

## MÔ PHỎNG DÒNG LƯU CHẤT HAI PHA LỎNG-RẮN TRONG THIẾT BỊ THU GOM Bùn ĐÁY AO NUÔI CÁ TRA

### CFD SIMULATION OF SOLID-LIQUID MULTIPHASE FLOW IN CATFISH FECAL MATERIAL SUCTION CHAMBER

Nguyễn Hoàng Phúc<sup>1</sup>, Tôn Thiện Phương<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

#### TÓM TẮT

*Vấn đề thu gom và xử lý chất thải trong lĩnh vực nuôi trồng cá tra luôn được đặc biệt quan tâm trong nền sản xuất phát triển bền vững, an toàn đối với môi trường tự nhiên. Những thiết bị và phương pháp hiện tại vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu đối với vấn đề này. Tác giả đề xuất phương án thu gom chất thải cá tra sử dụng thiết bị hút dạng buồng hút. Thiết bị có cấu tạo đơn giản, gọn nhẹ và an toàn đối với cá. Vấn đề được đặt ra trong nghiên cứu này là tối ưu biên dạng của thiết bị nhằm tối đa hiệu quả thu gom chất thải ao nuôi cá tra. Trong bài báo này sẽ trình bày việc tối ưu thiết bị hút bằng phương pháp mô phỏng Động lực học lưu chất (CFD). Lưu chất mô phỏng bao gồm hai pha lỏng và rắn tương tự hỗn hợp nước-chất thải được thu gom trong thực tế.*

**Từ khoá:** *Mô phỏng CFD; Mô phỏng động lực học lưu chất; Hút bùn; Cá tra; Dòng hai pha.*

#### ABSTRACT

*Collecting and Treating fish farm waste efficiently have always been major concerns of a green, eco-friendly agriculture. Existing devices and methods have not yet meet the inquiries in this regard. Therefore, the authors propose a method of waste collecting using one suction device. The device is lightweight, simple to deploy, and harmless to fishes. The mission which is set in this study is to optimize the performance of this device. This paper present optimization and rating of the suction equipment will be performed by means of the Computational Fluid dynamics (CFD) simulation method. The simulated flow consists of two phases solid-liquid resembling the actual heterogeneous flow of the slurry.*

**Keywords:** *CFD simulations; Flow simulations; Dredging; Striped catfish farming; Multiphase flow.*

## 1. GIỚI THIỆU

Cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) là thủy sản chủ lực của vùng đồng bằng sông Cửu Long. Cá được nuôi thâm canh trong ao đất sử dụng thức ăn công nghiệp. Phương pháp nuôi truyền thống đã và đang gây ô nhiễm trầm trọng môi trường nước do lượng thức ăn dư thừa, chất thải, chất bài tiết được bơm thải trộm ra sông ngòi và kênh rạch không qua xử lý. Kết quả là chất lượng nước phía hạ lưu và khu vực xung quanh ao nuôi suy giảm đáng kể, ảnh hưởng đến hệ sinh thái địa phương.

Bùn đáy trong ao nuôi là sự tích lũy của nhiều loại vật chất khác nhau như: phân cá, xác cá chết, thức ăn thừa, hoá chất. Các chất này hình thành trong quá trình nuôi do các tác nhân tự nhiên hay do chủ đích của người nuôi và tập trung ở đáy ao. Trong nghiên cứu này, tác giả sẽ chỉ tập trung vào phân cá.

Hiện nay, đã có rất nhiều sản phẩm trên thị trường cũng như ý tưởng về các thiết bị nạo vét bùn đáy nhưng đa phần các thiết bị này chỉ ứng dụng trong các lĩnh vực khai khoáng, xử lý hoá chất hay gần gũi nhất là nạo vét kênh rạch. Các hạn chế trong việc ứng dụng các thiết bị có sẵn trong môi trường nuôi trồng thủy sản nước ta còn bao gồm sự thiếu hụt cơ sở hạ tầng, vận chuyển, trình độ sử dụng. Do đó, thực trạng nuôi trồng thủy sản hiện nay đòi hỏi một thiết bị có thể áp dụng hiệu quả trong công tác thu gom bùn lắng ao nuôi, hướng đến phát triển bền vững.

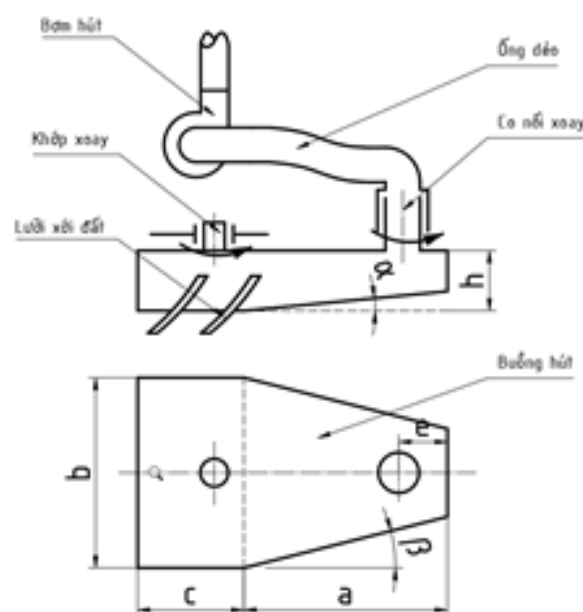
Việc giải quyết một bài toán mô phỏng đòi hỏi xác định một mô hình Turbulence phù hợp. Một trong những mô hình phổ biến nhất là Turbulence K-Epsilon đã được chứng minh nhờ kết quả hội tụ tốt đáng tin cậy trong hầu hết các trường hợp mô phỏng phổ biến. Mô

hình Turbulence K-Epsilon là dạng mô hình hai phương trình, mô hình này giải phương trình truyền tải động năng Turbulence  $k$  và phương trình tốc độ phân tán Turbulence  $\epsilon$  để xác định độ nhớt Eddy Turbulence. Các dạng khác nhau của mô hình K-Epsilon đã được sử dụng trong vài thập kỷ gần đây và nó đã trở thành mô hình được sử dụng rộng rãi nhất cho các ứng dụng công nghiệp.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Nguyên lý vận hành của thiết bị

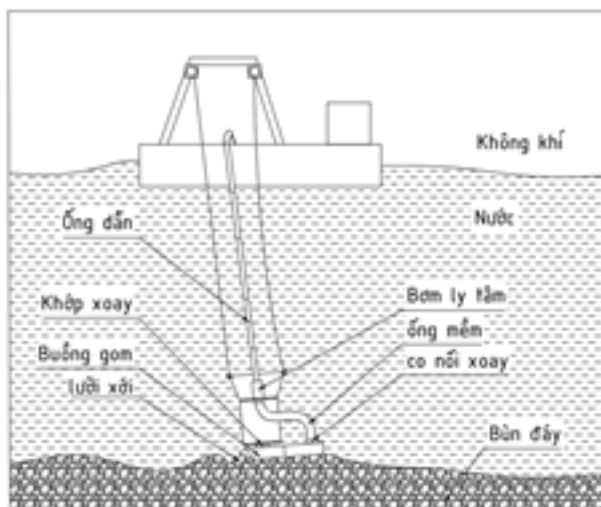
Cấu tạo của cụm hút (Hình 1) bao gồm những thành phần chính: buồng hút, khớp xoay, cơ nối xoay, đoạn ống dẻo, bơm hút và các lưới xới đất.



Hình 1. Cấu tạo của buồng hút

Nguyên lý hoạt động (Hình 2): Cụm hút sau khi được đưa xuống độ sâu hút sẽ được dẫn động dọc theo chiều dài ao, bùn sẽ đi vào buồng hút và được hút lên dưới tác động của bơm hút chìm.

Về buồng hút, buồng hút được thiết kế dạng hình hộp, phần đuôi được thiết kế nhỏ dần về cuối. Thiết kế này là do theo lý thuyết, vùng ảnh hưởng của miệng hút chỉ xấp xỉ hai lần đường kính miệng hút. Buồng hút bao gồm 03 ngõ: ngõ vào, ngõ hút và ngõ ra.



Hình 2. Vị trí công tác của buồng hút

## 2.2. Đặc tính của bùn đáy

Thông số của phân cá được biểu diễn trong Bảng 1. Các thông số này được tham khảo dựa trên các tài liệu [1], [2], [3], [4]:

Bảng 1. Thông số của phân cá tra

| Thông số                  | Giá trị                       |
|---------------------------|-------------------------------|
| Hình dạng hạt             | Cầu hoặc trụ                  |
| Kích thước hạt trung bình | ~ 2 mm                        |
| Khối lượng riêng khô      | 1015 - 1057 kg/m <sup>3</sup> |
| Vận tốc lắng              | 4,33 - 6,08 cm/s              |
| Độ ẩm                     | ~ 60%                         |
| Chu kỳ thu gom            | 3 tháng                       |
| Độ dày lớp lắng           | ~ 200 mm                      |

## 3. MÔ PHỎNG

### 3.1. Về yêu cầu mô phỏng

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm các mục đích sau:

- Xác định lưu lượng khối lượng của pha rắn đi qua một vị trí cụ thể trong mô hình.

- Tối ưu các thông số kích thước và hình dạng của buồng hút nhằm đạt được lưu lượng khối lượng pha rắn qua ngõ hút lớn nhất trong khi tỷ lệ thất thoát và lắng lại là nhỏ nhất.

### 3.2. Cơ sở lựa chọn mô hình mô phỏng

Việc mô phỏng dòng chảy hai pha lỏng-rắn đã được thực hiện trong vô số các bài nghiên cứu khoa học, phục vụ trong nhiều lĩnh vực khác nhau, có thể kể đến một số tham khảo sau:

- Theo tác giả G. Sharma [5] thì mô hình bao gồm đầu cảm biến FTIR được bố trí trong ống. Ống có đường kính  $\varnothing = 0,1016$  m. Bên trong ống là lưu chất hai pha Xylene (lỏng) có chứa hạt 2-Amino-4,6-dimethylpyrimidine (ADP). Tác giả sử dụng mô hình Turbulence K-epsilon tiêu chuẩn và hướng tiếp cận Eulerian-Eulerian. Mục đích mô phỏng nhằm trực quan hoá dòng lưu chất chảy qua khe rãnh của cảm biến FTIR, xác định phân bố vận tốc và tỉ lệ pha rắn theo khe rãnh của cảm biến FTIR và vùng lân cận.

- Theo nhóm tác giả Z. Yang, C. Savari và M. Barigou [6] đã đề cập đến việc xây dựng mô hình mô phỏng động lực học lưu chất của dòng nhiều pha phức tạp, từ đó so sánh, đánh giá kết quả mô phỏng CFD với kết quả thực nghiệm theo phương pháp PEPT. Mô hình cụ thể là một đoạn ống  $\varnothing = 40$  mm. Lưu chất mô phỏng bao

gồm pha lỏng và pha rắn, pha rắn là các hạt có khối lượng riêng và đường kính hạt khác nhau. Nhóm tác giả đã chọn mô hình Turbulence Shear-stress transport K-Omega (SST K- $\omega$ ) và hướng tiếp cận nhiều pha Eulerian-Eulerian.

- Nhóm tác giả J. Capecelatro và O. Desjardins [7] đã chọn mô hình Turbulence Large Eddy scale (LES) và hướng tiếp cận nhiều pha Eulerian-Lagrangian với lựa chọn mở rộng DEM. Không giống như cách tiếp cận Eulerian-Eulerian, PP này cho phép kiểm soát các thông số liên quan đến tương tác giữa các hạt như: hệ số đàn hồi, hệ số giảm chấn, ma sát.

- Nhóm tác giả P. Frawley và M. Geron [8] trình bày mô phỏng đoạn ống dẫn có đường kính thay đổi từ  $\varnothing = 25,5$  mm lên  $\varnothing = 51,1$  mm. Lưu chất trong ống bao gồm dòng hai pha dầu diesel và hạt thủy tinh dạng cầu. Bài mô phỏng này được thực hiện theo mô hình Re-Normalization Group K-epsilon (RNG K- $\epsilon$ ) và theo cả hai hướng tiếp cận Eulerian-Eulerian và Eulerian-Lagrangian. Việc này được thực hiện nhằm mục đích so sánh khả năng của hai hướng giải quyết dòng hai pha trong mô phỏng CFD. Tài liệu được dùng để đối chứng là thí nghiệm của Founti và Klipfel (1998).

Trong quá trình tìm hiểu, tác giả nhận thấy ứng dụng rộng rãi của mô hình Turbulence K-Epsilon và các biến thể trong nhiều công trình nghiên cứu liên quan như của Sharma [5] và của P. Frawley và M. Geron [8] nên quyết định sử dụng biến thể Realizable K-Epsilon Two-layer (một trong những biến thể cải tiến phổ biến của bản K-epsilon tiêu chuẩn) đối với nghiên cứu này.

Đối với mô hình dòng hai pha, có hai hướng tiếp cận phổ biến Eulerian-Eulerian và Eulerian-Lagrangian. Cả hai hướng tiếp cận

này đều có các bản mở rộng phù hợp với các trường hợp mô phỏng khác nhau. Do hạn chế của hướng Eulerian-Eulerian đối với việc xác định lưu lượng khối lượng pha rắn đi qua các vị trí cụ thể nên tác giả sẽ mô phỏng theo hướng Eulerian-Lagrangian.

### 3.3. Mô hình động lực học lưu chất tính toán cho mô phỏng

#### 3.3.1. Mô hình Reynolds-Averaged Navier-Stokes

Các mô hình Turbulence RANS mô tả mối quan hệ của các phương trình Reynolds-Averaged Navier-Stokes, những phương trình này chỉ phôi sự truyền tải giá trị trung bình của các đại lượng trong dòng chảy.

Để tính toán các phương trình Reynolds-Averaged Navier-Stokes, các giá trị  $\phi$  được tính từ các phương trình Navier Stokes sẽ được phân tách thành các giá trị kỳ vọng (hay giá trị trung bình)  $\bar{\phi}$  và thành phần phân tán  $\phi'$ :

$$\phi = \bar{\phi} + \phi' \quad (1)$$

Biến  $\phi$  đại diện cho các thành phần vận tốc, áp suất, năng lượng hoặc nồng độ của pha. Quá trình tính toán theo các giá trị trung bình có thể được coi như tính trung bình theo thời gian cho dòng ổn định và tính trung bình cộng cho các trường hợp chuyển tiếp lặp đi lặp lại. Việc thay các biến số được phân tách vào phương trình Navier-Stokes dẫn đến kết quả là giá trị trung bình của các đại lượng cần tính.

Các phương trình truyền tải trung bình đối với khối lượng, động lượng và năng lượng được biểu diễn lần lượt như sau:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{v}}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{\mathbf{v}}) + \nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{v}} \otimes \bar{\mathbf{v}}) = -\nabla \cdot \bar{p} \mathbf{I} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{T}} + \mathbf{T}_{RANS}) + \mathbf{f}_b \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{E}) + \nabla \cdot (\rho \bar{E} \bar{\mathbf{v}}) = -\nabla \cdot \bar{\rho} \bar{\mathbf{v}} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{T}} + \mathbf{T}_{RANS} \bar{\mathbf{v}}) - \nabla \cdot \bar{\mathbf{q}} + \mathbf{f}_b \bar{\mathbf{v}} \quad (4)$$

Chú thích:

$\rho$  - Khối lượng riêng.

$\bar{\mathbf{v}}$  - Giá trị trung bình của vận tốc.

$\bar{p}$  - Giá trị trung bình của áp suất.

$\mathbf{I}$  - Identity tensor.

$\bar{\mathbf{T}}$  - Giá trị trung bình của tensor ứng suất nhớt.

$\mathbf{f}_b$  - Tổng hợp lực tác dụng (như trọng lực hay lực ly tâm).

$\bar{E}$  - Giá trị trung bình của năng lượng trên đơn vị khối lượng.

$\bar{\mathbf{q}}$  - Giá trị trung bình của mật độ dòng nhiệt.

### 3.3.2. Các phương trình truyền tải của mô hình Realizable K-epsilon two-layer

#### a) Độ nhớt Turbulent Eddy

Độ nhớt Turbulent Eddy Viscosity  $\mu_t$  được tính theo CT:

$$\mu_t = \rho C_\mu f_\mu k T \quad (5)$$

Chú thích:

$\rho$  - Khối lượng riêng.

$C_\mu$  - Hệ số của mô hình RKE 2L.

$f_\mu$  - Hàm giảm chấn damping function.

$k$  - Động năng Turbulence.

$T$  -Thang quy mô thời gian Turbulence (Turbulence time scale).

#### b) Phương trình truyền tải (Transport Equations)

Phương trình truyền tải động năng  $k$ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho k \bar{\mathbf{v}}) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho(\varepsilon - \varepsilon_0) + S_k \quad (6)$$

Phương trình tốc độ phân tán Turbulence  $\varepsilon$ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \bar{\mathbf{v}}) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{1}{T_e} C_{\varepsilon 1} P_\varepsilon - C_{\varepsilon 2} f_2 \rho \left( \frac{\varepsilon}{T_e} - \frac{\varepsilon_0}{T_0} \right) + S_\varepsilon \quad (7)$$

Chú thích (Tham khảo [9]):

$\bar{\mathbf{v}}$  - Giá trị trung bình của vận tốc.

$\mu$  - Độ nhớt động lực học (Độ nhớt tuyệt đối).

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}$  - Hệ số mô hình RKE 2L.

$P_k, P_\varepsilon$  - Production Terms.

$f_2$  - Hàm giảm chấn damping function.

$S_k, S_\varepsilon$  - Nguồn do người dùng xác lập.

### 3.3.3. Các phương trình toán học của pha rắn Phương trình 2nd Newton:

$$m_p \frac{d\mathbf{v}_p}{dt} = \mathbf{F}_s + \mathbf{F}_b \quad (8)$$

Chú thích:

$m_p$  - Khối lượng hạt pha rắn.

$\mathbf{v}_p$  - Vận tốc hạt pha rắn.

$\mathbf{F}_s$  - Tổng hợp lực tác dụng lên bề mặt hạt:

$$\mathbf{F}_s = \mathbf{F}_d + \mathbf{F}_p + \mathbf{F}_{vm} \quad (9)$$

$\mathbf{F}_b$  - Tổng hợp lực tác dụng lên bề thân hạt:

$$\mathbf{F}_b = \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_{MRF} + \mathbf{F}_u + \mathbf{F}_c \quad (10)$$

- $F_d$  - Lực cản.
- $F_b$  - Lực do áp suất.
- $F_{vm}$  - Lực do khối lượng ảo.
- $F$  - Trọng lực.
- $F_u^g$  - Lực do người dùng thiết lập.
- $F_c$  - Lực va chạm (chỉ có cho model

DEM).

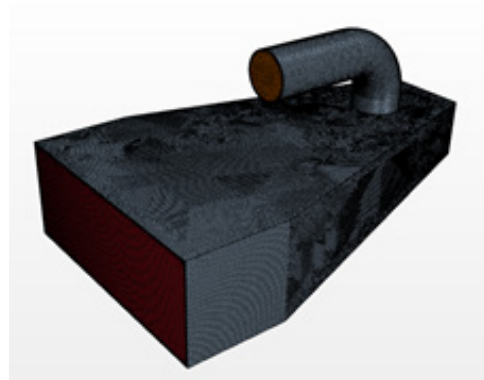
### 3.4. Thiết lập mô phỏng

#### 3.4.1. Lưới mesh

Lưới mesh được thiết lập với thông số trình bày trong Bảng 2:

Bảng 2. Thông số lưới mesh

| Thông số                    | Giá trị/Loại      |
|-----------------------------|-------------------|
| Loại lưới                   | Polyhedral        |
| Base size                   | 2 mm              |
| Minimum surface size        | 5 percent         |
| Number of prism             | 4                 |
| Prism Layer Total Thickness | 2 mm              |
| Maximum Cell Size           | 500 percent       |
| Volume Growth rate          | 1,2               |
| Surface Growth rate         | 1,3               |
| Số lượng hạt                | 2,5 triệu phần tử |



Hình 3. Kết quả chia lưới

#### 3.4.2. Lựa chọn mô hình vật lý

Đối tượng vật lý được mô phỏng trong nội dung tài liệu này bao gồm: dòng hai pha lỏng-rắn, pha lỏng là dòng không nén được. Các lựa chọn được thực hiện theo Bảng 3:

Bảng 3. Mô hình vật lý của mô phỏng

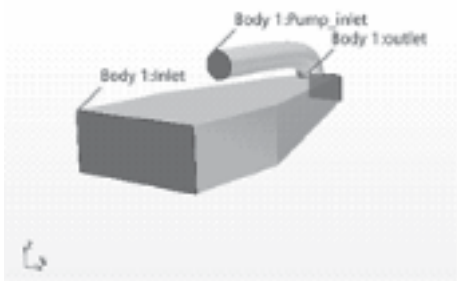
| Nhóm                         | Mô hình                                  |
|------------------------------|------------------------------------------|
| Space                        | Three Dimensional                        |
| Material                     | Liquid                                   |
| Flow                         | Segregated flow                          |
| Equation of state            | Constant density                         |
| Time                         | Implicit Unsteady                        |
| Viscous Regime               | Turbulence                               |
| Turbulence                   | Reynolds-Averaged Navier-Stokes          |
| Reynolds-Averaged Turbulence | K-epsilon                                |
| K-epsilon models             | Relizable K-epsilon Turbulence Two-layer |
| Optional                     | Gravity                                  |
|                              | Lagrangian Multiphase                    |



3.4.3. Điều kiện biên

Bảng 4. Điều kiện biên

| Biên       | Kiểu biên       | Mô tả                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inlet      | Velocity inlet  | Vận tốc thiết lập tại vị trí inlet là vận tốc di chuyển thiết bị. Vận tốc này sẽ được thiết lập trong các trường hợp di chuyển với tốc độ khác nhau.                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Outlet     | Pressure outlet | Biên Outlet là vị trí thoát ra của pha lỏng và pha rắn không được hút lên. Biên Outlet thông với môi trường nước ở đáy ao, do đó có áp suất bằng áp suất thủy tĩnh tại độ sâu đáy ao.                                                                                                                                                                                                                                          |
| Pump_inlet | Pressure outlet | Vị trí Pump_inlet có tính chất phức tạp do là vị trí vào ngõ hút của bơm. Do vấn đề xây dựng mô hình bơm hút giống như thiết kế cơ khí sẽ rất khó khăn trong việc mô phỏng CFD, khiến bài toán trở nên phức tạp và do bơm hút là sản phẩm đã được thương mại, tác giả không thực hiện thiết kế mới nên đối với nghiên cứu này, ta chỉ thiết lập mức áp suất để tạo ra lưu lượng hút như tính toán theo đường đặc tính của bơm. |



Hình 4. Phân chia biên của miền mô phỏng

3.4.4. Thiết lập hạt pha rắn

Bảng 5. Thiết lập pha rắn

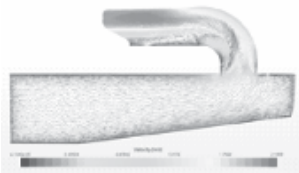
| Thông số                           | Giá trị                |
|------------------------------------|------------------------|
| Khối lượng riêng                   | 1015 kg/m <sup>3</sup> |
| Hình dạng hạt                      | Cầu                    |
| Đường kính hạt                     | 2 mm                   |
| Tỷ lệ của hạt pha rắn đi qua inlet | 60%                    |

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả xét đến một trường hợp

4.1.1. Phân bố vận tốc pha lỏng

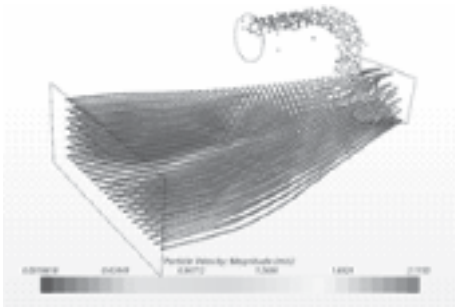
Phân bố vận tốc của pha lỏng được biểu diễn trên một mặt phẳng (Hình 5). Mặt phẳng này cắt qua buồng hút tại vị trí chính giữa song song với mặt phẳng Oyz. Tương tự như phân bố vận tốc của pha rắn, pha lỏng cũng chảy chậm trong buồng hút và đạt tốc độ cao trong ống hút. Phân bố vận tốc này đạt được do thiết lập áp suất thấp hơn ở vị trí Pump\_inlet, mục đích thiết lập để giả lập lưu lượng của bơm hút, lưu lượng này được xác định theo đường đặc tính của bơm hút chọn trước.



Hình 5. Phân bố vận tốc pha lỏng trong buồng hút

#### 4.1.2. Pha rắn phân tán trong pha lỏng

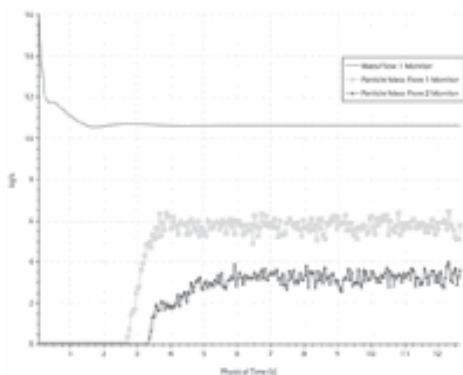
Hình 6 biểu diễn pha rắn (hạt) di chuyển bên trong buồng hút. Các hạt được phân loại màu theo vận tốc. Có thể thấy, các hạt di chuyển với tốc độ thấp khi di chuyển ở vị trí miệng buồng hút và tăng tốc khi di chuyển với đoạn ống hút. Phân bố vận tốc này của hạt trùng khớp với phân bố vận tốc.



Hình 6. Pha rắn (bùn đáy) chuyển động trong buồng hút

#### 4.1.3. Lưu lượng khối lượng pha rắn qua các vị trí khảo sát

Biểu đồ bên dưới biểu diễn lưu lượng khối lượng (kg/s) của pha rắn đi qua các biên Pump\_inlet (ký hiệu hình vuông) và Outlet (ký hiệu tam giác). Ngoài ra, đường liền biểu diễn lưu lượng khối lượng hỗn hợp đi qua Pump\_inlet.



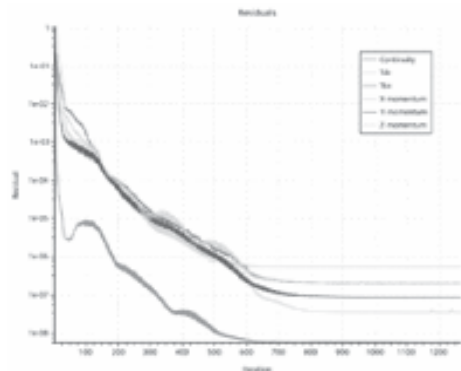
Hình 7. Biểu đồ lưu lượng khối lượng qua các vị trí khảo sát (kg/s)

#### 4.1.4. Biểu đồ lượng dư Residuals

Lượng dư là một trong những thước đo cơ bản nhất cho sự hội tụ của mô phỏng CFD, vì nó trực tiếp định lượng sai số trong nghiệm của hệ phương trình. Trong phân tích CFD, phần dư đo lường sự mất cân bằng cục bộ của một biến nào đó của một phần thể tích được tính toán. Do đó, mỗi phần tử trong mô hình sẽ có giá trị lượng dư riêng cho mỗi phương trình được giải.

Đối với CFD, lượng dư  $1E-4$  được coi là hội tụ ở mức trung bình, mức  $1E-5$  được coi là hội tụ tốt và mức  $1E-6$  được coi là hội tụ ở mức chắc chắn. Tuy nhiên, đối với các vấn đề phức tạp, không phải lúc nào cũng có thể đạt được mức dư thấp nhất là  $1E-6$  hoặc thậm chí  $1E-5$ .

Đối với kết quả mô phỏng này (biểu diễn trong Hình 8), có thể thấy kết quả hội tụ của tất cả các biến đều cho ra kết quả hội tụ rất chắc chắn khi tất cả đều đạt dưới  $1E-6$ .



Hình 8. Biểu đồ lượng dư Residuals

### 4.2. Kết quả tối ưu kích thước buồng hút

#### 4.2.1. Thông số hình học

Thông số của buồng hút được thiết lập như sau (Bảng 6):



Bảng 6. Thông số hình học buồng hút

| Thông số kích thước | Giá trị        |
|---------------------|----------------|
| Khoảng cách a       | 500 (mm)       |
| Rộng b              | 500 (mm)       |
| Khoảng cách c       | 200 ÷ 300 (mm) |
| Khoảng cách e       | 130 (mm)       |
| Cao h               | 200 (mm)       |
| Góc $\alpha$        | 8 ÷ 12 (độ)    |
| Góc $\beta$         | 18 (độ)        |

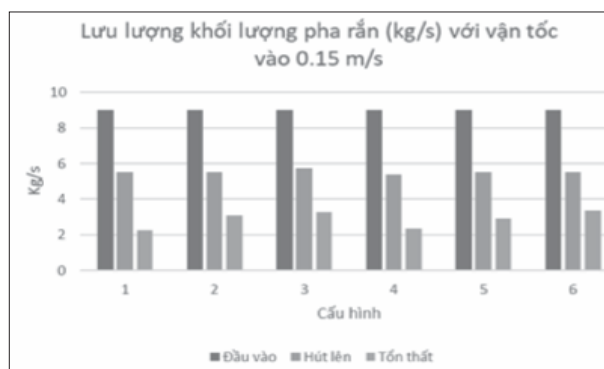
Các trường hợp tối ưu trong nghiên cứu này sẽ chỉ xoay quanh hai giá trị chiều dài c và góc  $\alpha$  như đã trình bày ở Hình 1. Các trường hợp mô phỏng được chia thành 06 cấu hình sau (Bảng 7):

Bảng 7. Các cấu hình buồng hút để tối ưu

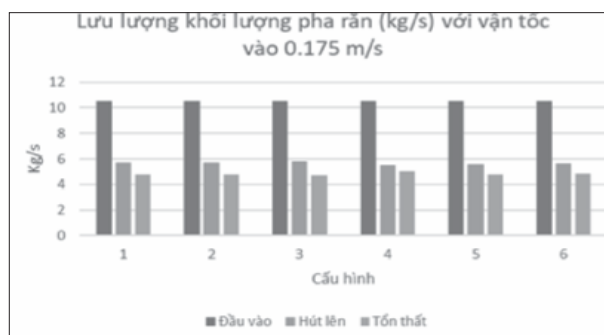
| Cấu hình      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| C (mm)        | 200 | 200 | 200 | 300 | 300 | 300 |
| $\alpha$ (độ) | 8   | 10  | 12  | 8   | 10  | 12  |

## 4.2.2. Kết quả mô phỏng

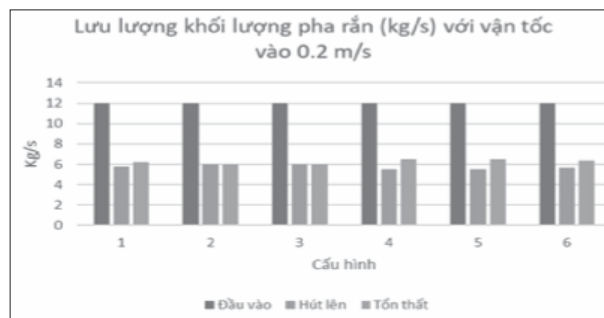
Kết quả được biểu diễn trong bảng bên dưới bao gồm lưu lượng khối lượng của pha rắn được hút lên thông qua biên Pump\_inlet, bị thất thoát qua biên Outlet theo những vận tốc đầu vào khác nhau thiết lập tại biên Inlet, lần lượt là: 0,15 m/s, 0,175 m/s, 0,2 m/s.



Hình 9. Biểu đồ lưu lượng khối lượng pha rắn với vận tốc vào 0,15 m/s



Hình 10. Biểu đồ lưu lượng khối lượng pha rắn với vận tốc vào 0,175 m/s



Hình 11. Biểu đồ lưu lượng khối lượng pha rắn với vận tốc vào 0,2 m/s

## 5. KẾT LUẬN

### 5.1. Từ kết quả nghiên cứu có thể rút ra các kết luận sau:

1) Mô hình Realizable k-Epsilon two-layer cho kết quả tốt đối với dòng nhiều pha chứng

minh qua kết quả hội tụ của biểu đồ lượng dư.

2) Một lượng các hạt pha rắn di chuyển trong buồng hút, cụ thể là ở phía đáy di chuyển với tốc độ thấp do ít chịu ảnh hưởng bởi lực hút của biên Pump\_inlet. Việc này góp phần tạo ra tỷ lệ các hạt bị lắng lại do di chuyển chậm hơn vận tốc lắng tới hạn.

3) Có thể thấy vận tốc của pha rắn và pha lỏng có sự tương đồng tại các vị trí như buồng hút, ống hút và tại cận vách. Sự tương đồng phản ánh tác dụng của mô hình lưu chất hai pha khi pha rắn chịu ảnh hưởng bởi các lực gây ra bởi pha lỏng khi di chuyển.

4) Kết quả hút được xét bao gồm tỷ lệ được hút lên, thất thoát và đọng lại. Các tỷ lệ này thay đổi theo các thông số hình học của buồng hút và tốc độ di chuyển của thiết bị. Cụ thể:

+ Đối với vận tốc 0,15 m/s, tỷ lệ hút lên đều rất tốt (trên 60%) nhưng tỷ lệ đọng lại cũng rất cao (trên 10% đối với cấu hình 1 và 4).

+ Vận tốc 0,2 m/s cho kết quả thất thoát lớn nhất (đều trên 50%). Trường hợp này không xảy ra hiện tượng đọng lại của các hạt rắn.

+ Vận tốc 0,175 m/s cho tỷ lệ hút lên xấp xỉ 55% và thất thoát khoảng 45%. Tỷ lệ đọng lại cũng rất tốt, chỉ 1%.

5) Thông số chiều dài c của buồng hút không có tác động đáng kể đến hiệu quả hút.

6) Theo bảng kết quả có thể sơ bộ kết luận cấu hình 3 ở vận tốc 0,15 m/s cho kết quả tốt nhất lần lượt hút lên 64%, thất thoát 35%, đọng lại < 1%.

## 5.2. Nghiên cứu vẫn còn tồn tại một số hạn chế sau:

- Mô phỏng chưa được chứng thực (validation) bằng thí nghiệm với mô hình thực tế. Kết quả mô phỏng đối với nghiên cứu cụ thể này cần so sánh, đối chiếu với mô hình chế tạo trong điều kiện thực tế.

- Trong thực tế, hiện tượng tích tụ pha rắn trong buồng hút có thể gây tắc nghẽn quá trình hút của bơm. Do hạn chế về tài nguyên máy và quỹ thời gian, tác giả đã chọn mô hình đơn giản với tương tác hạt-pha lỏng là one way-coupling. Việc này có thể ảnh hưởng lớn đến độ tin cậy của mô phỏng nếu xét đến những vận tốc nhỏ hơn hay pha rắn tỷ khối lớn hơn.

- Việc không xây dựng mô hình bơm tại vị trí Pump\_inlet phần nào cũng ảnh hưởng đến đặc tính của dòng trong ống hút khi không phản ánh chính xác phân bố áp suất theo vị trí trong ống. Tuy vậy, để khiến mô phỏng chính xác có thể khiến tài nguyên tính toán lớn hơn và cho kết quả sai.

- Buồng hút được thiết kế cơ bản với 07 thông số hình học (a, b, c, e, h, alpha và beta). Nhưng do quỹ thời gian không cho phép, tác giả chỉ có thể tối ưu các biến c và alpha, từ đó chưa đánh giá hết tác động của các biến số có thể ảnh hưởng đến hiệu quả hút.

## Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 02/12/2022

Ngày phản biện: 12/12/2022



## Tài liệu tham khảo:

- [1]. P. Q. Nguyen and N. V. Cong, "Xác định số lượng, chất lượng bùn đáy ao nuôi cá tra (*Pangasianodon Hypothalmus*) và sử dụng trong canh tác rau," *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, vol. 35, pp. 78-89, 2014.
- [2]. R. Moccia, D. Bevan and G. Reid, "Composition of Feed and Fecal Waste from Commercial Trout Farms in Ontario: Physical Characterization and Relationship to Dispersion and Depositional Modelling," *Aquaculture Centre, University of Guelph, Guelph, Canada*, 2007.
- [3]. Nhut N. and et al, "Options to reuse sludge from striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878) ponds and recirculating systems," *Aquacultural Engineering*, vol. 87, p. 102020, 2019.
- [4]. L. Tran-Tu and et al, "Effect of ingredient particle sizes and dietary viscosity on digestion and faecal waste of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)," *Aquaculture Nutrition*, vol. 24, no. 3, 2017.
- [5]. G. Sharma, "CFD analysis of turbulent slurry flow through the sensing region of near ir diffuse transmission and reflectance probes mounted in a pipe flow," *Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University*, 2014.
- [6]. Z. Yang, C. Savari and M. Barigou, "Numerical and Experimental Investigations of Horizontal Turbulent Particle-Liquid Pipe Flow," *American Chemistry Research*, vol. 61, no. 32, p. 12040–12051, 2022.
- [7]. J. Capecelatro and O. Desjardins, "Eulerian-Lagrangian modeling of turbulent liquid-solid slurries in horizontal pipes," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 55, pp. 64-79, 2013.
- [8]. P. Frawley and M. Geron, "Comparison of Lagrangian and Eulerian Simulations of Slurry Flows in a Sudden expansion," *Journal of Fluids Engineering*, vol. 132, no. 9, p. 091301, 2010.
- [9]. Siemens, *Simcenter STAR-CCM+ Documentation*, 020 Siemens Digital Industries Software, 2020.