatan *baffle block* pada saluran peredam energi USBR Type IV bangunan *spillway* berdampak pada perubahan pola gerusan. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan skala model sebagai pemodelan *spillway* dan hasil dari penelitian tersebut divalidasikan menggunakan *software SURFER* untuk membuat model numerik saluran peredam energi USBR Type IV pada bangunan *spillway* dengan menggunakan tiga variasi debit dan tiga variasi *baffle block* dengan konfigurasi sesuai dengan yang dilakukan di laboratorium. Simulasi ini mengevaluasi pola gerusan yang terjadi akibat adanya penempatan *baffle block* pada saluran peredam energi USBR Type IV, apakah sudah sesuai dengan hasil penelitian di laboratorium atau terdapat perbedaan di dalam hasil penelitian. Diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana pengaruh variasi debit dan penempatan *baffle block* yang ditempatkan pada saluran peredam energi USBR Type IV berdampak pada perubahan pola gerusan yang terjadi pada saluran peredam energi akibat adanya *baffle block*.

Kata kunci: *Spillway, Baffle Block, Gerusan, Surfer, USBR Type IV*

Abstract

A *spillway* is a hydraulic structure designed to regulate the flow of water. The energy dissipation structure of a *spillway* constitutes an essential component of a dam system, functioning to dissipate the kinetic energy of flowing water downstream of the *spillway*. Energy dissipating devices, such as *baffle blocks*, are commonly utilized to enhance operational efficiency and to minimize the potential for downstream scour. This study employs computational simulation to investigate the scour behavior resulting from the placement of *baffle blocks* within the USBR Type IV stilling basin of a *spillway*, particularly in relation to changes in scour patterns. The research was conducted in a laboratory setting using a scaled physical model to represent the *spillway*. The experimental results were subsequently validated using *SURFER* software to develop a numerical model of the USBR Type IV energy dissipation channel. The numerical simulations were carried out using three

discharge variations and three configurations of baffle blocks, consistent with the laboratory setup. The analysis evaluates the resulting scour patterns due to the presence of baffle blocks within the stilling basin, assessing whether the simulation outcomes align with experimental observations or exhibit discrepancies. It is expected that this study will provide a more comprehensive understanding of how variations in discharge and the configuration of baffle block placement within a USBR Type IV stilling basin influence the resulting scour patterns in the downstream channel.

Keywords: *Spillway, Baffle Block, Scour, Surfer, USBR Type IV*

PENDAHULUAN /

Bangunan pelimpah (*spillway*) merupakan komponen vital pada bendungan yang berfungsi mengalirkan kelebihan air waduk secara aman ke hilir, guna mencegah limpasan air (*overtopping*) di atas puncak bendungan[1,11]. Pelimpah menjaga keamanan struktur bendungan dan mencegah erosi akibat banjir, umumnya terdiri dari saluran pengarah, pengatur, peluncur, dan peredam energi[2].

Penempatan struktur hidrolik bangunan peredam energi yang dibangun di hilir pelimpah bendungan atau bendung untuk meredam energi aliran air yang berkecepatan tinggi, mencegah erosi dasar sungai, dan melindungi stabilitas bangunan utama[3]. Tipe umum meliputi kolam olak datar, cekung, dan USBR (I-IV) yang menggunakan balok/gigi pemencar[4,13].

Salah satu bangunan peredam energi yang sering digunakan dalam upaya meredam energi aliran adalah USBR Tipe IV dengan jenis kolam olak (*stilling basin*) yang dirancang khusus untuk mengatasi loncatan hidraulik yang tidak stabil atau berosilasi pada saluran dengan penampang persegi panjang[5]. Tipe ini umumnya digunakan pada bendungan rendah atau bangunan pelimpah dengan kondisi aliran yang memiliki bilangan Froude antara 2,5 hingga 4,5[6,14].

Baffle block merupakan struktur penghalang yang umumnya terbuat dari beton, dipasang pada saluran air untuk meredam energi kinetik aliran air yang cepat. Struktur ini sering ditemukan pada konstruksi bendungan, *spillway* (saluran pelimpah), dan saluran irigasi guna mencegah erosi dan kerusakan infrastruktur di bagian hilir[7,15].

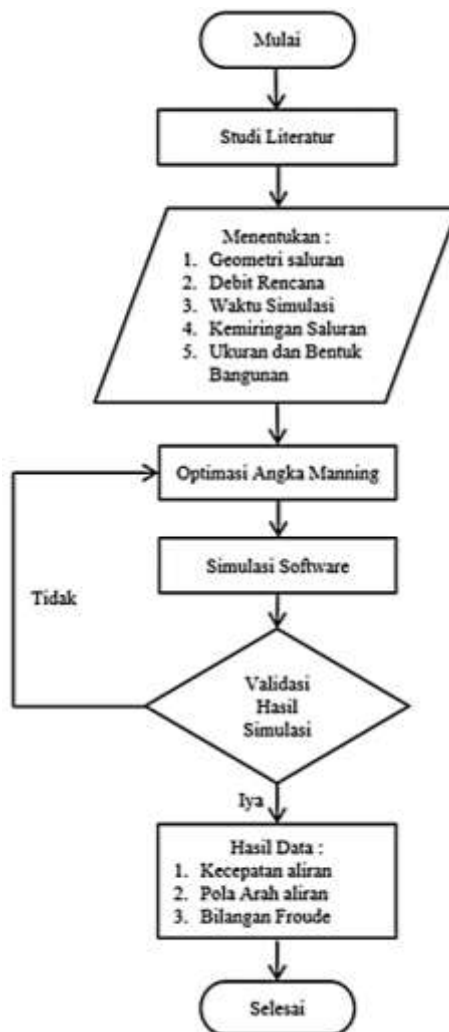
Fenomena erosi local dihilir bangunan *spillway* (*local scouring*) yang terjadi akibat energi kinetik aliran air yang sangat tinggi saat keluar dari bangunan pelimpah[8]. Jika tidak dikendalikan, gerusan ini dapat membahayakan stabilitas struktur bendungan dan bangunan di sekitarnya karena dapat menggerus fondasi atau dasar sungai di bagian hilir[9,10].

Analisis fenomena gerusan dihilir bangunan *spillway* dengan skala model numerik dengan menggunakan *software* Surfer. Surfer adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi yang berdasarkan pada *grid* [11]. Dalam hal ini *grid* yang digunakan hasil interpolasi kontur (500x500, 100x100, 25x25, dan 5x5 meter) karena dapat mewakili permukaan *relief* permukaan bumi sebenarnya sehingga hasil yang didapatkan mendekati permukaan bumi yang sebenarnya (*Real Word*). Perangkat lunak ini melakukan plotting data tabular XYZ tak beraturan, menjadi lembar titik-titik segi empat (*grid*) yang beraturan. *Grid* adalah garis vertikal dan horizontal yang dalam surfer berbentuk segi empat dan digunakan sebagai dasar pembentuk koritur dan *surface* tiga dimensi garis vertikal dan horizontal ini memiliki titik-titik perpotongan Pada titik perpotongan ini digunakan nilai Z sebagai titik ketinggian atau kedalaman. *Gridding* merupakan proses pembentukan nilai Z yang teratur dari sebuah data XYZ Hasil dari proses *gridding* ini adalah berbentuk *file grid* [12].

METODOLOGI

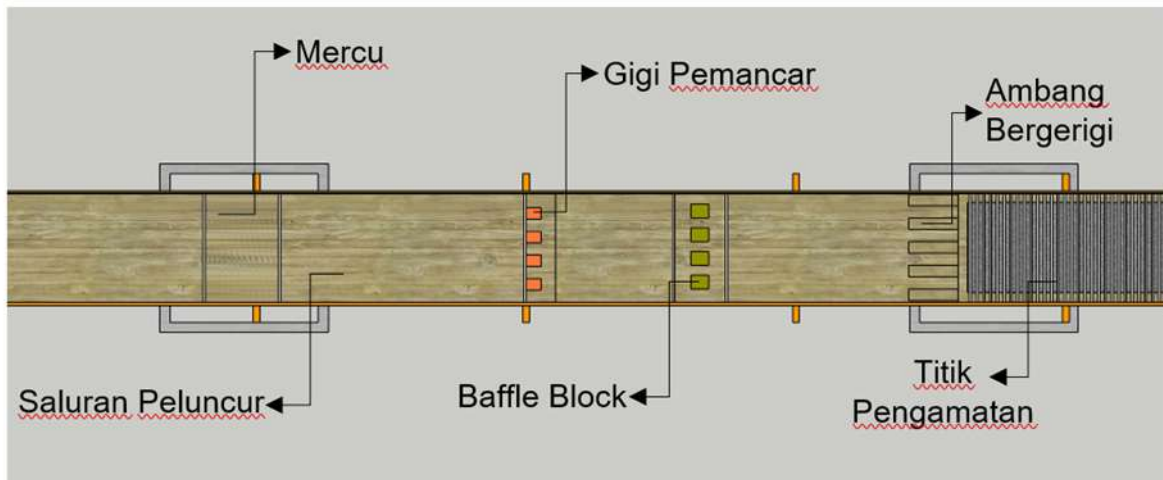
Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan skala model numerik, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur sendiri oleh peneliti dengan mengacu pada literatur yang berkaitan dengan judul penelitian tersebut, serta adanya kontrol, dengan tujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat serta besar pengaruh tersebut dengan memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyelidiki pengaruh kontrol untuk pembanding.

Langkah-langkah dalam penelitian ini disajikan secara garis besar dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.

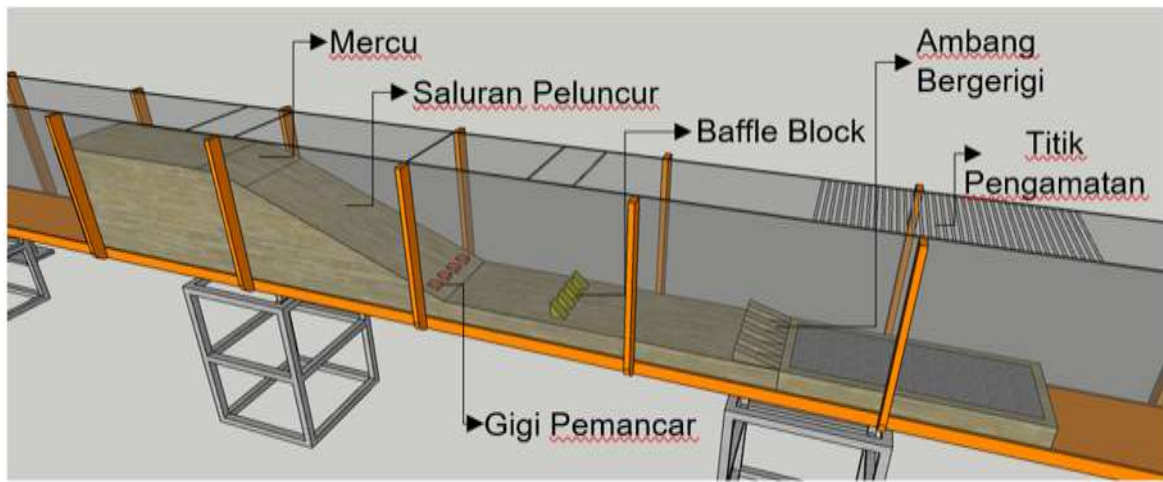


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Rancangan model penelitian dibuat dengan skala model terdistorsi, dimana skala horizontal tidak sama dengan skala vertikal. Rancangan model yang akan dibuat seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.

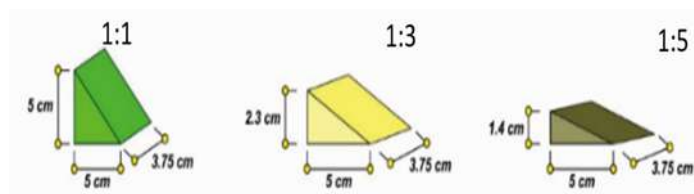


Gambar 2. Rancangan Model Penelitian



Gambar 3. Prespektif Rancangan Model

Model *baffle block* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan balok halang model segi tiga yang terbuat dari campuran resin yang di bentuk sesuai model. Dimana ukuran *baffle block* dengan tiga variasi kemiringan model *baffle block* dan diletakkan di saluran peredam energi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model *Baffle Block*

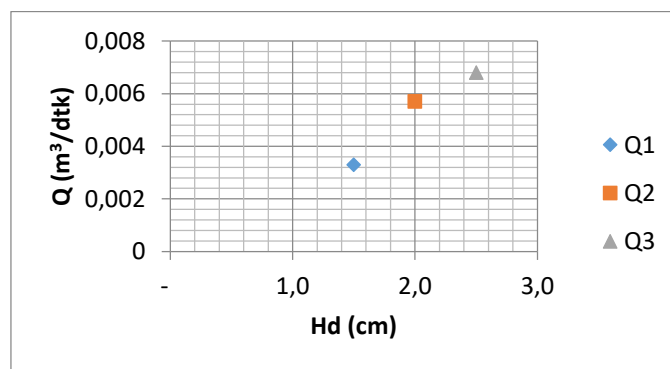
Analisa hasil perhitungan dan desain dimensi hidraulik model bangunan *spillway* dan model *baffle block* dengan skala model fisik menghasilkan hubungan antara parameter yang berpengaruh terhadap pola

gerusan berdasarkan angka bilangan *froude* (Fr).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Debit Aliran

Debit pengaliran adalah debit yang digunakan pada saat pengambilan data. Metode yang digunakan adalah pengambilan debit takar yaitu dengan cara menakar volume air yang mengalir pada seluruh rangkaian model uji dengan selang dengan durasi waktu tertentu kemudian disesuaikan dengan debit hasil hitung yang ditandai dengan tinggi muka air di atas mercu. Untuk mendapatkan variasi tinggi muka air di atas mercu maka digunakan katup keluaran pompa yang diatur sedemikian rupa. Data hasil ukur debit pengaliran diberikan pada Gambar 5.

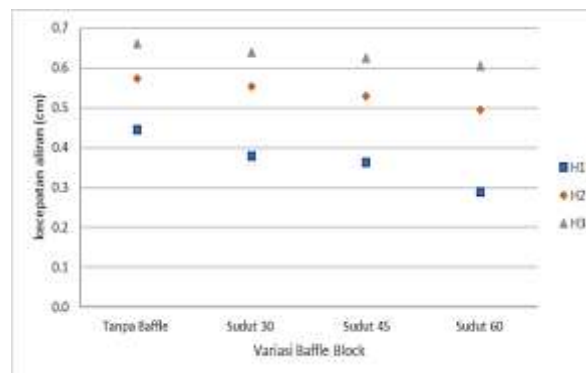


Gambar 5. Hubungan Debit (Q) dan Tinggi Muka Air Diatas Mercu (h_d)

Berdasarkan Gambar 5 di atas dapat dinyatakan bahwa, debit aliran dan tinggi muka air diatas mercu yang terjadi adalah berbanding lurus, dimana semakin besar debit yang diberikan maka tinggi muka air di atas mercu bangunan *spillway* yang terjadi juga semakin besar

B. Analisis Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan aliran di hilir pelimpah dilakukan dengan membagi segmen pengamatan, dan pada setiap segmen kecepatan diukur pada tiga titik lateral (kiri, tengah, dan kanan) untuk merepresentasikan distribusi aliran. Pengukuran dilakukan menggunakan *portable velocity* meter LS300-A yang telah dikalibrasi, dan nilai kecepatan rata-rata digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi tinggi muka air dan sudut *baffle block* terhadap karakteristik aliran di hilir pelimpah. Berikut tabel data kecepatan aliran hasil penelitian tanpa balok halang pada laboratorium dapat dilihat pada Gambar 6.



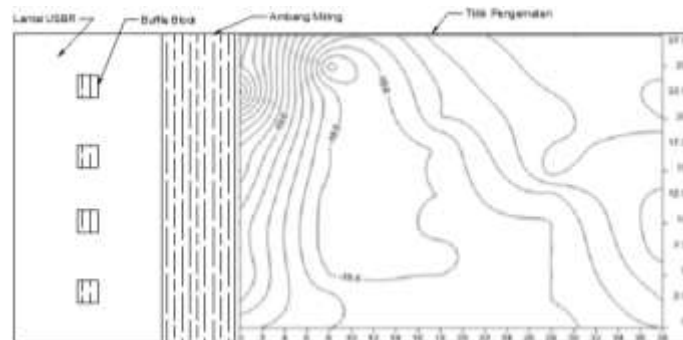
Gambar 6. Hubungan Variasi *Baffle Block* Terhadap Kecepatan Aliran

Berdasarkan Gambar 6 di atas dapat dinyatakan bahwa kecepatan aliran mengalami peningkatan seiring dengan perubahan penampang saluran yang terjadi pada model saluran pada bangunan *spillway*,

C. Analisis Pola Kontur Gerusan dan Prespektif Kontur Gerusan

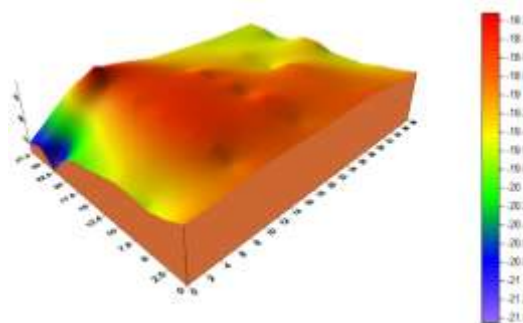
1. Struktur USBR Type IV tanpa *Baffle Block*

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap arah koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada Gambar 7 sedangkan perspektif kontur gerusan ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 7 Pola Kontur Gerusan pada Q_3

Bentuk kontur pada gambar diatas cenderung rapat dapat dilihat di awal titik pengamatan pada P1 jarak 0 cm sampai 8 cm dengan titik 9 cm sampai 12 cm. Hal ini disebabkan oleh perubahan aliran air yang terjadi di hilir USBR type IV mengalami loncatan secara tiba-tiba. Sedangkan pada titik tengah pengamatan sampai titik akhir pengamatan terlihat bentuk kontur lebih stabil hal ini terjadi pada P5 sampai P20 jarak 12 cm sampai 38 cm dengan titik 1 cm sampai 12 cm. perubahan aliran air sangat berpengaruh terhadap pola gerusan diakhir pengamatan.

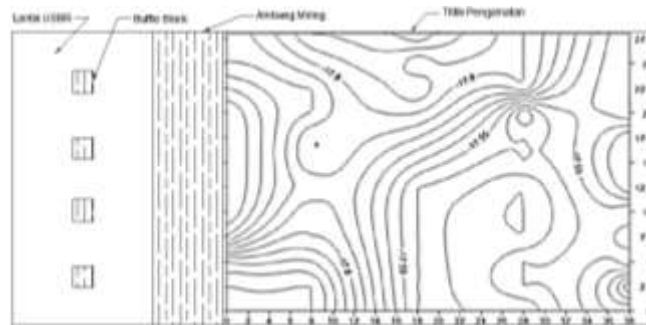


Gambar 8 Prespektif Pola Kontur Gerusan pada Q_3

Dari gambar perspektif kontur diatas dapat dinyatakan bahwa pada jarak 0 cm sampai 4 cm dari pusat hilir USBR Type IV dititik ke 22,5 cm sampai 27,5 cm terjadi gerusan yang cukup dalam. Gerusan yang terjadi mempunyai kedalaman 3,6 cm yang merupakan rata-rata dari kedalaman gerusan dititik 22,5 cm sampai 27,5 cm. Sedangkan pada jarak 6 cm sampai 38 cm juga terjadi gerusan namun gerusan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

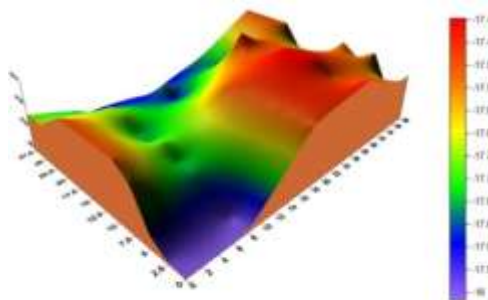
2. Struktur USBR Type IV dengan Baffle Block dengan Kemiringan 1:1

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap arah koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada Gambar 9 sedangkan perspektif kontur gerusan ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 9 Pola Kontur Gerusan pada Q_3

Pada gambar di atas dapat dilihat bentuk kontur pada awal titik pengamatan sampai pada titik tengah pengamatan cenderung rapat dapat dilihat pada P1 sampai P5 jarak 0 cm sampai 18 cm dengan titik 1 cm sampai 10 cm. Hal ini disebabkan oleh perubahan aliran air yang terjadi di hilir USBR mengalami loncatan secara tiba-tiba. Sedangkan pada akhir titik pengamatan bentuk kontur lebih stabil dapat dilihat pada P10 sampai P20 jarak 20 cm sampai 38 cm dengan titik 1 cm sampai 9 cm. perubahan aliran air sangat berpengaruh terhadap pola gerusan di akhir pengamatan.



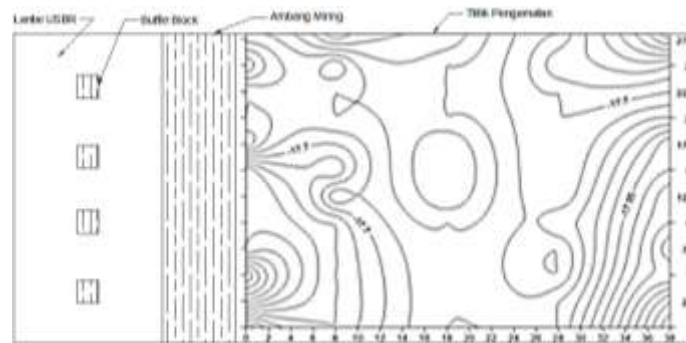
Gambar 10 Prespektif pola kontur gerusan pada Q_3

Dari gambar perspektif kontur diatas dapat dinyatakan bahwa pada jarak 0 cm sampai 12 cm dari pusat (hilir USBR Type IV dititik ke 1 cm sampai 2 cm terjadi gerusan yang cukup dalam. Gerusan yang terjadi mempunyai kedalaman 0,5 cm yang merupakan rata-rata dari kedalaman gerusan dititik 0 cm sampai 2,5 cm. Sedangkan pada jarak 14 cm sampai 38 cm dititik 7,5 cm sampai 27,5 cm juga terjadi gerusan namun gerusan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

3. Struktur USBR Type IV dengan Baffle Block dengan Kemiringan 1: 3

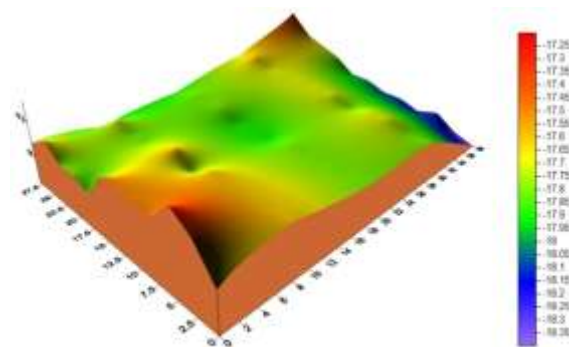
Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap arah koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman

gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada Gambar 11 sedangkan perspektif kontur gerusan ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 11. Pola Kontur Gerusan pada Q₃

Pada gambar di atas bentuk kontur pada awal titik pengamatan cenderung rapat dapat dilihat pada P1 jarak 0 cm sampai 8 cm dengan titik 0 cm sampai 7,5 cm. Hal ini disebabkan oleh perubahan aliran air yang terjadi di hilir USBR type IV mengalami loncatan secara tiba-tiba. Sedangkan pada tengah titik pengamatan dan akhir titik pengamatan bentuk kontur lebih stabil dapat dilihat pada P5 sampai P20 jarak 10 cm sampai 38 cm dengan titik 1 cm sampai 12 cm. Hal ini dikarenakan oleh aliran air yang sudah stabil, perubahan aliran air sangat berpengaruh terhadap pola gerusan diakhir pengamatan.

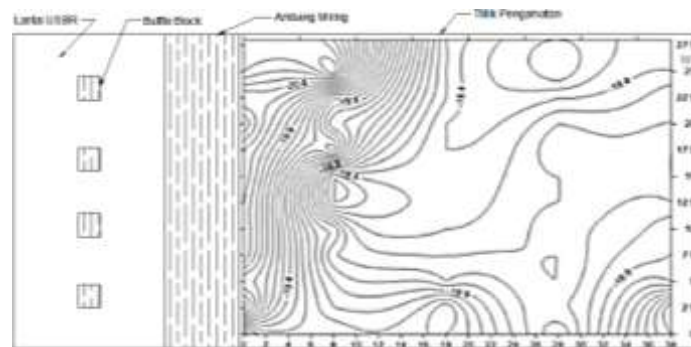


Gambar 12 Prespektif Pola Kontur Gerusan pada Q₃

Dari gambar perspektif kontur di atas dapat dinyatakan bahwa pada jarak 34 cm sampai 38 cm dititik ke 1 cm sampai 5 cm terjadi gerusan yang sangat dalam. Gerusan yang terjadi mempunyai kedalaman 0,72 cm yang merupakan rata-rata dari kedalaman gerusan dititik 0 cm sampai 10 cm. Sedangkan pada jarak 0 cm sampai 36 cm dititik 5 cm sampai 27,5 cm juga terjadi gerusan namun gerusan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

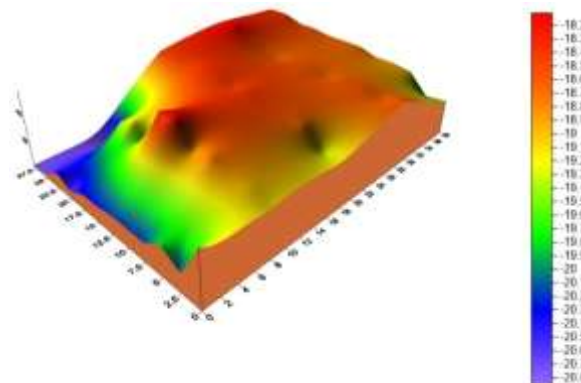
4. Struktur USBR Type IV dengan *Baffle Block* dengan Kemiringan 1: 5

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap arah koordinat arah X dan Y di atas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada Gambar 13 sedangkan perspektif kontur gerusan ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 13 Pola Kontur Gerusan pada Q₃

Bentuk kontur pada gambar di atas cenderung rapat dapat dilihat di awal titik pengamatan pada P1 sampai P5 jarak 0 cm sampai 18 cm dengan titik 1 cm sampai 12 cm. Hal ini disebabkan oleh perubahan aliran air yang terjadi di hilir USBR type IV mengalami loncatan secara tiba-tiba. Sedangkan pada titik tengah pengamatan sampai titik akhir pengamatan terlihat bentuk kontur lebih stabil hal ini terjadi pada P10 sampai P20 jarak 20 cm sampai 38 cm dengan titik 1 cm sampai 12 cm. perubahan aliran air sangat berpengaruh terhadap pola gerusan diakhir pengamatan.



Gambar 14 Prespektif Pola Kontur Gerusan pada Q₃

Dari gambar perspektif kontur di atas dapat dinyatakan bahwa pada jarak 0 cm sampai 10 cm dari pusat hilir USBR type IV dititik ke 5 cm sampai 12 cm terjadi gerusan yang sangat dalam. Gerusan yang terjadi mempunyai kedalaman 2,93 cm yang merupakan rata-rata dari kedalaman gerusan di titik 10 cm sampai 27,5 cm. Sedangkan pada jarak 12 cm sampai 38 cm dititik 3 cm sampai 12 cm juga terjadi gerusan namun gerusan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

Berdasarkan hasil analisis pola kontur dan perspektif kontur gerusan dapat dinyatakan bahwa gerusan terbesar terjadi pada variasi struktur USBR type IV tanpa *baffle blok* sedalam 3,6 cm dan pola kontur gerusan terkecil terjadi pada variasi struktur USBR Type IV dengan keniringan *baffle blok* 1:1, Sehingga dapat disimpulkan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi pada kontur dengan tanpa *baffle blok* dengan kedalaman gerusan tertinggi adalah 3,6 cm, sedangkan yang paling efektif dalam mereduksi gerusan adalah kontur pada *baffle Blok* 1: 1 dengan kedalaman gerusan 0,5 cm.

Pada bilangan Froude (Fr) lebih besar dari 1.0 tetapi kurang dari 1.7, aliran di hulu hanya sedikit lebih kecil dari kedalaman kritis dan perubahan dari superkritis ke aliran subkritis hanya akan menghasilkan sedikit gangguan dari permukaan air. Pada bilangan Froude, Fr mendekati 1.7, kedalaman di hilir sekitar dua kali kedalaman masuk (hulu) dan kecepatan keluar sekitar setengah kecepatan hulu.

Berdasarkan besarnya bilangan Froude aliran yang datang telah menghasilkan loncatan air dan karakteristik aliran tipe loncatan beresolasi pada dasar loncatan bergerak ke permukaan dan kembali lagi tanpa periode tertentu, dengan nilai $Fr = 2,5$ sd $4,5$. Berdasarkan besarnya bilangan Froude aliran yang datang telah menghasilkan loncatan air dan karakteristik aliran tipe loncatan beresolasi pada dasar loncatan bergerak ke permukaan dengan nilai $Fr = 1.0$ sd 1.7 .

SIMPULAN

Pola kontur gerusan di hilir USBR type 1V cenderung lebih rapat dibandingkan dengan pola kontur dititik pertengahan dan akhir pengamatan, hal ini dipengaruhi oleh loncatan air tiba-tiba (*abrupt rise*) pada ambang, dengan penempatan model *baffle block* dengan variasi kemiringan terkecil lebih efektif dalam mereduksi gerusan di hilir *spillway*. Pengaruh perubahan parameter aliran terhadap perubahan dasar saluran di hilir *spillway* cenderung kecil, hal ini sesuai dengan konsep lapis batas aliran air bahwa molekul air yang menempel di dinding saluran itu diam atau $v=0$.

REFERENSI

- [1] A. Abbaspour, S. Parvini, and A. H. Dalil. "Effect of Baffle Blocks on Scour Profiles Downstream of Hydraulic Jumps." *Water Science and Engineering*, vol. 9, no. 4, 329–335. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2017.01.003>
- [2] F. S. F. Abdelhaleem. "Effect of Semi-circular Baffle Blocks on Local Scour Downstream Clear-overfall Weirs." *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 4, no. 4, 675–684. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.03.003>
- [3] M. Abdelkader. "Effect of Various Kinds of Stilling Basin's Baffle Blocks Arrangement on River Bed Scour." *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, vol. 30, no. 4. 2022. <https://doi.org/10.19080/ijesnr.2022.30.556295>
- [4] M.K.Chahartaghi, and K. Solimani, "Experimental and Numerical Investigation of The Effect of Diverging Sidewall of Baffled Apron with Semi-circle Blocks on The Energy Dissipation and Scour Hole Dimension at the Downstream." *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, vol. 46, no. 3, 1405–1419. 2022. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00642-7>
- [5] B. Dargahi. "Scour Development Downstream of a Spillway." *Journal of Hydraulic Research*, vol. 41, no. 4, 417–426. 2003. <https://doi.org/10.1080/00221680309499986>
- [6] D. Ulfiana, "Studi Efektivitas Pola Pemasangan Baffled Block pada Peredam Energi dalam Mereduksi Energi Aliran" Institut Teknologi Sepuluh Novermber, Surabaya, 2018
- [7] E. A. Elnikhely. "Effect of Baffle Block Spacing on Scour Hole Characteristics Downstream Stilling Basins." *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 3, 1741–1751. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.006>
- [8] J. Farhoudi, and K.V.H. Smith. "Local Scour Profiles Downstream of Hydraulic Jump." *Journal of Hydraulic Research*, vol. 23 no. 4, 343–358. <https://doi.org/10.1080/00221688509499344>
- [9] M.K. Chahartaghi, Shafai-Bajestan, and S. M. Kashefipour. "Investigating The Effects of Block Geometries on Energy Dissipation and Scour Downstream of Spillways." *Journal of Flood Risk Management*, vol. 13, no. 4, e12636. 2020. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12636>
- [10] L.H. Djunur, M.S. Pallu, R. Karamm, and B. Bakri. "Effect of Porous Rectangular Type Baffle Block Angle on Hydraulic Jump Downstream of Spillway." *Civil Engineering Journal*, Vol. 10, October 2024]
- [11] A.R. Namda and L.H. Djunur. "Desain Hidraulik Spillway dan Intake", Unismuh Press, Makassar, Indonesia. 2022.

- [12] M.R.G. Nou, M.A. Moghaddam, M.S. Bajastean, M. S, and H.M. Azmathullah. “Control of Bed Scour Downstream of Ski-jump Spillway by Combination of Six-legged Concrete Elements and Riprap.” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, 1047-1059 , 2020.
- [13] R. Pandey, M. Kumar, and J.S Saini, “Thermodynamic Performance Evaluation of an Indoor Designed Solar Air Heater Duct Equipped with Vdown Baffle Blocks Having Racetrack-shaped Staggered Openings of Varying Aspect Ratio – an Experimental Study.” *Internasional Journal of Green Energy*, vol. 20, 2023.
- [14] W.M. Zaffar, I. Hassan, Z. Ali, K. Sarwar, M. Hassan, M. T. Mustafa, and F.A. Waris. “ Numerical Investigation of Hydraulic Jumps with USBR and Wedge-shaped Baffle Block Basins for Lower Tailwater.” *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, vol. 72, issue 1, 2023. <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.290>
- [15] O. Zhou and C. Yin. “ The Effect of Fluctuating Pressure in Hydraulic Jump with Low Froude Number.” *Civil Engineering Journal*, [978-1—2011. 61284-774-0/11/526.00@2011.IEEF](https://doi.org/10.61284-774-0/11/526.00@2011.IEEF)