

## INTISARI

Bendungan Bener, sebagai bendungan dengan tipe *Concrete-Faced Rockfill Dam* (CFRD) sekaligus bendungan tertinggi di Indonesia, didesain dengan menggunakan andesit sebagai material utama pada urugan batu. Namun, ekskavasi pada lokasi *quarry* menunjukkan adanya breksi andesit sehingga menimbulkan kemungkinan untuk menggunakannya sebagai alternatif material. Karena breksi umumnya memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan andesit, pemanfaatannya harus dievaluasi untuk memastikan keamanan bendungan dalam beberapa kondisi serta mempertimbangkan efisiensi biaya dan manfaat lingkungan.

Penelitian ini mengevaluasi penggunaan breksi andesit di zona 3C pada urugan batu utama sisi hilir dengan pendekatan numeris dan empiris. Tiga konfigurasi geometri dianalisis untuk menilai kelayakan substitusi andesit dengan breksi andesit, baik dengan skenario penuh maupun parsial. Analisis rembesan dilakukan menggunakan SEEP/W, sementara stabilitas statik dan pseudostatik dianalisis menggunakan SLOPE/W. Stabilitas dinamik dievaluasi melalui analisis alihan tetap menggunakan metode Makdisi-Seed dan analisis riwayat waktu linear dalam model elemen hingga menggunakan QUAKE/W. Penilaian penurunan tambahan dilakukan dengan SIGMA/W, dan metode empiris digunakan untuk memvalidasi hasil. Analisis deformasi dilakukan dengan model elemen hingga pada SIGMA/W yang kemudian hasilnya divalidasi menggunakan metode empiris.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit rembesan berada di bawah  $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ , masih dalam batas  $0.147 \text{ m}^3/\text{s}$ . Substitusi penuh dengan breksi (Geometri 1) menghasilkan faktor keamanan statik terendah 1.287, lebih rendah dari persyaratan SNI 8046:2016 sebesar 1.3, sementara substitusi parsial (Geometri 2 dan 3) mencapai nilai di atas 1.635. Pada kondisi dinamik, analisis pseudostatik memenuhi persyaratan untuk gempa OBE pada kedalaman tinjauan  $0.25H$  tetapi tidak memenuhi syarat pada kedalaman  $0.25H$  di bawah gempa SEE dengan faktor keamanan 0.573. Analisis alihan tetap Makdisi-Seed menghasilkan deformasi maksimum sebesar 3.8 m, melebihi ambang batas 3 m, sedangkan analisis riwayat waktu linear menghasilkan deformasi permanen yang lebih kecil di bawah batas maksimum (3 m) sebesar 2.77 m. Analisis penurunan menghasilkan rasio hasil pemodelan numerik terhadap perhitungan empiris sebesar 0.92. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa breksi andesit layak digunakan pada CFRD jika diterapkan dalam substitusi parsial dan dengan beberapa asumsi serta batasan tertentu, dengan Geometri 2 direkomendasikan sebagai konfigurasi yang paling praktis dan ekonomis.

**Kata kunci:** *concrete-faced rockfill dam*; breksi andesit; stabilitas; rembesan; deformasi

## ABSTRACT

The Bener Dam in Purworejo, planned as the tallest Concrete-Faced Rockfill Dam in Indonesia, is designed with andesite as the main rockfill material. However, excavation at the quarry revealed the presence of andesitic breccia, which raises the possibility of using it as an alternative material. Since breccia generally has lower strength compared to andesite, its utilization must be evaluated to ensure dam safety under several conditions, while also considering cost efficiency and environmental benefits.

This study examined the use of andesitic breccia in zone 3C of the main rockfill through numerical and empirical approaches. Three geometrical configurations were analyzed to assess the feasibility of partial or full substitution of andesite with breccia. Seepage analysis was performed using SEEP/W, while the static and pseudostatic stability was carried out in SLOPE/W. The dynamic stability was evaluated through permanent deformation analysis using the Makdisi-Seed method and linear time history analysis in a finite element model using QUAKE/W. Additional settlement assessment were conducted with SIGMA/W, and empirical methods were carried out to validate the results.

The results show that seepage discharge remained below  $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ , within the  $0.147 \text{ m}^3/\text{s}$  limit. Full substitution with breccia (Geometry 1) produced a minimum static safety factor of 1.287, lower than the SNI 8046:2016 requirement of 1.3, while partial substitution (Geometry 2 and 3) achieved values above 1.635. Under seismic loading, the pseudostatic analysis met the requirement for  $0.25H$  OBE but fell short at  $0.25H$  SEE with a factor of 0.573. The Makdisi-Seed method predicted a maximum deformation of 3.8 m, exceeding the 3 m threshold, whereas linear time history analysis gave a smaller crest deformation of 2.77 m, close to the limit but still safe. Settlement analysis yielded a numerical-to-empirical ratio of 0.92, confirming model validity. These findings indicate that breccia is feasible for use in CFRD if applied in partial substitution, with Geometry 2 recommended as the most practical and economical configuration.

**Keywords:** concrete-faced rockfill dam; andesitic breccia; stability; seepage; deformation