

## ABSTRACT

### IMPROVED VORTEX METHOD BY USING BRINKMAN PENALIZATION AND ACCELERATED SCHEMES

By

**Cao Xuan Canh**

**NIM: 33613002**

**(Doctoral Program in Aerospace Engineering)**

Today, computational fluid dynamics (CFD) methods have been used extensively for solving Fluid Mechanics, compared to the more expensive experiments. In CFD, the physical domain is discretized by using mesh/grid, cells, nodes or particles generation. However, the methods based on a grid are required to have high grid generation cost for complex, deforming, and moving bodies. The meshfree methods which established on particles are also met defective aspects, especially, solving N-body problems frequently requires  $\mathcal{O}(N^2)$  order of computational time. These may become computationally expensive.

The improvement of acceleration method is one of the most important precondition to accelerate the computational time. Based on that, the finer resolution or higher order in some numerical procedure could be used to provide more accurate results without the higher expense. In this research, the Vortex-in-Cell (VIC) method and Vortex Element Method (VEM) as the members of the Vortex Method (VM) family will be elaborated. The hybrid VIC algorithm where the grid-based and meshfree method is combined as the blending algorithms particle-mesh/grid methods. The VIC interpolates the particle strength to an underlying mesh. This method has the advantage that the Poisson inversion can be accomplished and accelerated by the Fast Fourier transform techniques. The classical Vortex Element Method, Vortex Particle Method which employs Green's function to solve the Poisson equation is accelerated as well, by using the Fast Multipole Method (FMM). Furthermore, the vorticity strength of particles will be diffused by diffusion modeling Particle Strength Exchange (PSE) which can be accelerated by utilization of the linked-list scheme.

Boundary condition treatment is a problem for many researchers who are in charge of fluid flow past the immersed obstacle even in both grid-based or meshfree methods. In the long journey of seeking the boundary condition model to simulate the bounded flow, the existing higher order Brinkman penalization is applied into grid field of VIC method to overcome this difficulty. For particles of VEM, a new immersed boundary condition model is also developed, that based on Brinkman penalization for the enforcement of the no-slip boundary condition.

In this research, numerical codes based on the VIC algorithm and VEM are developed. The performance of the method will be examined by solving several unbounded/bounded flow for problems. The improvement of results has been achieved.

For the last attempt of simulation the realistic problems which always stay on the high Reynold number region, we tried to develop Large Eddy Simulation (LES) schemes. By using LES, the expensive finer resolution can be replaced by acceptable resolution.

**Keywords:** *Vortex Methods, Vortex-in-Cell, Vortex Element Method, Brinkman Penalization, Linked-list scheme.*

## **ABSTRAK**

### ***PENINGKATAN METODE VORTEX DENGAN MENGUNAKAN PENALISASI BRINKMAN DAN SKEMA-SKEMA AKSELERASI***

By

**Cao Xuan Canh**

**NIM: 33613002**

***(Program Studi Doktor Teknik Dirgantara)***

*Pada sekarang ini, metode dinamika fluida komputasional (CFD) telah banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mekanika fluida, sebagai alternatif dari metode eksperimen yang lebih mahal. Dalam metode CFD, domain fisik didiskritisasi dengan menggunakan mesh/grid, sel, titik atau partikel. Meskipun demikian, metode yang berbasis pada grid membutuhkan sumber daya yang tinggi dalam pembentukan grid untuk kasus kompleks, berdeformasi, dan objek yang bergerak. Metode meshfree (tanpa mesh) yang dikembangkan pada partikel-partikel juga memiliki kekurangan, terutama dalam penyelesaian masalah N-body yang membutuhkan waktu komputasi sebesar orde  $\mathcal{O}(N^2)$ .*

*Pengembangan metode akselerasi adalah salah satu prasyarat penting untuk mempercepat waktu komputasi. Berdasarkan hal tersebut, resolusi yg lebih detail maupun orde yang lebih tinggi pada beberapa prosedur numerik dapat digunakan untuk memberikan hasil-hasil yang lebih akurat, tanpa memerlukan biaya komputasi yang lebih tinggi. Di dalam penelitian ini, metode Vortex-in-Cell (VIC) dan Vortex Element Method (VEM) yang merupakan bagian dari Vortex Method (VM) akan dikembangkan. Algoritma hibrida VIC dimana metode meshfree dan metode berbasis grid dikombinasikan sebagai algoritma gabungan antara metode partikel dan grid. Metode VIC bekerja dengan cara menginterpolasi kekuatan sirkulasi antar-partikel ke mesh. Metode ini memiliki kelebihan berupa persamaan Poisson dapat diselesaikan dan dipercepat dengan teknik Fast Fourier Transform. Metode elemen vortex klasik, yaitu Metode Partikel Vortex yang menggunakan fungsi Green untuk menyelesaikan persamaan Poisson juga dapat dipercepat menggunakan Fast Multipole Method (FMM). Selain itu, vortisitas dari tiap partikel akan didifusikan dengan pemodelan difusi Particle Strength Exchange (PSE) yang dapat dipercepat dengan menggunakan skema linked-list.*

*Perlakuan terhadap kondisi batas adalah masalah untuk banyak peneliti yang meneliti tentang aliran fluida di sekitar benda, baik dengan metode berbasis grid atau metode tanpa grid (meshfree). Dalam proses pemodelan kondisi batas untuk mensimulasikan permasalahan-permasalahan kondisi batas, penalisasi Brinkman orde tinggi*

yang ada telah diterapkan untuk bagian grid pada metode VIC untuk menyelesaikan kesulitan dalam perlakuan kondisi batas. Untuk metode partikel VEM, sebuah model immersed boundary condition juga dikembangkan berdasarkan penalisasi Brinkman untuk memastikan terpenuhinya kondisi batas no-slip.

Dalam penelitian ini, kode numerik berdasarkan algoritma VIC dan VEM telah dikembangkan. Performa dari metode ini akan dievaluasi dengan menyelesaikan beberapa kasus unbounded/bounded flow. Peningkatan terhadap hasil telah dicapai.

Pada kenyataannya, kebanyakan permasalahan praktis mempunyai bilangan Reynolds yang relatif tinggi dimana membutuhkan ukuran partikel yang lebih kecil. Oleh karena itu, kami mencoba mengembangkan skema Large Eddy Simulation (LES) untuk mengatasi kebutuhan ukuran partikel yang kecil tersebut supaya dapat digantikan oleh partikel dengan ukuran yang lebih besar. Namun dengan tetap memiliki hasil yang dapat diterima.

**Kata kunci:** Metode Vortex, Vortex-in-Cell, Metode Elemen Vortex, Penalisasi Brinkman, Skema Linked-list.