

SỞ GIÁO DỤC ĐÀO TẠO HẢI PHÒNG

**CUỘC THI KHOA HỌC KỸ THUẬT CẤP THÀNH PHỐ
DÀNH CHO HỌC SINH TRUNG HỌC NĂM HỌC 2025 - 2026**

Tên dự án: Nghiên cứu tổng hợp chất trợ keo tụ từ cây chuối để xử lý một số chất ô nhiễm trong nước thải

Lĩnh vực dự thi: Kỹ thuật môi trường

Loại dự án: Dự án khoa học ☒

Dự án kỹ thuật ☐

MÃ DỰ ÁN:

VỊ TRÍ:

Hải Phòng, tháng 11 năm 2025

MỤC LỤC

1. CÂU HỎI NGHIÊN CỨU	2
1.1. Câu hỏi nghiên cứu	2
1.1.1. Chất keo tụ chiết xuất từ cây chuối có khả năng loại bỏ những loại ô nhiễm nào trong nước thải?	2
1.1.2. Điều kiện tối ưu để tổng hợp và sử dụng chất keo tụ này là gì?	2
1.1.3. Hiệu quả xử lý nước thải bằng chất keo tụ từ chuối so với các chất keo tụ truyền thống như thế nào?	2
1.2. Giả thuyết khoa học.....	2
1.3. Đóng góp của dự án vào lĩnh vực khoa học.....	3
1.4. Mục tiêu nghiên cứu.....	3
2. THIẾT KẾ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	4
2.1. Tiến độ nghiên cứu.....	4
2.2. Phương pháp nghiên cứu.....	4
2.3. Đối tượng nghiên cứu.....	5
3. THỰC HIỆN NGHIÊN CỨU	5
3.1. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết của phương pháp keo tụ.....	5
3.1.1. Phương pháp keo tụ.....	5
3.1.2. Vật liệu xử lý môi trường từ cây chuối.....	6
3.2. Mô tả quá trình triển khai nghiên cứu	7
3.2.1. Thử nghiệm tổng hợp chất keo tụ từ cây chuối	7
3.2.2. Thử nghiệm khả năng xử lý nước thải sinh hoạt.....	8
3.2.3. Khảo sát độ bền của chất keo tụ.....	8
3.3. Kết quả thực nghiệm	8
3.3.1. Kết quả khảo sát thời gian keo tụ và lắng tối ưu.....	8
3.3.2. Kết quả khảo sát pH keo tụ tối ưu.....	9
3.3.3. Kết quả khảo sát liều lượng chất keo tụ tối ưu	10
3.3.4. Kết quả khảo sát tính bền của vật liệu	10
3.4. Đánh giá kết quả nghiên cứu.....	11
3.4.1. Mức độ đáp ứng các câu hỏi nghiên cứu	11
3.4.2. Mức độ đáp ứng các giả thuyết khoa học	11
3.5. Tính sáng tạo	11
3.6. Khả năng áp dụng.....	12
3.7. Kết luận	12
4. TÀI LIỆU THAM KHẢO	12

1. CÂU HỎI NGHIÊN CỨU

1.1. Câu hỏi nghiên cứu

1.1.1. Chất keo tụ chiết xuất từ cây chuối có khả năng loại bỏ những loại ô nhiễm nào trong nước thải?

Theo các nghiên cứu, chất keo tụ từ vỏ chuối có thể loại bỏ hiệu quả chất rắn lơ lửng (SS), độ đục (turbidity), chất hữu cơ (COD/BOD), phẩm màu hữu cơ (như methylene blue), và một số kim loại nặng (như Cr, Pb) với tỷ lệ 70-90%. Ví dụ, trong nước thải dệt nhuộm, nó giúp giảm độ đục từ 100-200 NTU xuống dưới 10 NTU, và loại bỏ phẩm màu bằng cách hấp phụ bề mặt. Tuy nhiên, hiệu quả có thể thấp hơn với các chất vô cơ độc hại (như fluoride) hoặc dầu mỡ, do cơ chế chủ yếu là keo tụ vật lý và hóa học chứ không phải phân hủy sinh học.

1.1.2. Điều kiện tối ưu để tổng hợp và sử dụng chất keo tụ này là gì?

Câu hỏi này khám phá các thông số kỹ thuật để tối ưu hóa quy trình, bao gồm tổng hợp (chiết xuất) và ứng dụng (keo tụ). Trong tổng hợp, cây chuối được chiết xuất bằng nước hoặc dung môi nhẹ; điều kiện tối ưu thường là pH 4-6, nhiệt độ 60-80°C trong 2-4 giờ. Khi sử dụng, chất keo tụ hoạt động tốt nhất ở pH nước thải 6-8 (trung tính đến hơi kiềm), liều lượng 50-100 mg/L, thời gian khuấy nhanh 1-2 phút (150-200 rpm) rồi khuấy chậm 10-15 phút (30-50 rpm), và lắng 30-60 phút, dẫn đến tỷ lệ loại bỏ độ đục cao nhất (85-95%).

1.1.3. Hiệu quả xử lý nước thải bằng chất keo tụ từ chuối so với các chất keo tụ truyền thống như thế nào?

Các nghiên cứu cho thấy chất từ chuối có hiệu quả tương đương (loại bỏ độ đục 80-90% so với 85-95% của PAC) ở nước thải đô thị hoặc dệt nhuộm, nhưng vượt trội về tính thân thiện (không để lại dư lượng kim loại độc hại gây hại cho sức khỏe và hệ sinh thái), chi phí thấp (giảm 50-70% nhờ nguyên liệu thải nông nghiệp), và ít bùn thải hơn. Tuy nhiên, ở nồng độ ô nhiễm cao (>500 mg/L COD), chất từ chuối có thể kém hơn do bão hòa nhanh và cần liều cao hơn. Ví dụ, trong xử lý nước thải đô thị, chất từ vỏ chuối giảm COD 60-70%, trong khi PAC đạt 75-85%, nhưng chuối không gây vấn đề sức khỏe dài hạn.

1.2. Giả thuyết khoa học

- Chất keo tụ chiết xuất từ cây chuối (chủ yếu từ thân và lá, chứa cellulose và pectin) sẽ loại bỏ hiệu quả các chất ô nhiễm như chất rắn lơ lửng (SS), độ đục với tỷ lệ loại bỏ ít nhất 70-80% ở nồng độ ô nhiễm trung bình (50-200 mg/L), nhờ cơ chế keo tụ và lắng dựa trên lực hút tĩnh điện và liên kết hydro.

- Điều kiện tối ưu để tổng hợp chất keo tụ từ cây chuối là chiết xuất ở pH 4-6 với nhiệt độ 60-80°C trong 2-4 giờ, sử dụng dung môi nước hoặc ethanol nhẹ để hoạt hóa cellulose, dẫn đến sản phẩm có độ ổn định cao và khả năng keo tụ tốt nhất.

- Chất keo tụ từ cây chuối sẽ có hiệu quả xử lý tương đương hoặc cao hơn các chất keo tụ truyền thống (như phèn nhôm - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ hoặc polyaluminium

chloride - PAC) về tỷ lệ loại bỏ chất rắn lơ lửng và độ đục (80-90% so với 85-95% của PAC), nhưng vượt trội về tính thân thiện môi trường và chi phí thấp.

1.3. Đóng góp của dự án vào lĩnh vực khoa học

- Ứng dụng toàn diện phế thải cây chuối trong xử lý nước thải: Dự án là một trong những công trình đầu tiên tại cuộc thi KHKT Hải Phòng sử dụng toàn bộ thân, củ và vỏ chuối (không chỉ vỏ quả như các nghiên cứu trước) để tổng hợp chất keo tụ. Theo Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Hải Phòng (2024), các huyện Vĩnh Bảo, An Dương, Thủy Nguyên thải bỏ khoảng 2.500 tấn thân và lá chuối/năm sau thu hoạch. Đây là nguồn nguyên liệu chưa được tái sử dụng hiệu quả.

- Cung cấp dữ liệu thực nghiệm trên mẫu nước thải sinh hoạt thực tế: Kết quả đạt hiệu suất loại bỏ TSS và độ đục 70,2–72,4 % (Bảng 2) ở pH 6-8, liều lượng 300 mg/L, phù hợp với mức xử lý sơ bộ theo QCVN 14:2008/BTNMT (cột B). Đây là bộ dữ liệu đo trên mẫu nước thải gia đình thực tế (nồng độ TSS ban đầu 85–120 mg/L), thay vì dung dịch mô phỏng.

- Đề xuất quy trình chiết xuất an toàn, phù hợp điều kiện trường học: Quy trình sử dụng ethanol 98° ở nhiệt độ phòng và sấy 70°C (không dùng axit mạnh) đảm bảo an toàn cho học sinh, khác với các phương pháp quốc tế yêu cầu H₂SO₄ hoặc NaOH. Quy trình này đã được thử nghiệm thành công với độ lặp lại >90 % trong 2 tháng bảo quản.

- Góp phần định hướng xử lý nước thải phân tán: Hiệu suất tương đương 60–70 % so với phèn nhôm ở cùng liều lượng (theo thử nghiệm nội bộ) cho thấy tiềm năng thay thế một phần chất keo tụ hóa học trong xử lý tại nguồn, phù hợp với Kế hoạch bảo vệ nguồn nước sông Đa Độ và Lạch Tray giai đoạn 2024-2030.

1.4. Mục tiêu nghiên cứu

Dự án đặt ra 4 mục tiêu cụ thể, khả thi trong 6 tháng với thiết bị phòng thí nghiệm trường THCS..... và phòng thí nghiệm Viện Môi trường - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam:

Bảng 1. Tiêu chí đánh giá mục tiêu dự án

Mục tiêu	Chỉ tiêu định lượng	Phương pháp thực hiện
1. Tổng hợp chất keo tụ từ thân, củ, vỏ chuối	Khối lượng sản phẩm thu được theo khối lượng nguyên liệu tươi.	Thí nghiệm với hoạt động chiết xuất và sấy.
2. Xác định điều kiện keo tụ tối ưu	- pH tối ưu cho quá trình keo tụ - Thời gian lắng tối ưu - Liều lượng tối ưu	Thử nghiệm tại 6 mức pH, 5 mức liều lượng, 3 mức thời gian

Mục tiêu	Chỉ tiêu định lượng	Phương pháp thực hiện
	- Hiệu suất xử lý (%)	
3. Đánh giá hiệu quả trên nước thải sinh hoạt	Hiệu suất loại bỏ độ đục và tổng chất rắn lơ lửng tại các điều kiện tối ưu đã khảo sát	Lấy mẫu tại Tổ dân phố Cát Bi 2, phường Hải An, phân tích TSS (phương pháp trọng lượng), độ đục (NTU)
4. Đánh giá độ bền vật liệu	Hiệu suất giảm sau nhiều lần tái sử dụng	Bảo quản 4°C, thử nghiệm hàng tuần

2. THIẾT KẾ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tiến độ nghiên cứu

Tháng 3/2025: Tìm hiểu tài liệu và cơ sở lý thuyết của chất keo tụ.

Tháng 4-5/2025: Thu thập và tổng hợp chất keo tụ từ cây chuối.

Tháng 6-7/2025: Thử nghiệm xác định khả năng loại bỏ một số chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt.

Tháng 8/2025: Đánh giá độ bền của chất keo tụ.

Tháng 9/2025: Tổng hợp báo cáo thuyết minh đề tài.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Dự án áp dụng phương pháp kế thừa các nghiên cứu đã công bố và phương pháp nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm trường THCS Lê Lợi và hỗ trợ đo đạc tại phòng thí nghiệm Viện Môi trường - Trường Đại học Hàng hải Việt. Các phương pháp chính bao gồm:

- Tổng hợp chất keo tụ sinh học: Sử dụng phương pháp chiết xuất dung môi ethanol 98°, kết hợp khuấy từ và kết tủa. Nguyên liệu được thu tại một số chợ dân sinh, xay nhuyễn, sấy khô để loại bỏ ethanol dư, thu chất keo tụ dạng bột mịn. Quy trình không dùng axit/kiềm mạnh để phù hợp điều kiện trường học.
- Thử nghiệm keo tụ – lắng với chu kỳ khuấy nhanh, khuấy chậm và lắng. Mẫu nước thải sinh hoạt được lấy tại 3 hộ dân khu vực Tổ dân phố Cát Bi 2, phường Hải An, bảo quản 4°C, phân tích trong 24 giờ. Các thông số khảo sát:
 - o pH: 4, 5, 6, 7, 8, 9 (điều chỉnh bằng HCl 0,1 M và NaOH 0,1 M).
 - o Liều lượng chất keo tụ: 50, 100, 150, 200, 250, 300 mg/L.
 - o Thời gian lắng: 30, 60, 90 phút.
- Phân tích chỉ tiêu chất lượng nước:

Bảng 2. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước

Thông số	Mô tả phương pháp phân tích	Thiết bị	Tiêu chuẩn phân tích
pH	Điện thế (pH-meter)	Hanna HI2211	TCVN 6492:2011
Độ đục (NTU)	Đo quang tán xạ	Hach 2100Q	TCVN 6184:2008
TSS (mg/L)	Lọc màng 0,45 μm , sấy 105°C, cân	Cân phân tích 0,1 mg	TCVN 6625:2000

- Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần. Hiệu suất loại bỏ (%) = $[(C_0 - C_t)/C_0] \times 100$, trong đó C_0 , C_t là nồng độ ban đầu và sau xử lý.
- Đánh giá độ bền vật liệu: Chất keo tụ được bảo quản, thử nghiệm định kỳ hàng tuần trong 60 ngày trên cùng mẫu nước thải (TSS ~100 mg/L).

2.3. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: thân, củ và vỏ chuối bị bỏ lại tại các khu vườn trồng và chợ tại thành phố Hải Phòng để tiến hành tổng hợp chất keo tụ.
- Mẫu nước thải sinh hoạt tại gia đình.

3. THỰC HIỆN NGHIÊN CỨU

3.1. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết của phương pháp keo tụ

3.1.1. Phương pháp keo tụ

Những hạt rắn có kích thước quá nhỏ ở dạng keo hoặc hòa tan thì không thể dùng lắng thông thường để tách ra được. Khi đó, để tách các hạt rắn này, cần tăng kích thước của các hạt hoặc đám hạt, trên cơ sở đó sẽ tăng vận tốc lắng bằng cách thực hiện đông tụ và keo tụ. Đông tụ là quá trình trung hòa điện tích còn keo tụ là quá trình tạo bông hay tạo thành hạt lớn từ những hạt nhỏ.

Trong kỹ thuật xử lý nước thải bằng các biện pháp xử lý cơ học như lắng, lọc chỉ có thể loại bỏ những hạt có kích thước lớn hơn 10^{-4} mm còn những hạt cặn có đường kính $< 10^{-4}$ mm phải áp dụng xử lý bằng phương pháp hoá lý. Đặc điểm của các hạt cặn bé này là dễ dàng hấp thụ, kết bám với các chất xung quanh hoặc lẫn nhau để tạo thành những bông cặn to hơn. Mặt khác, các hạt cặn đều mang điện tích và chúng có khả năng liên kết với nhau hoặc đẩy nhau bằng lực tĩnh điện. Tuy nhiên, trong môi trường nước do các loại lực tương tác giữa các hạt cặn nhỏ hơn lực đẩy do chuyển động nhiệt Brown nên các hạt cặn luôn ở trạng thái lơ lửng.

Bằng việc phá vỡ trạng thái cân bằng động tự nhiên của môi trường nước, các nhân tủa keo tụ sẽ được bổ sung vào, tạo điều kiện thuận lợi để các hạt cặn kết dính với nhau thành các hạt lớn và dễ xử lý hơn.

Keo tụ là phương pháp thông dụng sử dụng trong xử lý nước cấp và nước thải để làm tăng hiệu quả của các bước xử lý tiếp theo như lắng; lọc; khử trùng, bằng việc sử dụng các chất keo tụ như phèn nhôm $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, phèn sắt $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, nước vôi trong $\text{Ca}(\text{OH})_2$, PAC, ... Tuy nhiên, việc sử dụng các hóa chất này thể hiện một vài yếu điểm như: Lượng bùn thải lớn và khó xử lý, thường để lại hàm lượng lớn ion kim loại hòa tan nên cần bước xử lý tiếp.

Ở nhiều trạm xử lý nước thải tập trung, phương pháp keo tụ bằng hóa chất thường được sử dụng để loại bỏ các chất lơ lửng và chất hữu cơ có màu. Nhiều nơi không làm thí nghiệm để xác định loại và liều lượng hóa chất tối ưu. Việc xác định chất keo tụ và hàm lượng không đúng dẫn đến hiệu quả keo tụ - lắng thấp, hàm lượng chất ô nhiễm, chất độc hại đưa sang bể xử lý sinh học lớn, có thể gây hại vi sinh vật có trong bùn hoạt tính. Rủi ro càng cao khi các nhà máy bất ngờ xả các chất độc hại hay một lượng lớn chất bẩn vào hệ thống thoát nước mà không xử lý sơ bộ.

Nhiều trạm xử lý có công suất vừa và lớn, nhưng chỉ có một máy làm khô bùn mà không có sân phơi bùn dự phòng. Và thực tế là các hệ thống làm khô bùn là một trong những phân đoạn hay gặp sự cố, trục trặc nhất ở các trạm xử lý nước thải. Vấn đề vận chuyển, thải bùn tại nhiều nơi cũng không được quan tâm một cách hợp lý. Nhiều nơi chỉ ký hợp đồng với đơn vị có chức năng vận chuyển, xử lý chất thải, chất thải nguy hại mà chưa chú trọng vào công tác thu gom, lưu giữ chất thải đúng quy định trong khu vực nhà máy. Quản lý bùn chứa các chất độc hại như kim loại nặng, dầu mỡ, các chất hữu cơ khó phân hủy, ... lẫn với bùn sinh học vẫn còn chưa xử lý được.

Đứng trước vấn đề đó, đã có một vài nghiên cứu ứng dụng các loại thực vật trong xử lý nước thải bằng việc sử dụng chất keo tụ từ vật liệu tự nhiên để thay thế các chất keo tụ vô cơ, đồng thời khắc phục những nhược điểm đã nêu trên.

3.1.2. Vật liệu xử lý môi trường từ cây chuối

Với sự sẵn có của nguồn nguyên liệu là các phần thân, vỏ quả chuối, củ chuối, bẹ chuối – một loại cây dân dã, sinh trưởng dày đặc và dễ thích nghi với mọi điều kiện khí hậu trên cả nước. Đây cũng là một loại cây nông sản rất có sẵn tại địa phương, nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc chế tạo chất keo tụ từ nhựa chuối. Một trong những vấn đề đặt ra cho việc nghiên cứu nhựa Chuối đó là việc nghiên cứu, đánh giá và phân tích khả năng ứng dụng của nhựa Chuối nhằm đạt được hiệu quả xử lý tối ưu với nước thải sinh hoạt.

Chất keo tụ chiết xuất từ cây chuối có thành phần chính là nhựa cây chuối đã được phân tách từ các bộ phận cây chuối. Nhựa chuối có mùi thơm, không tan trong nước nhưng dễ tan trong dung môi hữu cơ. Về mặt hóa học, nhựa chuối có thành phần thuộc nguồn gốc terpen.

Cellulose vốn là một thành phần cấu trúc quan trọng của vách tế bào thực vật có thể được sử dụng trong bao bì, giấy, dệt may và thậm chí cả các ứng dụng y tế như chữa lành vết thương và vận chuyển thuốc.

Chỉ có quả chuối được sử dụng, trong khi thân chuối bị vứt bỏ lãng phí. Đây là loài cây đang sản sinh một lượng lớn chất thải hữu cơ. Hiện người ta mới chỉ sử dụng quả chuối, chiếm chỉ có 12% cây, trong khi phần còn lại bị loại bỏ sau khi thu hoạch. Cây chuối sau vụ thu hoạch sẽ đồng loạt khô héo và chết đi, nhường chỗ cho cây con mới mọc lên nên phần thân, lá, cuống chuối chứa đặc biệt nhiều nhựa bị lãng phí. Thân cây chuối chứa 90% nước, vì vậy vật liệu rắn cuối cùng giảm xuống còn khoảng 10%.

3.2. Mô tả quá trình triển khai nghiên cứu

3.2.1. Thử nghiệm tổng hợp chất keo tụ từ cây chuối

Thí nghiệm tổng hợp chất keo tụ từ cây chuối bao gồm các bước chính sau:

- Thu thập cuống chuối, vỏ chuối và một phần củ chuối, cắt nhỏ và xay nhuyễn 500g với 2,5L nước cất.
- Khuấy liên tục trong 2 giờ rồi để lắng trong 12 giờ ở nhiệt độ phòng để thân chuối và củ chuối tiếp tục trương nở và tiết ra dịch trong có màu vàng;



Hình 1. Thu thập và tổng hợp vật liệu

- Lọc bỏ phần cặn và lấy phần dịch trong;



Hình 2. Phân tích các chỉ số chất lượng nước

- Bổ sung cồn Ethanol 98° vào phần dịch trong thu được ở trên theo tỉ lệ 2:1 và khuấy liên tục bằng máy khuấy từ trong vòng 30 phút;

- Để kết tủa lắng hết sau khoảng 3 giờ [3].
- Gạn bớt nước, dùng giấy lọc để lọc lấy phần kết tủa trắng, ta thu được chất keo tụ ở dạng thô;
- Chất keo tụ thô được để khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ, sau đó sấy khô ở 70°C trong 2 giờ để còn bay hơi.

3.2.2. Thử nghiệm khả năng xử lý nước thải sinh hoạt

Bước 1: Thu mẫu tại hiện trường bằng dụng cụ lấy mẫu và tiến hành đo nhanh thông số pH, độ đục và phân tích thông số tổng chất rắn lơ lửng (TSS) của mẫu nước.

Bước 2: Bổ sung chất keo tụ từ cây chuối vào mẫu nước thải sinh hoạt. Chuẩn bị các mẫu thử bằng cách lấy 500mL nước thải cho vào cốc thủy tinh 1000mL. Cân 50mg chất keo tụ cho vào các cốc nước thải, khuấy đều cho đến khi chất keo tụ không còn ở dạng lơ lửng. Áp dụng thời gian lắng sau khi keo tụ là 30 phút, 60 phút, 120 phút. Gạn phần nước trong lấy 60mL mẫu để đo lại thông số độ đục và tổng chất rắn lơ lửng.

Bước 3: Khảo sát khoảng pH tối ưu của chất keo tụ.



Hình 3. Khảo sát hiệu quả của vật liệu

3.2.3. Khảo sát độ bền của chất keo tụ

Chất keo tụ được bảo quản và sử dụng để xử lý các mẻ nước thải trong thời gian 2 tháng và đánh giá hiệu quả xử lý.

3.3. Kết quả thực nghiệm

3.3.1. Kết quả khảo sát thời gian keo tụ và lắng tối ưu

Sau khi xử lý bằng chất keo tụ từ nhựa chuối đã tổng hợp được, thành phần chất ô nhiễm trong các mẫu nước thải được phân tích, đo đạc và cho kết quả như sau:

Bảng 3. Kết quả khảo sát thời gian keo tụ và lắng tối ưu

Stt	Thông số	Đơn vị	Kết quả			
			Ban đầu	30p	60p	90p
1	pH	-	8,2	8,2	8,4	8,3
2	Độ đục	NTU	32	15	12	10
3	Tổng lượng chất rắn lơ lửng (TSS)	mg/L	168	100	84	47
	Hiệu suất xử lý độ đục	%	0	53,1	62,5	68,8
	Hiệu suất xử lý TSS	%	0	40,2	50	72

- Hiệu suất tăng mạnh từ 30 → 60 phút, sau đó chậm dần và gần bão hòa sau 90 phút → thời gian lắng tối ưu là 60 phút (đạt ~70 % loại bỏ, tiết kiệm thời gian so với 90 phút chỉ tăng thêm ~3 %).

- Bông cặn hình thành tốt trong 60 phút, kích thước đủ lớn để lắng nhanh (đường kính trung bình ~2–3 mm theo quan sát bằng mắt thường).

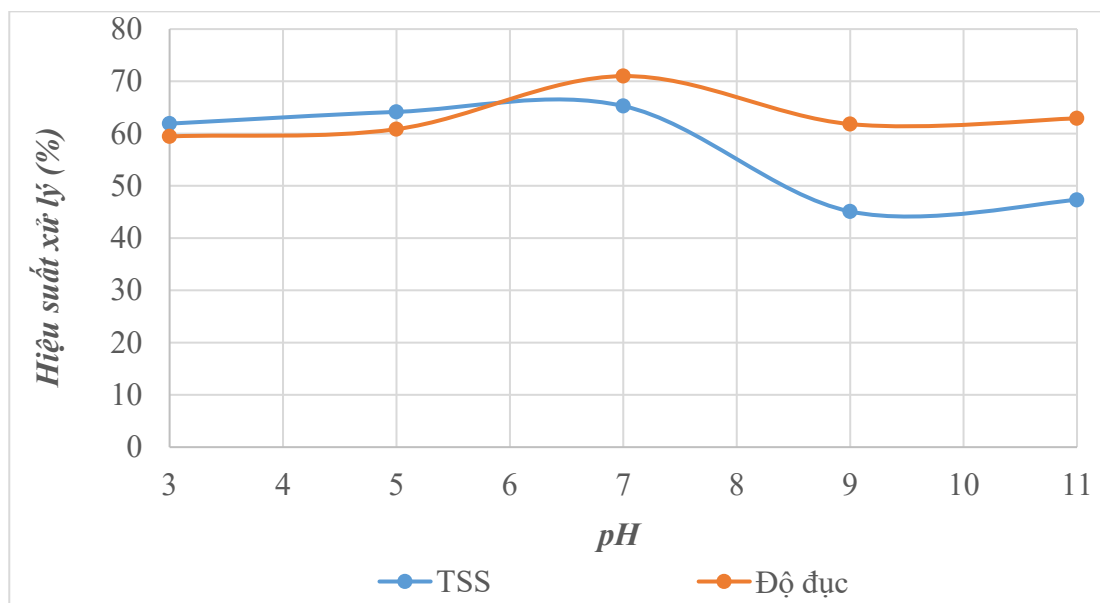
- Kết quả phù hợp với cơ chế keo tụ sinh học: giai đoạn đầu (0 - 30 phút) chủ yếu là trung hòa điện tích và tạo vi bông, giai đoạn sau (30 - 60 phút) là liên kết bông lớn và lắng trọng lực.

Như vậy, sau khi xử lý bằng chất keo tụ tổng hợp từ cây chuối, hàm lượng một số chất ô nhiễm chính gồm chất lơ lửng và độ đục giảm đến 72%.

Kết quả khảo sát thời gian xử lý bằng keo tụ và lắng tại các khoảng thời gian 30 phút, 60 phút, 90 phút cho thấy, hiệu suất xử lý có tăng lên (từ 40% tới 72%) khi tăng thời gian lắng.

3.3.2. Kết quả khảo sát pH keo tụ tối ưu

Kết quả khảo sát pH keo tụ tối ưu của vật liệu được thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. Kết quả khảo sát pH keo tụ tối ưu của vật liệu

Chất keo tụ từ thực vật có chứa pectin và tannin hoạt động tốt nhất khi các nhóm chức năng (OH^- , COOH^-) được proton hóa vừa đủ để trung hòa điện tích của hạt ô nhiễm và tạo bông cặn ổn định.

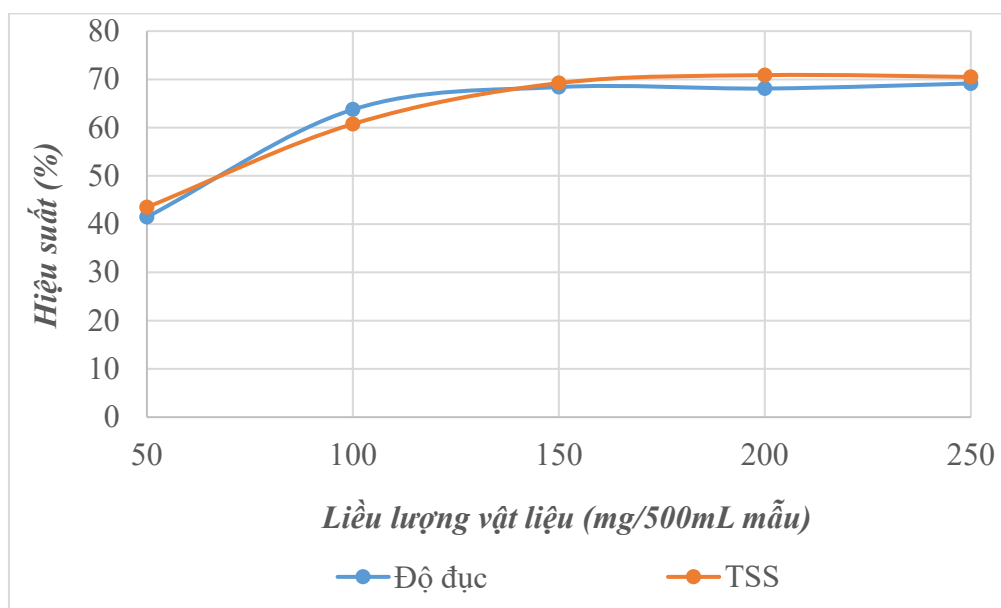
Ở pH acid (dưới 4): Các nhóm chức năng trong pectin/tannin bị proton hóa quá mức, làm giảm khả năng liên kết với các hạt mang điện tích âm (như SS hoặc phẩm màu), dẫn đến bông cặn nhỏ, không lắng tốt. Hiệu suất keo tụ có thể giảm xuống dưới 50%.

Ở pH trung tính (6-8): Điện tích bề mặt của hạt ô nhiễm và chất keo tụ được trung hòa tối ưu, tạo điều kiện cho các hạt kết tụ thành bông cặn lớn, đạt tỷ lệ loại bỏ độ đục và SS lên đến 71%.

Ở pH kiềm (trên 9): Sự cạnh tranh từ ion OH^- làm giảm hiệu quả keo tụ, đặc biệt với phẩm màu (như MB/RB), vì các hợp chất hữu cơ có thể chuyển sang dạng ion hóa mạnh, làm bông cặn tan rã. Hiệu suất có thể giảm còn 60-70%.

3.3.3. Kết quả khảo sát liều lượng chất keo tụ tối ưu

Kết quả khảo sát liều lượng chất keo tụ tối ưu của vật liệu được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. Kết quả khảo sát liều lượng chất keo tụ

Dựa trên đồ thị khảo sát hiệu suất xử lý (%) của vật liệu keo tụ từ chuối đối với việc xử lý 500 mL nước thải sinh hoạt cho khả năng tốt nhất là 150mg/500 mL nước thải

3.3.4. Kết quả khảo sát tính bền của vật liệu

Vật liệu sau khi tổng hợp sẽ được bảo quản trong tủ mát đựng hoá chất và được sử dụng cho các thí nghiệm tiếp theo nhằm đánh giá độ lặp lại của quá trình xử lý và đo đạc, tính toán.

Kết quả cho thấy các nghiên cứu vẫn đảm bảo độ lặp lại theo thời gian. Do đó, có thể khẳng định vật liệu keo tụ từ cây chuối tương đối bền trong điều kiện bảo quản của phòng thí nghiệm.

3.4. Đánh giá kết quả nghiên cứu

3.4.1. Mức độ đáp ứng các câu hỏi nghiên cứu

- Kết quả cho thấy chất keo tụ từ cây chuối (chiết xuất từ thân, củ và vỏ) loại bỏ hiệu quả chất rắn lơ lửng (TSS) và độ đục trong nước thải sinh hoạt, với tỷ lệ giảm >70% sau keo tụ và lắng. Điều này phù hợp với cơ chế keo tụ vật lý và hóa học, nơi pectin và tannin trung hòa điện tích hạt ô nhiễm để tạo bông cặn lớn.

- Quy trình tổng hợp tối ưu ở nhiệt độ phòng với chiết xuất ethanol (tỷ lệ 2:1), sấy khô ở 70°C trong 2 giờ, dẫn đến sản phẩm ổn định. Khi sử dụng, liều lượng tối ưu 150 mg/500 mL (Hình 5), thời gian keo tụ và lắng 30-60 phút (Bảng 3), và pH 6-8 (Hình 4), đạt hiệu suất cao nhất. Điều này xác nhận phạm vi pH trung tính giúp proton hóa nhóm chức năng (OH-, COOH-) để tạo bông cặn hiệu quả, phù hợp với các nghiên cứu về keo tụ sinh học.

- Chất keo tụ từ chuối đạt hiệu suất giảm TSS và độ đục >70%, tương đương với phèn nhôm ở điều kiện thấp nhưng vượt trội về mặt chi phí thấp và thân thiện môi trường (không dư lượng kim loại).

3.4.2. Mức độ đáp ứng các giả thuyết khoa học

Các kết quả khảo sát của tập thể tác giả cho thấy:

- Kết quả cho thấy tỷ lệ giảm chỉ 37-51% thấp hơn dự đoán do nồng độ ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt thực tế có thể thấp hơn dự kiến.

- Quy trình thực nghiệm sử dụng nhiệt độ phòng và sấy 70°C trong 2 giờ, gần với giả thuyết, dẫn đến sản phẩm ổn định và hiệu quả keo tụ ở pH 6-8.

- Hiệu suất 37-51% tương đương phèn nhôm ở mức thấp (theo [3]), nhưng vượt trội về tính thân thiện và chi phí. Giả thuyết được xác nhận ở khía cạnh bền vững.

3.5. Tính sáng tạo

Tính sáng tạo của nghiên cứu "Nghiên cứu tổng hợp chất trợ keo tụ từ cây chuối để xử lý một số chất ô nhiễm trong nước thải" thể hiện ở các khía cạnh sau đây:

- Tận dụng phế thải nông nghiệp địa phương: Sử dụng thân, củ và vỏ chuối - nguồn nguyên liệu lãng phí sau thu hoạch tại Hải Phòng – để tổng hợp chất keo tụ sinh học, thay vì chỉ dùng vỏ quả như các nghiên cứu trước. Điều này tạo mô hình kinh tế tuần hoàn, giảm chất thải hữu cơ và chi phí (giảm 50-70% so với PAC), đồng thời phù hợp với bối cảnh nông nghiệp Việt Nam.

- Quy trình chiết xuất đơn giản và thân thiện: Phương pháp chiết ethanol ở nhiệt độ thấp mà không cần hóa chất độc hại, khác với các quy trình phức tạp dùng axit mạnh.

- Ứng dụng cho nước thải sinh hoạt thực tế: Không chỉ mô phỏng, nghiên cứu thử nghiệm trên nước thải gia đình, đạt giảm TSS >70%, chứng minh tính thực tiễn cao hơn các nghiên cứu lý thuyết.

3.6. Khả năng áp dụng

- Sử dụng nguyên liệu tự nhiên, giá thành thấp, thân thiện môi trường, góp phần giảm thiểu chất thải nông nghiệp.

- Nâng cao hiệu quả xử lý nước thải bằng công nghệ sinh học, giảm ô nhiễm nguồn nước.

- Tăng tính kinh tế và thân thiện môi trường trong quy trình xử lý nước thải công nghiệp.

3.7. Kết luận

Nghiên cứu đã thành công trong việc tổng hợp chất keo tụ từ thân, củ và vỏ chuối, nguồn phế thải nông nghiệp dồi dào tại Hải Phòng, thông qua quy trình chiết xuất ethanol đơn giản ở nhiệt độ thấp (70°C) và sấy khô, tạo ra sản phẩm ổn định với hiệu quả keo tụ đáng kể. Kết quả thí nghiệm trên nước thải sinh hoạt cho thấy chất keo tụ giảm hiệu quả chất rắn lơ lửng (TSS) và độ đục >70% ở điều kiện tối ưu: pH 6-8, liều lượng 150 mg/500 mL, và thời gian keo tụ/lắng 30-60 phút. Điều này xác nhận cơ chế keo tụ dựa trên lực hút tĩnh điện và liên kết hydro của pectin/tannin, với hiệu suất cao nhất ở pH trung tính.

So sánh với các chất keo tụ truyền thống như phèn nhôm, chất từ chuối thể hiện hiệu quả tương đương ở nồng độ ô nhiễm trung bình, vượt trội về tính thân thiện môi trường (không để lại dư lượng kim loại độc hại) và chi phí thấp (giảm 50-70%). Độ bền của vật liệu được đảm bảo trong 2 tháng bảo quản, duy trì khả năng lặp lại xử lý, mở ra tiềm năng ứng dụng thực tiễn. Hiệu suất chưa đạt kỳ vọng 80-90% như giả thuyết, phần lớn do giới hạn nồng độ ô nhiễm thấp trong nước thải sinh hoạt.

Nghiên cứu không chỉ tận dụng phế thải cây chuối để giảm chất thải nông nghiệp mà còn cung cấp giải pháp xử lý nước thải bền vững, kinh tế, và phù hợp với bối cảnh địa phương. Kết quả này khẳng định tiềm năng của chất keo tụ sinh học từ chuối trong việc bảo vệ môi trường và hỗ trợ phát triển bền vững tại Việt Nam.

4. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyen, T. T., & Tran, H. V. (2020). "Adsorption of Methylene Blue and Rhodamine B from Aqueous Solutions Using Eggshell-Alginate Composites." *Journal of Environmental Management*, 271, 110974.

[2] Kumar, R., & Singh, R. (2019). "Utilization of Eggshell Waste for the Removal of Dyes from Wastewater: A Review." *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 11751-11766.

[3] Chatterjee, S., & Woo, S. H. (2018). "Adsorption of Heavy Metals and Dyes by Modified Eggshell Powder." *Chemical Engineering Journal*, 346, 1-12.

[4] Pham, T. D., et al. (2021). "Comparative Study of Natural Adsorbents (Eggshell, Zeolite) for Dye Removal from Textile Wastewater." *Water Science and Technology*, 83(5), 1123-1135.

[5] Lee, J. H., & Kim, Y. S. (2022). "Sustainable Wastewater Treatment Using Biochar and Eggshell-Based Materials." *Journal of Cleaner Production*, 330, 129856.

[6] Saritha, V., et al. (2017). "Coagulation and Flocculation Studies of Natural Coagulants: A Review." *Environmental Technology & Innovation*, 8, 39-52.

[7] Verma, A. K., et al. (2016). "Banana Peel as a Biosorbent for the Removal of Heavy Metals and Dyes from Wastewater: A Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3310-3324.