

ABSTRACT

Most approaches in numerical modeling techniques are based on the Eulerian coordinate system. This approach faces difficulties in simulating the downstream propagation of the debris flood. In the Eulerian approach, discretization points act as control points with the modeling results obtained are the flow parameter values located at the control points. In the Lagrangian approximation, the discretization points on the elements act as moving flow particles. In this approach, it is possible for the elements to compress, stretch, and shift because the vertices that make up the element are particles that move and change positions. The element acts as a moving control volume with parameter values obtained from modeling, observed by following the movement of particles in the modeling domain area for each time step.

The finite element method is used to solve the momentum and continuity equations, and discretized into the vertices of the elements. One of the finite element methods applied is the Galerkin method that provides a formulation with a weighting function which is an interpolation function of the surface of the element used. The calculation process is then carried out with system of linear equations for each time step. In the application of the finite element method, the geometric quality of the elements is also very important to maintain numerical stability, especially in terms of avoiding the occurrence of intersecting elements. Therefore, a technique known as Laplacian Smoothing is applied.

Simulations are carried out in several scenarios which are differentiated based on the shape of the cross-section and the slope of the channel. In channels with a flat cross-section, there is a widening of debris elements as the flow slides downstream due to hydrostatic forces due to surface gradients in the domain area to the left and right boundaries. In a channel with a V-shaped section, the slope of the channel bank provides a balance of forces against the hydrostatic thrust towards the left and right sides. This condition keeps the element's width unexpanded either to the left or the right. While in the longitudinal direction, the slope influences the projection of the working gravity, so the steeper the slope, the smaller the effect of the hydrostatic component compared to the gravity projection so that the longitudinal expansion will be smaller. In a parabolic channel, the volume of debris can climb to a certain position due to excess momentum, then slide back in the opposite direction after experiencing a balance of momentum. In a flat channel, the volume of debris expands in all directions due to hydrostatic forces from the volume center. The propagation velocity will be greater with a larger surface gradient. Based on each scenario, the Lagrangian simulation can model 2-dimensional conditions, forward or backward movement and provide more realistic result than the Eulerian approach.

Keywords: *Debris Flow, Finite Element Method, Lagrangian, Galerkin Method.*

INTISARI

Sebagian besar pendekatan dalam teknik pemodelan numerik didasarkan pada sistem koordinat Eulerian. Pendekatan ini menghadapi kesulitan dalam mensimulasikan perambatan bagian hilir dari banjir debris. Pada pendekatan Eulerian, titik-titik diskritisasi berperan sebagai titik kontrol dengan hasil pemodelan yang diperoleh adalah nilai parameter aliran yang terletak pada titik kontrol. Dalam pendekatan Lagrangian, titik-titik diskritisasi pada elemen berlaku sebagai partikel aliran yang bergerak. Dalam pendekatan ini, dimungkinkan elemen-elemen untuk memampat, meregang, dan bergeser karena simpul-simpul yang menyusun elemen tersebut adalah partikel-partikel yang bergerak dan berubah posisi. Elemen tersebut berlaku sebagai volume kontrol yang bergerak dengan nilai parameter yang diperoleh dari pemodelan ditinjau dengan mengikuti pergerakan partikel di domain pemodelan untuk setiap langkah waktu.

Metode elemen hingga digunakan untuk menyelesaikan persamaan momentum dan kontinuitas yang didiskretisasi ke dalam titik-titik penyusun elemen. Salah satu metode elemen hingga yang diterapkan adalah metode Galerkin. Metode ini memberikan suatu formulasi dengan fungsi pembobot yang merupakan fungsi interpolasi dari permukaan elemen yang digunakan. Proses kalkulasi kemudian dilakukan dengan sistem persamaan linear untuk tiap langkah waktunya. Dalam penerapan metode elemen hingga, kualitas geometri elemen juga sangat penting untuk menjaga stabilitas numerik, terutama dalam hal menghindari terjadinya elemen yang berpotongan. Oleh karena itu diterapkan suatu teknik yang dikenal dengan *Laplacian Smoothing*.

Simulasi dilakukan dalam beberapa skenario berdasarkan bentuk penampang dan kemiringan saluran. Pada penampang datar, terjadi pelebaran elemen debris seiring aliran meluncur dikarenakan adanya dorongan hidrostatik akibat gradien permukaan pada titik-titik hitungan terhadap titik-titik batas kiri dan kanan. Pada penampang berbentuk V, kemiringan dinding saluran memberikan keseimbangan gaya terhadap dorongan hidrostatik ke arah sisi kiri dan kanan dan menjaga lebar elemen tidak terkecambahan ke sisi kiri dan kanan. Sementara pada arah memanjang, kemiringan memberikan pengaruh terhadap proyeksi gaya berat, sehingga semakin curam kemiringan, pengaruh komponen hidrostatik semakin kecil dibanding proyeksi gaya berat sehingga perluasan memanjang akan semakin kecil. Pada saluran parabola, volume debris dapat menanjak mencapai posisi tertentu akibat kelebihan momentum, kemudian meluncur kembali ke arah sebaliknya setelah mengalami keseimbangan momentum. Pada saluran datar, volume debris tersebar ke segala arah akibat dorongan hidrostatik dari pusat volume. Kecepatan sebaran akan semakin besar dengan gradien permukaan yang lebih besar. Berdasarkan setiap skenario, simulasi Lagrangian dapat memodelkan kondisi 2 dimensi, arah luncuran baik maju maupun mundur dan memberikan hasil yang lebih realistis dibandingkan pendekatan Eulerian.

Kata kunci: *Aliran Debris, Metode Elemen Hingga, Lagrangian, Metode Galerkin.*